

# Anwendung von Parameterstudien und statistischen Methoden zur Abschätzung von Sanierungsbedarfen einzelner Gebäude

Parametersammlung für die Berechnung des Heizwärmebedarfes von Gebäuden und Generieren von neuen Informationen für den Bestand der Nichtwohngebäude

Wissenschaftliche Arbeit zur Erlangung des Grades  
M.Sc. Umweltingenieurwesen  
an der Fakultät für Architektur/Ingenieur fakultät Bau, Geo Umwelt der  
Technischen Universität München.

**Betreut von** Prof. Dr.-Ing. Werner Lang  
Dipl.-Ing. (FH) M. Eng. Matthias Lagleder  
Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen

**Eingereicht von** Vyacheslav Parkhayev  
Sternstraße 22  
80538 München

**Eingereicht am** München, den 05.05.2021

# Vereinbarung

zwischen

der Technischen Universität München, vertreten durch ihren Präsidenten,  
Arcisstraße 21, 80290 München

hier handelnd der Lehrstuhl für Energieeffizientes und Nachhaltiges Planen und Bauen  
(Univ.-Prof. Dr.-Ing. W. Lang), Arcisstr. 21, 80333 München

– nachfolgend TUM –

und

Frau/Herrn .....

.....

(Anschrift)

– nachfolgend Autorin/Autor –

Die Autorin / der Autor wünscht, dass die von ihr/ihm an der TUM erstellte Masterarbeit mit dem Titel

.....

.....

in Bibliotheken der TUM, einschließlich mediaTUM und die Präsenzbibliothek des Lehrstuhls für Energieeffizientes und Nachhaltiges Planen und Bauen, Studenten und Besuchern zugänglich gemacht wird.

auf der Homepage des Lehrstuhls für Energieeffizientes und Nachhaltiges Planen und Bauen in Dateiform (PDF) passwortgeschützt zugänglich gemacht wird.

mit einem Sperrvermerk versehen und nicht an Dritte weiter gegeben wird.

(Zutreffendes bitte ankreuzen)

Zu diesem Zweck überträgt die Autorin / der Autor der TUM zeitlich und örtlich unbeschränkt das nichtausschließliche Nutzungs- und Veröffentlichungsrecht an der Masterarbeit.

Die Autorin / der Autor versichert, dass sie/er alleinige(r) Inhaber(in) aller Rechte an der Masterarbeit ist und der weltweiten Veröffentlichung keine Rechte Dritter entgegenstehen, bspw. an Abbildungen, beschränkende Absprachen mit Verlagen, Arbeitgebern oder Unterstützern der Masterarbeit. Die Autorin / der Autor stellt die TUM und deren Beschäftigte insofern von Ansprüchen und Forderungen Dritter sowie den damit verbundenen Kosten frei.

Eine elektronische Fassung der Masterarbeit als pdf-Datei hat die Autorin / der Autor dieser Vereinbarung beigelegt. Die TUM ist berechtigt, ggf. notwendig werdende Konvertierungen der Datei in andere Formate vorzunehmen.

Vergütungen werden nicht gewährt.

Eine Verpflichtung der TUM zur Veröffentlichung für eine bestimmte Dauer besteht nicht.

Die Autorin / der Autor hat jederzeit das Recht, die mit dieser Vereinbarung eingeräumten Rechte schriftlich zu widerrufen. Die TUM wird die Veröffentlichung nach dem Widerruf in einer angemessenen Frist und auf etwaige Kosten der Autorin / des Autors rückgängig machen, soweit rechtlich und tatsächlich möglich und zumutbar.

Die TUM haftet nur für vorsätzlich oder grob fahrlässig verursachte Schäden. Im Falle grober Fahrlässigkeit ist die Haftung auf den vorhersehbaren Schaden begrenzt; für mittelbare Schäden, Folgeschäden sowie unbefugte nachträgliche Veränderungen der veröffentlichten Masterarbeit ist die Haftung bei grober Fahrlässigkeit ausgeschlossen.

Die vorstehenden Haftungsbeschränkungen gelten nicht für Verletzungen des Lebens, des Körpers oder der Gesundheit.

Meinungsverschiedenheiten im Zusammenhang mit dieser Vereinbarung bemühen sich die TUM und die Autorin / der Autor einvernehmlich zu klären. Auf diese Vereinbarung findet deutsches Recht unter Ausschluss kollisionsrechtlicher Regelungen Anwendung. Ausschließlicher Gerichtsstand ist München.

München, den \_\_\_\_\_, den \_\_\_\_\_

.....

(TUM)

.....

(Autorin/Autor)

# Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die von mir eingereichte Abschlussarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

---

Ort, Datum, Unterschrift

## Kurzzusammenfassung

Im ersten Teil der Arbeit werden wichtige Parameter zur Berechnung des Heizenergiebedarfes von Gebäuden gesammelt und erläutert. Hierbei werden baukonstruktive, klimatische und nutzerorientierte Default-Daten zusammengetragen.

Im zweiten Teil der Arbeit werden im Rahmen einer Parameterstudie die Daten zum Gebäudebestand des Baureferates München ausgewertet. Hierzu werden Nutzungsabhängige energetische Kennwerte gebildet. Des Weiteren wird eine Regressionsanalyse durchgeführt. Es wird das energetische Verhalten von Raumwärme, Warmwasser und Strom bezogen auf die Gebäudegröße untersucht. Hierbei wird festgestellt, dass in 42 von 60 Prüfungen eine Regression vorliegt. Insgesamt liegt eine gewichtete mittlere Regression von -16 % bei Raumwärme, -18 % bei Warmwasser und -13 % bei Strom vor. Die Prozentwerte beziehen sich auf den Vergleich der durchschnittlichen Gebäudegröße und der doppelten durchschnittlichen Gebäudegröße einer Nutzungsart. Somit konnten energetische Vorteile bei größeren Gebäuden festgestellt werden.

## Abstract

In the first part of the work, important parameters for the calculation of the heating energy demand of buildings are collected and explained. In this context, constructional, climatic and user-oriented default data are collected.

In the second part of the thesis, the data on the building stock of the Munich Building Department are evaluated within the framework of a parameter study. For this purpose, user-dependent energetic characteristic values are formed. Furthermore, a regression analysis is carried out. The energetic behavior of space heating, hot water and electricity is examined in relation to the size of the building. It is found that a regression is present in 42 out of 60 tests. Overall, there is a weighted average regression of -16% for space heating, -18% for hot water and -13% for electricity. The percentages are based on a comparison of the average building size and twice the average building size per utility type. Thus, energetic advantages could be determined for larger buildings.

# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung .....	1
1.1. Problemstellung und Motivation .....	1
1.2. Ausgangssituation und Zielsetzung.....	1
1.3. Überblick .....	2
2. Entwicklung im Gebäudesektor.....	3
2.1. Energetische Anforderung.....	3
2.2. Klimaziele .....	4
3. Allgemeine Informationslage zu NWG .....	6
4. Parameter .....	8
4.1. Semantische Daten aus CityGML .....	8
4.2. Typologie.....	10
4.3. Wärmedurchgangskoeffizient.....	11
4.4. Faktor Nacht- Wochenendabsenkung .....	12
4.5. Temperatur-Korrekturfaktor .....	12
4.6. Energetisch wirksamer Luftwechsel n .....	13
4.7. Klima.....	15
4.7.1. Gradstunden .....	15
4.7.2. Solare Einstrahlung.....	15
4.8. Innere Wärmequellen .....	16
4.9. Kosten .....	16
4.10. Lebenszyklusdauer .....	16
4.11. Zusammenfassung.....	16
5. Rechenbeispiel Energieatlas Berlin .....	18
6. Parameterstudie .....	21
6.1. Rahmenbedingungen der Parameterstudie .....	21
6.2. Gebäudebestand.....	23
6.3. Wärmeverbrauch.....	27
6.4. Strom.....	28
6.5. Emissionen.....	29
7. Regressionsanalyse.....	32
7.1. Rahmenbedingungen .....	32
7.2. Ergebnisse .....	35

7.2.1. Raumwärme .....	35
7.2.2. Warmwasser .....	39
7.2.3. Strom.....	42
7.3. Ergebnisvalidierung.....	47
8. Diskussion .....	51
9. Fazit und Aussichten .....	52
10. Literaturverzeichnis .....	53
11. Abbildungsverzeichnis .....	57
12. Tabellenverzeichnis .....	59
Anhang A .....	60
Anhang B .....	66
Anhang C .....	76
Anhang D .....	86



# Abkürzungsverzeichnis

## **B**

BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

BMVBS Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung

BWZ Bauwerkszuordnung

BWZK Bauwerkszuordnungskatalog

## **C**

CityGML City Geography Markup Language

CO<sub>2</sub> Kohlenstoffdioxid

## **D**

Dena Deutsche Energieagentur

DIN Deutsches Institut für Normung

## **E**

EEWärmeG Erneuerbare-Energie-Wärmegesetz

EnEG Energieeinsparungsgesetz

EnEV Energieeinsparverordnung

EU Europäische Union

et. al. et alii

## **G**

GeG Gebäudeenergiegesetz

## **H**

HeizAnIV Heizungsanlagenverordnung

## **I**

IHKM Integrierte Handlungsprogramm Klimaschutz in München

IWU Institut für Wohnen und Umwelt

## **L**

LoD Level of Detail (=Detaillierungsgrad)

## **N**

NGF Nettogeschossfläche

NWG Nichtwohngebäude

## **T**

TEK Teilenergiekennwerte

## **W**

WSchVO Wärmeschutzverordnung

# Glossar

## D

Default-Daten                      Standardisierte statistische Daten

## E

Endenergieverbrauch              Teil der Energie, der nach Umwandlung und Übertragungsverlusten übrigbleibt

Energiebedarf                      Auf der Grundlage einer Berechnung benötigter Energieeinsatz für Raumwärme und Warmwasser

Energieverbrauch                 Tatsächliche Menge an benötigter Energie für Raumwärme und Warmwasser

## N

Netto Null                          Emissionen, die nicht mehr eliminieren werden können, werden kompensiert, um so eine Netto Null Situation zu schaffen

## P

Primärenergieverbrauch           Endenergie + Energie, die bei der Umwandlung und Übertragungsverlusten entstehen

## T

Transmissionswärmeverlust      Verlustleistung eines Bauteils

Treibhausgase                      Gase, die laut dem Kyoto-Protokoll zur globalen Erderwärmung beitragen

**W**

Wärmedurchgangskoeffizient

Maß für den Wärmedurchgang durch ein Bauteil

# 1. Einleitung

## 1.1. Problemstellung und Motivation

Der 12. Dezember 2015 markiert einen historischen Meilenstein, der für die Folgejahrzehnte kollektive Anstrengungen fordert und die Weltwirtschaft auf eine klimafreundliche Weise verändern soll. Das Pariser Abkommen intensiviert die Bemühungen globale Emissionen zu senken, um so dem fortschreitenden Klimawandel entgegenzuwirken. Im Gegensatz zum bis dato geltenden Kyoto-Protokoll verpflichten sich nun über 150 Staats- und Regierungschefs nationale Ziele auszuarbeiten und Maßnahmen umzusetzen, um die Erderwärmung auf möglichst unter 1,5 °C zu beschränken (BMU, 2017).

Bei der Zielerreichung spielen Gebäude eine zentrale Rolle. Etwa 30 % der emittierten Treibhausgase in Deutschland entstehen im Gebäudesektor (UBA, 2020).

Auch die derzeitige gesellschaftliche Situation stellt die Stadt vor neue Herausforderungen. Durch die Pandemie rechnet die Stadt mit Einnahmeverlusten in Höhe von einer halben Milliarde, was dazu führt, dass beispielsweise Schulsanierungen verspätet fertiggestellt werden, günstiger saniert oder gar aufgeschoben werden müssen. Um so mehr gewinnt der gezielte Einsatz von finanziellen Mitteln an Bedeutung (Wetzel, 2020).

## 1.2. Ausgangssituation und Zielsetzung

Das Münchener Baureferat verfügt über ein Gebäudeportfolio von mehr als 3.300 öffentlichen Gebäuden, die sie betreiben und verwalten. Derzeit wird die Datenbank Nucleos von den Verantwortlichen verwendet, um die Datenlage zu allen Gebäuden festzuhalten und zu pflegen. Bei solch einem großen Gebäudeportfolio ist es jedoch eine Herausforderung einen klaren Überblick über den Zustand der einzelnen Gebäude zu behalten. So wird die vor allem energetisch wichtige Sanierungsentscheidung derzeit nur implizit und individuell getroffen. Bei der Wahl des nächsten sanierungsbedürftigen Gebäudes fehlt es an einer klaren Systematik. Auf diese Weise können Einsparungspotentiale nicht priorisiert behandelt oder gar unentdeckt bleiben.

So soll im Rahmen einer Dissertation von Dipl.-Ing. (FH) M.Eng. Matthias Lagleder und gleichzeitig des Projektes OfDataLyse ein Instrument entwickelt werden, das die

**Einleitung**

fehlende Systematik bei der Sanierungswahl schafft. Dabei ist es wichtig, dass die Vorgehensweise benutzerfreundlich und einfach zu handhaben ist. Es soll eine Möglichkeit geschaffen werden mit geringem Aufwand sich jederzeit einen aktuellen Überblick über den energetischen Zustand des Gesamtportfolios zu verschaffen. Sanierungsbedürftige Gebäude sollen somit schnell identifiziert und nach dem Einsparungspotential priorisiert werden.

Die vorliegende Masterarbeit soll die Verwirklichung dieses Projektes unterstützen. Das Ziel hierbei ist es den allgemeinen Informationsstand zu Nichtwohngebäuden (NWG) zu sammeln. Die Hauptarbeit liegt vor allem aber darin aus den vorliegenden Gebäudedaten des Baureferates München neue Daten und Erkenntnisse zu generieren. Hier liegt der Fokus auf Zusammenhängen von Parametern und einer Regressionsanalyse bezüglich diverser Energieverbräuche. Damit soll die Sanierungseinschätzung von NWG unterstützt und deren Genauigkeit erhöhen werden.

### 1.3. Überblick

Zunächst wird die energetische und klimapolitische Entwicklung knapp vorgestellt. Anschließend wird die Informationslage zu NWG zusammengefasst. Im Kapitel 4 werden Parameter gesammelt und erläutert, die für die Heizwärmeberechnung eines Gebäudes wichtig sind. Im Anschluss wird anhand einer bestehenden Methodik und der gesammelten Parameter die Vorgehensweise zur Heizwärmeberechnung plausibilisiert. Im Kapitel 6 wertet der Autor die allgemeinen Daten des Baureferates München aus und schlussendlich wird im Kapitel 7 eine Regressionsanalyse durchgeführt bevor die Ergebnisse der Arbeit im Kapitel 8 kritisch diskutiert werden.

## 2. Entwicklung im Gebäudesektor

Bedingt durch die Ölkrise aus dem Jahr 1973 hat die Bundesregierung erstmals politische Instrumente geschaffen, um die Energiepolitik zu steuern. Anlässlich der pro-israelischen Haltung der westlichen Welt haben die arabischen Staaten die Erdöllieferungen gedrosselt, worauf der Ölpreis sich schlagartig vervierfacht hat. Das hatte in Deutschland ein stagniertes Wirtschaftswachstum und steigende Arbeitslosigkeit zur Folge. (Bundesagentur für Arbeit, 2010). Daraufhin hat die Bundesregierung sich dazu entschieden durch ein Energiesparprogramm zum einen finanzielle Vorteile zu generieren, zum anderen die politische Abhängigkeit aufgrund von Importen benötigter Energieträger zu minimieren. So wurde das Energieeinsparungsgesetz (EnEG) verabschiedet auf dessen Basis diverse Verordnungen folgten, die ein kontrolliertes Energiesparen ermöglichten (BBSR, 2013).

### 2.1. Energetische Anforderung

Das Energieeinsparungsgesetz EnEG tritt 1976 erstmalig in Kraft und bildet für die Bundesregierung den Grundpfeiler für eine energiesparende Politik. Der Energiebedarf soll gezielt durch wärmedämmende Maßnahmen der Gebäudehülle und energieeffiziente Haustechnik reduziert werden. Daraus wird im Folgejahr die Wärmeschutzverordnung (WSchVO) entwickelt, welche energetische Anforderungen an die thermische Gebäudehülle stellt.

In den Folgejahren wird die WSchVO kontinuierlich novelliert (1982, 1995), was die Vorgaben an die energetische Qualität der Gebäude verschärfte. Parallel dazu tritt die Heizungsanlagenverordnung (HeizAnIV), die Anforderungen an die Heizungsanlagen in Form von Wartung, Dämmung der Rohre und Anforderungen an den Kessel, stellt. 2002 wurden die beiden Verordnungen durch die Energieeinsparverordnung (EnEV) erstmalig ersetzt. Auch diese wurde in den Folgejahren mehrmals novelliert. (Bigalke *et al.*, 2016) Zusätzlich zur EnEV tritt im Jahr 2009 das Erneuerbare Energie Wärmegegesetz (EEWärmeG) mit dem Ziel erneuerbare Energien zu fördern und fossile Brennstoffe zu schonen (BWE, 2020). Am 1. November 2020 tritt das neue Gebäudeenergiegesetz (GeG) in Kraft, welches die Inhalte der EnEV und EEWärmeG verbindet. Dieses gilt für

alle beheizte und klimatisierte Gebäude und bezieht sich vor allem auf die Heizungstechnik und die Wärmedämmstandards. Die Mindestanforderungen an Neubauten bleiben hierbei weitestgehend gleich. Die Anforderungen an die Gebäudehülle wurden jedoch sogar gelockert (Verbraucherzentrale, 2020).

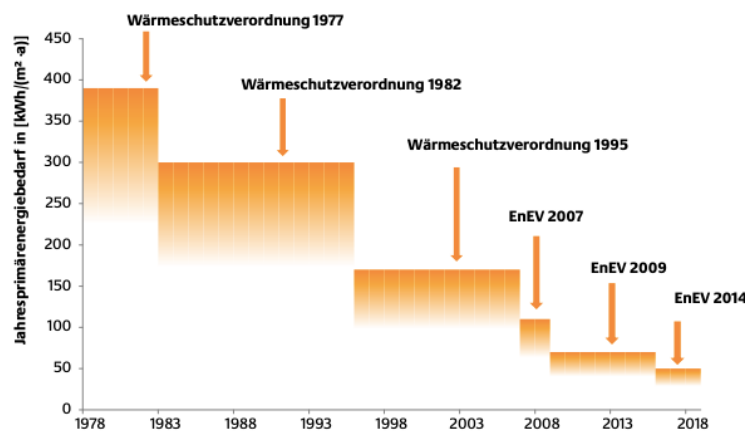


Abbildung 1: Entwicklung der energetischen Anforderungen an ein Wohngebäude (Bigalke *et al.*, 2016)

## 2.2. Klimaziele

*„Klimaschutz in der EU ist nun Gesetz“*

Nach monatelangen Verhandlungen beschließt nun auch die Europäische Union (EU) das erste europaweite Klimagesetz. Somit ist das Fundament für den Green Deal und damit verbundene gesetzliche Bindung an emissionsparende Maßnahmen von allen EU-Mitgliedsstaaten gelegt. Neben der gesetzlichen Verbindlichkeit werden aber auch die allgemeinen Klimaziele nochmals verschärft. So soll bis zum Jahr 2030 mindestens 55 % weniger Treibhausgase im Vergleich zu 1990 ausgestoßen werden. Schlussendlich ist das Ziel bis zum Jahr 2050 bezüglich der Treibhausgase eine Netto Null Situation zu schaffen. Also so viel zu reduzieren, dass die restlichen unvermeidbaren Emissionen kompensiert werden können (Europäische Kommission, 2020).



Bei den bundesweiten Klimazielen orientiert sich Deutschland an der europäischen Gesetzgebung und strebt die oben genannten Ziele an. Durch erhöhten Einsatz an erneuerbaren Energien und Steigerung der Energieeffizienz soll bis zum Jahr 2050 80 % bis 95 % der aus dem Jahr 1990 ausgestoßenen \* CO<sub>2</sub> Menge reduziert werden. Dafür hat die Bundesregierung einen Klimaschutzplan basierend auf fünf Handlungsfeldern erarbeitet. Neben der Energiewirtschaft, Verkehr, Industrie und Landwirtschaft wird der Gebäudesektor mit Zielen definiert (BMU, 2021).

*„Fahrplan für einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand“*

Im Gebäudebereich muss schnell gehandelt werden. Gebäude sind nämlich besonders langlebig, weshalb schon so früh wie möglich gehandelt werden soll. Um das nahezu klimaneutrale Ziel bis 2050 zu erreichen, sollen bereits 66 % bis 67 % der ausgestoßenen CO<sub>2</sub>-Menge von 1990 bis 2030 reduziert werden. Dies soll unter anderem durch langfristige Sanierungsstrategien erfolgen (BMU, 2021).

Die Stadt München wagt es sogar einen Schritt weiter zu gehen und arbeitet derzeit an einem Plan wie die Stadt bis 2035 klimaneutral werden kann. Ein wichtiger Teil dieser möglichen Strategie ist das bereits seit 2010 laufende Integrierte Handlungsprogramm Klimaschutz in München (IHKM). Dabei spielt das Energiemanagement von stadteigenen Gebäuden eine Schlüsselfunktion (Gesundheitsreferat München, 2020).

---

\*CO<sub>2</sub> - Im Rahmen dieser Arbeit wird aus Vereinfachungsgründen für das CO<sub>2</sub>-Äquivalent, also die gesamte Menge an ausgestoßenen Treibhausgasen, die als das Wirkungspotential von CO<sub>2</sub> dargestellt werden, nur von CO<sub>2</sub> gesprochen.

### 3. Allgemeine Informationslage zu NWG

In diesem Kapitel wird der Stand der Informationslage zu NWG knapp vorgestellt. Hierbei geht der Autor auf die Institutionen und deren Intentionen ein.

Die Deutsche Energieagentur (DENA) sammeln Informationen und erstellt Statistiken über die energetische Situation des Gebäudebestandes. Im Vergleich zu Wohngebäuden (WG) sind die Zahlen zum Bestand von NWG wenig belastbar. Des Weiteren werden deutliche Abweichungen unter den wenigen Quellen, die zur Verfügung stehen, festgestellt. Dies deutet auf die mangelhafte und dürftige Informationslage bezüglich NWG hin. Gleichzeitig untermalen die Unsicherheiten der Quellen den Informationsbedarf. Solche Daten sind wichtig für politische Entscheidungsträger, um langfristige Strategien zu entwickeln und diese umsetzen zu können (Bigalke *et al.*, 2016).

Der Gebäudesektor ist für rund ein Viertel des gesamten deutschen Endenergieverbrauchs verantwortlich. Gemäß dem Report der DENA war der Gebäudesektor in Deutschland im Jahr 2016 für rund 864 TWh endenergiebezogenen Verbrauch verantwortlich. Dabei werden 63 % (540 TWh) dem Wohnbereich und 37 % (324 TWh) dem Nichtwohnbereich zugeordnet. Damit bietet der Gebäudesektor ein enormes Energie- und Kosteneinsparungspotential (Bigalke *et al.*, 2016).

Auch die Bundesministerien bemühen sich die Informationslage zu NWG aufzubessern. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) erstellte Statistiken mithilfe von Geobasisdaten anhand von vier Bundesländern (Baden-Württemberg, Brandenburg, Bremen und Sachsen-Anhalt), um so die dürftige Lage in Deutschland und Europa aufzubessern. Dabei wurden Nutzungsklassen ausgearbeitet. Basierend darauf wurden energetische Abschätzungen mit Einsparungspotentialen berechnet. Dennoch wird auf die weitere Dringlichkeit zur Forschung aufgefordert (Ahrens *et al.*, 2013).

Für WG finden sich bereits viele Instrumente und Softwares, um die Sanierungsbedürftigkeit eines Gebäudes zu prüfen. Hingegen gibt es kaum Alternativen für NWG.

Im Rahmen eines Forschungsprojektes haben die Verantwortlichen des Instituts für Wohnen und Umwelt (IWU) ein Instrument entwickelt, um den energetischen Zustand eines bestehenden Nichtwohngebäudes vereinfacht einschätzen zu können. Hierbei

**Allgemeine Informationslage zu NWG**

sollen die energetischen Schwachstellen des Gebäudes identifiziert werden. Gleichzeitig soll eine Modernisierungseinschätzung unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte getroffen werden. Die Basis für die Berechnung ist die Energiebilanzierungsmethode nach der DIN V 18599. Um Zeitaufwand zu sparen greift man auf tabellierte Teilenergiekennwerte zurück, woher auch die Namensgebung des Instrumentes kommt – TEK Tool (Teilenergiekennwert). Die Methodik eignet sich für eine schnelle gesamtenergetische Einschätzung von einzelnen komplexen Nichtwohngebäuden (Hörner and Knissel, 2014).

Basierend auf der Arbeit des IWU verknüpft das Projekt "Energieatlas Berlin" die vereinfachte Energiebilanzierungsmethode nach der DIN V 18599 mit semantischen Informationsmodell von CityGML (Geography Markup Language). Solch eine räumlich-semantische Wiedergabe des Stadtbildes erlaubt es großflächige Einschätzungen treffen zu können. Es eignet sich vor allem für großflächige strategische Planung und Energieabschätzungen (Kaden *et al.*, 2020).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Informationslage zu NWG im Vergleich zu WG sehr dünn ist und einen hohen Forschungsbedarf ausweist. Es erfolgen bereits Entwicklungen von Instrumenten zur energetischer Sanierungseinschätzung von NWG. Diese benötigen jedoch mehr Daten, um die Forschung auf diesem Gebiet zu unterstützen.

## 4. Parameter

In diesem Kapitel werden wichtige Parameter zur Bestimmung vom Heizwärmebedarf eines Gebäudes zusammengetragen und erläutert. Dafür hat der Autor auf Basis des recherchierten Forschungsstandes eine geeignete Methodik ausgewählt, die zu dem Charakter des „OfDataLyse“ Projektes passt. Hierbei wird das Verfahren des „Berliner Energieatlas“ analysiert, da dieses großflächig Heizenergiebedarfe ermittelt. Zusätzlich nutzt es ebenfalls die Möglichkeit der semantischen Daten von CityGML. Die Vorgehensweise ist abgeleitet von dem Verfahren „Energiepass Heizung/Warmwasser“ des Instituts Wohnen und Umwelt (IWU), welches wiederum an die DIN 18599 angelehnt ist. Es greift auf standardisierte Teilenergiekennwerte, die vom Baualter und Nutzungsart abhängen (Kaden *et al.*, 2020).

Im Folgenden werden Default-Daten, also standardisierte Datensätze, die für diese Berechnung wichtig sind, vorgestellt und erläutert. Um solch eine Wärmebilanzierung aufzustellen werden baukonstruktive Daten, Klimadaten und nutzerorientierte Verhaltensdaten gebraucht. Damit lassen sich dann Wärmeverluste beziehungsweise Wärmegewinne über die Transmission und Lüftung abschätzen (Loga, Tobias; Imkeller-Benjes, 1997).

Im Zuge der Bearbeitung dieses Kapitels wurde eine Datensammlung erstellt und in Excel eingearbeitet, damit auf diese bei Bedarf zurückgegriffen werden kann. So wird zusätzlich zu dieser Arbeit eine Excel-Datei mit allen Parametern, die für die folgende Heizwärmebedarfsberechnung wichtig sind, übergeben. Dafür wurden die Daten in Excel eingepflegt, um bei Bedarf mit Ihnen arbeiten zu können.

*„Excel-Datei: Parametersammlung“*

Im Anschluss wird mithilfe von diesen Daten und dem vorgestellten Berechnungsverfahren ein Beispiel durchgerechnet und die Vorgehensweise plausibilisiert. Die Berechnung findet sich in der übergeben Excel-Datei ebenfalls wieder.

### 4.1. Semantische Daten aus CityGML

Die City Geography Markup Language (CityGML) ist ein XML basiertes Austauschformat zur 3D Modellierung von Landschaften und Städte. In diesem Zusammenhang ist **Parameter**

es das international wichtigste anwendbare Instrument. CityGML bietet die Möglichkeit großflächig und mit geringem Aufwand wichtige Gebäudeinformationen hinsichtlich ihrer geometrischen, semantischen und visuellen Eigenschaften zu erzeugen. Eine wichtige Stärke des CityGML ist die Skalierbarkeit, da es beliebig um fachspezifische Elemente erweitert werden kann. Somit können in das System schrittweise zusätzliche Informationen eingepflegt werden, um den Detaillierungsgrad und die Genauigkeit zu verbessern (Kolbe, Prof. Dr. Thomas *et al.*, 2015).

Eine weitere Besonderheit ist hierbei, dass einzelne Objekte mithilfe von mehreren geometrischen Objekten dargestellt werden können. So lässt sich der Detaillierungsgrad der Repräsentation beliebig festlegen. Die Objekte und somit ausgegebene Informationen lassen sich in fünf standardisierten Detaillierungsgraden (Level of Detail LoD) darstellen. Wie die Abbildung 2 zeigt, entspricht LoD0 dem Grundriss und LoD1 ist die extrudierte Version des Grundrisses. LoD2 gibt die Informationen zu der Kubatur des Gebäudes wieder. Auf diese Weise sind bereits detaillierte Aussagen zu Außenwand-, Fenster-, oder Dachflächen möglich. Für urbane energetische Betrachtungen werden in der Regel LoD2 Daten verwendet, da sie bereits die wichtigsten Informationen zu den Geometrien der Gebäudehülle bereitstellen. Mit LoD3 werden zusätzlich detaillierte architektonische Informationen zu der Fassade generiert. Schlussendlich ermöglicht es LoD4 Aussagen zu dem Innenraummodell treffen zu können. Mit dem steigenden Detaillierungsgrad wächst die geografische und semantische Komplexität des abgebildeten Objekts (Kolbe, Prof. Dr. Thomas *et al.*, 2015).

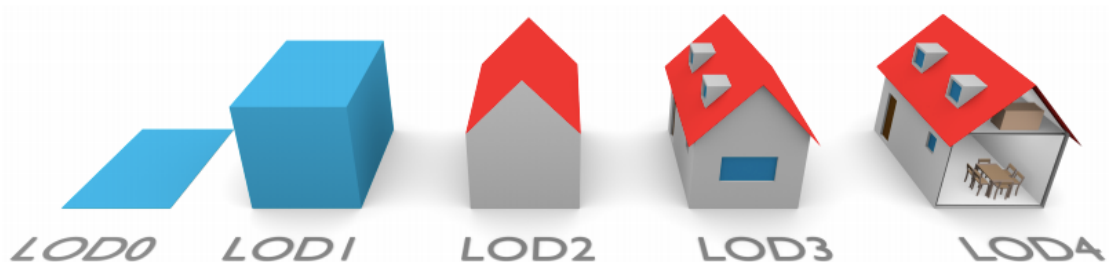


Abbildung 2: Visualisierung der Detaillierungsgrade von CityGML (Biljecki, Ledoux and Stoter, 2016)

## 4.2. Typologie

Eine Aufteilung der zu analysierenden Gebäude in Typologien bilden das Fundament für die grundsätzliche Differenzierung. Denn bei NWG liegt eine stark heterogene Gebäudenutzung vor, was die Vergleichbarkeit untereinander zunächst nicht zulässt (Müller, 2021).

Der Ursprung des Begriffes Typos fand erstmals in der Antike Anwendung, was soviel wie "Gepräge" oder "Abbild" bedeutete. Der Begriff verhalf hierbei die typischen Münzprägungen einzuordnen, die jedoch nie exakt gleich waren. Sie waren gekennzeichnet von wesentlichen Merkmalen einer Typologie, waren jedoch nicht identisch (Seidl, 2006).

Typologien finden sich in allen Wissenschaftsbereichen wieder. Sie dienen dazu komplexe Realität und Sinnzusammenhänge zu erfassen. Sie entstehen aus Gruppierungen von Objekten beziehungsweise Elementen, die die gleichen Merkmale aufweisen. Auf diese Weise entsteht Typologie mit einem Merkmalsraum. Dabei ist das Ziel einer Typisierung die Merkmale innerhalb einer Typologie möglichst homogen zu gestalten. Die Typologien untereinander sollen jedoch eine möglichst große Heterogenität vorweisen. Sie können gekennzeichnet sein durch ähnliche Eigenschaften oder Charakteristiken (Kluge, 1999).

In der bestehenden Forschung sind vor allem nutzungsorientierte Typologien vorzufinden. Dabei unterscheiden sich die nutzungsorientierte Zuordnung je nach Institution. So schlagen das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit in einer gemeinsamen Bekanntmachung Referenzwerte für den Nichtwohngebäudebestand auf einer anderen Strukturierung der Typologie als das Bundesamt für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Die ersteren orientieren sich an dem Bauwerkszuordnungskatalog (BWZK) und haben angelehnt an dessen Struktur 38 Nutzungsarten ausgearbeitet (BWE and BMU, 2015). Diese besitzt acht Hauptklassen, die bis zur vierten Ebene untergegliedert werden (Bauministerkonferenz, 2010). Im zweiten Fall wurden im Rahmen eines Forschungsprojektes acht Nutzungsklassen 1. Ordnung und 23 Nutzungsklassen 2. Ordnung entwickelt (Ahrens et al., 2013). Eine andere Klassifizierung der Gebäude finden sich wiederum innerhalb des Bilanzierungsverfahrens für die energetische Bewertung von Gebäuden nach der DIN V 18599. Diese bietet typische Kennwerte für die

**Parameter**

Energiebedarfsberechnung je definierte Nutzungsart. Hierbei wird in 43 Klassen unterschieden, denen typische Parameter zugeordnet werden (DIN V 18599-2, 2018).

### 4.3. Wärmedurchgangskoeffizient

Die bauphysikalischen Eigenschaften der Gebäudehülle eines Gebäudes sind von höchster Bedeutung. Die thermische Qualität der Gebäudehülle ist maßgebend für den Wärmeverlust durch die Bauteile und somit wesentlich für den Heizwärmebedarf (Ahrens *et al.*, 2013). Der Wärmedurchgangskoeffizient, oder gängiger auch der U-Wert, ist das Maß für die thermische Qualität und den Wärmedurchgang durch ein Bauteil.

Dieser hängt von der Schichtdicke des Bauteils und dessen Wärmeleitfähigkeit ab, also der Dämmeigenschaft eines Wandaufbaus. Basierend auf baualterstypischen Wandaufbauten eignet es sich typische Wärmedurchgangskoeffizienten je Baualterklasse zu definieren.

Im Rahmen des Kurzverfahrens für die energetische Einschätzung von Gebäuden des IWU hat Loga *et al.* aus einer Vielzahl von Quellen typische U-Pauschalwerte in Abhängigkeit des Baualters und der Konstruktionsart für den deutschen Gebäudebestand erstellt. Neben den typischen U-Werten der Bauteile hat Loga *et al.* ebenfalls eine Tabelle mit verbesserten Eigenschaften der Gebäudehüllfläche bei nachträglicher Modernisierung des Wärmeschutzes aufgestellt. Für opake Bauteile hat die Dämmung den größten Einfluss auf die energetische Qualität, weshalb diese wesentlich bei der energetischen Einschätzung sein kann. Da in der Regel keine genauen Angaben zu der Art des Dämmstoffes verfügbar sind, wurde hierbei ein Wärmeleitfähigkeitswert von  $\lambda = 0,04 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$  angesetzt (Loga *et al.*, 2005).

Kaden *et al.* hat auf Basis soeben erwähnter Arbeit sowie eigenen Berechnungen für das Projekt „Energieatlas Berlin“ die durchschnittlichen Wärmedurchgangskoeffizienten für die Außenwand, Fenster, Decke, oberstes Vollgeschoss zum unbeheizten Dach und den Boden des Erdgeschosses zum unbeheizten Keller definiert (Kaden *et al.*, 2020).

#### 4.4. Faktor Nacht- Wochenendabsenkung

Der Korrekturfaktor für die Nacht- und Wochenendabsenkung berücksichtigt die zeitweise eingeschränkte Beheizung des Gebäudes. Nachdem ein Nichtwohngebäude vorwiegend unter der Woche genutzt wird, ist es sinnvoll diesen Faktor hierbei anzuwenden. Dieser ist abhängig von der Raum-Solltemperatur, der Dauer der Absenkung, der Qualität der energetischen Gebäudehülle und der Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes. Dafür hat Loga eine vereinfachte Berechnung aufgestellt, um den Faktor berücksichtigen zu können. Hierbei ist er von folgenden Annahmen ausgegangen:

Nachtabenkung 12 h, Wochenendsenkung 60 h, Nacht/Wochenend-Solltemperatur 15°C.

Gemäß dem Vorgehen hängt nun der Absenkungsfaktor unter den oberen Bedingungen nur von der Wärmespeicherkapazität, also der Bauweise, und dem U-Wert ab, welchen Loga vom Energiestandard des Gebäudes abhängig macht. Diese Abhängigkeit kann ebenfalls auf das Baujahr und somit typische Wärmedurchgangskoeffizienten der Gebäudehülle transferiert werden (Loga, 1999).

Tabelle 1: Reduktionsfaktor Wärmeverluste bei Nacht- und Wochenendabsenkung (Loga, 1999)

Reduktionsfaktor Wärmeverluste bei Nacht- und Wochenendabsenkung*					
	spezif. Heizlast** [W/m <sup>2</sup> ]	spezif. Wärmeleitwert** [W/(m <sup>2</sup> K)]	spezif. Wärmespeicherfähigkeit** [Wh/(m <sup>2</sup> K)]		
			50	100	150
			Bauweise***		
			leicht	mittel	schwer
Altbau	100	3,3	0,79	0,82	0,84
Neubau nach WSchV95	60	2,0	0,82	0,84	0,85
Niedrigenergie-Standard	40	1,3	0,83	0,85	0,86
Passivhaus-Standard	15	0,5	0,86	0,89	0,92

\*) Nachtabenkung 12 h, Wochenendabsenkung 60 h, Nacht/Wochenend-Solltemperatur 15°C  
Zwischenwerte können interpoliert werden

\*\*) pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche

\*\*\*) Bauweise (betr. Bauelemente Außen-, Innenwände, Geschoßdecken, Dach):

"leicht": ausschließlich Leichtbauteile; "schwer": ausschließlich massive Bauteile

#### 4.5. Temperatur-Korrekturfaktor

Bei der Berechnung der Transmissionswärmeverluste  $Q_T$  über die Gebäudehülle kommt der Temperatur-Korrekturfaktor zur Anwendung. Bei einem 1-Zonen-Modell ist die Parameter



Systemgrenze eines zu betrachtenden Gebäudes seine Außenwände, sowie unterer und oberer Abschluss. Gleichzeitig wird der Korrekturfaktor einer räumlichen Teilbeheizung ebenfalls nicht berücksichtigt (Kaden *et al.*, 2020)

$f_x$  ist ein dimensionsloser Temperatur-Korrekturfaktor, welcher die Transmissionsverluste von Bauteilen, die nicht an die Außenluftgrenzen, vereinfacht anpasst. Für Gebäudeteile, die zur Außenluft grenzen, ist der Temperatur-Korrekturfaktor  $f_x = 1$ . Somit werden die berechneten Transmissionswärmeverluste nicht korrigiert, da man mit der durchschnittlichen Temperatur der Außenluft bereits rechnet. Anders ist es, wenn Bauteile der Gebäudehüllfläche nicht an die Außenluft angrenzen, wie zum Beispiel an das Erdreich, was zur Folge hat, dass die angrenzende mittlere Jahrestemperatur sich von der Außenlufttemperatur unterscheidet (DIN V 18599-2, 2018).

Bei dem Berliner Energieatlas hat der Autor die Faktoren  $f_i$  folgendermaßen vereinfacht (Kaden *et al.*, 2020):

- alle Bauteile, die gegen die Außenluft grenzen: 1,0
- alle Bauteile, die an einen Kellerraum, das Erdreich oder eine andere unbeheizte, jedoch gut gegen die Außenluft isolierte Gebäudezone grenzen: 0,5

Die Berechnung nach DIN 18599 sieht hingegen eine detailliertere Differenzierung vor (DIN V 18599-2, 2018). Für die vereinfachte und vor allem großflächige Berechnung wäre diese jedoch aus zeitlichen Gründen nicht möglich und auch nicht zielführend.

## 4.6. Energetisch wirksamer Luftwechsel $n$

Der Infiltrationsluftwechsel  $n_{50}$  ist ein Wert, welcher die ausgetauschte Luftmenge des Raumvolumens pro Stunde aufzeigt. Der Wert ist abhängig von der Gebäudedichtheit, welche nach der Fertigstellung des Gebäudes im Rahmen einer Prüfung durchgeführt werden kann. Hierbei wird das Maß der Dichtheit bei einer Luftdruckdifferenz von 50 Pa ermittelt. Bei fehlender Dichtheitsprüfung schlägt die DIN 18599 jedoch auch standardisierte Werte vor wie in der folgenden Tabelle 2 zu sehen. Bei der Ermittlung des  $n_{50}$ -Wertes wird es zunächst zwischen zwei Gebäudevolumina unterschieden,  $\leq 1.500 \text{ m}^3$  und  $> 1.500 \text{ m}^3$ . Für die kleineren Gebäude kann der  $n_{50}$ -Wert direkt aus der Tabelle je

**Parameter**

nach Kategorie entnommen werden. Für größere Gebäude mit einem Nettoraumvolumen  $> 1.500 \text{ m}^3$  muss noch der folgende Zwischenrechen schritt durchgeführt werden.

$$n_{50} = q_{50} \cdot \frac{A}{V}$$

Tabelle 2: Standardwerte für Gebäudedichtheit nach der DIN 18599 (DIN 18599-2, 2018)

Kategorien zur pauschalen Einschätzung der Gebäudedichtheit	Gebäude mit einem Nettoraumvolumen $\leq 1\,500 \text{ m}^3$	Gebäude mit einem Nettoraumvolumen $> 1\,500 \text{ m}^3$
	$n_{50}$ $\text{h}^{-1}$	$q_{50}$ $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$
I	a) 2; b) 1	a) 3; b) 2
II	4	6
III	6	9
IV	10	15

Kategorie I: Einhaltung der Anforderung an die Gebäudedichtheit nach DIN 4108-7 (d. h., die Dichtheitsprüfung wird entsprechend den Kriterien dieser Norm nach Fertigstellung durchgeführt);

- a) Gebäude ohne raumluftechnische Anlage,
- b) Gebäude mit raumluftechnischer Anlage (auch Wohnungslüftungsanlagen);

Kategorie II: zu errichtende Gebäude oder Gebäudeteile, bei denen keine Dichtheitsprüfung vorgesehen ist;

Kategorie III: Fälle, die nicht den Kategorien I, II oder IV entsprechen;

Kategorie IV: Vorhandensein offensichtlicher Undichtheiten, wie z. B. offene Fugen in der Luftdichtheitschicht der wärmeübertragenden Umfassungsfläche.

Die Infiltration findet über die Gebäudehülle statt, was bedeutet, dass für große Gebäude mit einem geringeren A/V-Verhältnis, hohe Werte und somit überproportional große Heizenergiebedarfe berechnen lassen. Um dies zu umgehen, stellen Hörner und Knissel in der TEK- Methode (Teilenergiekennwerte) eine andere Berechnungsmethode vor, die das A/V-Verhältnis mitberücksichtigt, ohne dass vorher die Gebäude nach Größen differenziert werden müssen. Des Weiteren erlaubt diese Möglichkeit die Parametereingabe zu reduzieren und sorgt für eine vereinfachte Berechnung (Hörner and Knissel, 2014). Im Folgenden die Formel zur Berechnung der korrigierten Infiltrationsluftwechselrate:

**Parameter**

$$n_{50, kor} = n_{50} \cdot \frac{\frac{A}{\bar{V}_{ist}}}{\frac{A}{\bar{V}_{Standard}}}$$

Für das  $\frac{A}{\bar{V}_{Standard}}$  wird ein Wert von 0,9 angesetzt.

## 4.7. Klima

Klimadaten sind entscheidend für die Heizperiode. Pauschal kann angenommen werden, dass je wärmer die Außendurchschnittstemperatur, desto geringer ist der Heizwärmebedarf pro Jahr. Für die Berechnung nach dem Berliner Energieatlas sind folgende klimatische Parameter von Bedeutung.

### 4.7.1. Gradstunden

Gradstunden lassen sich aus den Gradtagzahlen umrechnen, indem die Gradtagzahlen mit 24 h multipliziert werden.

Um die Gradtagzahl zu ermitteln, werden die Differenzen der Außentemperatur und der Raumtemperatur über das ganze Jahr aufsummiert, unter der Bedingung, dass die durchschnittliche Außentemperatur über der Heizgrenze liegt. Diese wird vom IWU auf 15 °C für den Baubestand vorgeschlagen. Im Falle von Niedrigenergie- oder gar Passivhäusern ist die Heizgrenze niedriger angesetzt (12,0 °C und 10 °C) (IWU, 2019).

Die Gradtagstunden sind den Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes zu entnehmen. Solche sind für jede Region pro Jahr oder auch als langjähriges Mittel verfügbar (IWU, 2019).

### 4.7.2. Solare Einstrahlung

Für den solaren Einfluss auf den Heizwärmebedarf ist der Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) für transparente Bauteile von Bedeutung. Der g-Wert beschreibt die Energiedurchlässigkeit und somit die Menge an solarer Strahlung, die ein Fenster durchlässt (Weidlich, 1986). Dieser ist abhängig vom Fenstertyp und lässt sich ebenfalls einer typischen Baualtersklasse zuordnen.

Des Weiteren ist der solare Eintrag von der Globalstrahlung abhängig. Diese setzt sich aus der direkter und indirekter Strahlung zusammen und hängt vor allem von dem Einfallswinkel ab (DWD, 2020). Aus Vereinfachungsgründen wird im Rahmen der Berechnung mit einer mittleren richtungsunabhängigen Globalstrahlung von 240 kWh/m<sup>2</sup>a gerechnet.

#### 4.8. Innere Wärmequellen

Um den Einfluss der inneren Quellen zu bestimmen, wird auf die Datensammlung der DIN 18599-10 zurückgegriffen. In der Tabelle 5 werden Richtwerte der Nutzungsrandbedingungen für NWG zusammengefasst. Hier sind flächenspezifische Wärmequellen je Nutzungsart dargestellt, die für die Berechnung verwendet werden können.

#### 4.9. Kosten

Es gibt jedoch auch weitere Faktoren, die als Indikator für den Sanierungszustand eines Gebäudes fungieren können. So hat Bahr die Korrelation zwischen Instandhaltungskosten und Sanierungsbedürftigkeit ausgearbeitet. Dabei bilden die Instandhaltungskosten eine Badewannenform bezogen auf die Dauer des Betriebes. So ist es zunächst mit höheren Instandhaltungskosten in den ersten Jahren nach der Fertigstellung zu rechnen, da Behebung der Baumängel für Kosten sorgen. Mit einem Minimum der Instandhaltungskosten nach sieben bis acht Jahren steigt die Kostenkurve mit der Zeit (Bahr, 2008).

#### 4.10. Lebenszyklusdauer

In der Literatur wird auch eine typische Lebenszyklusdauer von Gebäudetypen angegeben. So kann es auch diese eine Orientierung für die Sanierungsbedürftigkeit sein (BMVBW, 2001).

#### 4.11. Zusammenfassung

Der Berliner Energieatlas bietet eine geeignete Vorgehensweise, um auf Stadtebene großflächig mithilfe von CityGML den Heizwärmebedarf eines Gebäudes abzuschätzen. Hierbei werden Verluste und Gewinne über die Lüftung, Transmission, solare Strahlung,

**Parameter**

interne Geräte und Personen berücksichtigt. Die Berechnung ist angelehnt an die Forschungsarbeit des IWU, welches auf der Berechnungsgrundlage der DIN 18599 basiert. Neben Informationen, die CityGML liefert, werden folgende Default-Parameter gebraucht: Baualtersklasse bezogene U-Werte der Außenhülle, g-Werte transparenter Bauteile, Faktor für Nacht- und Wochenendabsenkung, Temperaturkorrekturfaktor, Gradtagzahlen, Gebäudedichte und interne spezifische Wärmequelle. Diese Default-Daten wurden im Rahmen dieser Arbeit gesammelt und in einer Excel-Datei eingearbeitet, um sie bei Bedarf im Projekt nutzen zu können. Andere Parameter wie Herstellungskosten, Instandhaltungskosten oder Lebenszyklusdauer einer Nutzungsart können ebenfalls Aussagen über den Sanierungsbedarf bekräftigen, weshalb sie ebenfalls in der Parametersammlung vorkommen und übergeben werden.

## 5. Rechenbeispiel Energieatlas Berlin

Basierend auf dem vereinfachten Berechnungsverfahren zur Abschätzung des Wärmeenergiebedarfes aus dem „Energieatlas Berlin“, wurde ein fiktives Beispiel durchgerechnet und dieses analysiert. Ziel war es hierbei die Anwendung des vereinfachten Rechenverfahrens vor allem für NWG zu plausibilisieren. Gleichzeitig werden die gesammelten Daten angewandt und in der Excel-Datei mit der Beispielrechnung verknüpft.

Für die Einschätzung des Wärmeenergiebedarfes sind also die geometrischen Informationen aus CityGML, das Baujahr und die Nutzungsart des Gebäudes von Bedeutung. Alle zuvor in Kapitel 4 erklärten Standardparameter sind abhängig vom Baujahr und der Nutzungsart des Gebäudes. Zwei Gebäude der gleichen Nutzungsart und des gleichen Baualters haben somit eine energetisch identisch qualitative Gebäudehülle. Dennoch wird beobachtet, dass bei unterschiedlich großen Gebäuden unterschiedliche spezifische Verbräuche berechnen lassen. Wie die nachfolgende Tabelle 3 aufzeigt, wurden anhand des Rechenbeispiels bei gleichen Rahmenbedingungen eines Gebäudes nur die Breite des Gebäudes verändert, was eine abnehmende Nettogeschossfläche (NGF) mit sich bringt.

Tabelle 3: Tabellarische Darstellung des berechneten Heizwärmebedarfes für unterschiedliche NGF

Beispielschule	1	2	3	4	5	6	7	8	Einheit
Höhe	9	9	9	9	9	9	9	9	m
Breite	<b>80</b>	<b>70</b>	<b>60</b>	<b>50</b>	<b>40</b>	<b>30</b>	<b>25</b>	<b>20</b>	m
Länge	30	30	30	30	30	30	30	30	m
BGF	4.800	4.200	3.600	3.000	2.400	1.800	1.500	1.200	m <sup>2</sup>
NGF	<b>4.128</b>	<b>3.612</b>	<b>3.096</b>	<b>2.580</b>	<b>2.064</b>	<b>1.548</b>	<b>1.290</b>	<b>1.032</b>	m <sup>2</sup>
Volumen Brutto	21.600	18.900	16.200	13.500	10.800	8.100	6.750	5.400	m <sup>3</sup>
Volumen Netto	17.227	15.073	12.920	10.767	8.613	6.460	5.383	4.307	m <sup>3</sup>
∑ A Außenwände	1.980	1.800	1.620	1.440	1.260	1.080	990	900	m <sup>2</sup>
∑ A Fenster	653	594	535	475	416	356	327	297	m <sup>2</sup>
∑ A oberer Abschluss	2.400	2.100	1.800	1.500	1.200	900	750	600	m <sup>2</sup>
∑ A unterer Abschluss	2.400	2.100	1.800	1.500	1.200	900	750	600	m <sup>2</sup>
Berechneter Heizwärmebedarf	<b>63</b>	<b>64</b>	<b>65</b>	<b>66</b>	<b>68</b>	<b>71</b>	<b>73</b>	<b>77</b>	kWh/m <sup>2</sup> a

Dabei steigt der spezifische Heizwärmebedarf mit sinkender Gebäudegröße, wie die folgende Abbildung 3 es visuell verdeutlicht.

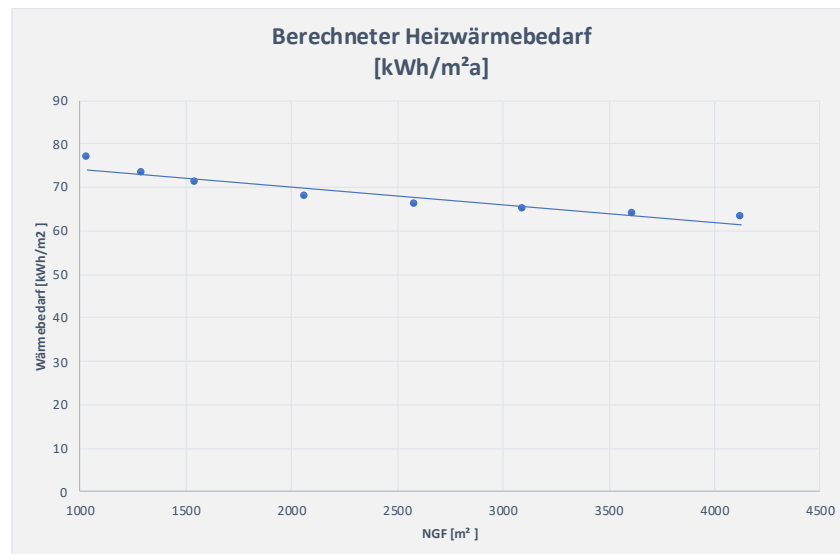
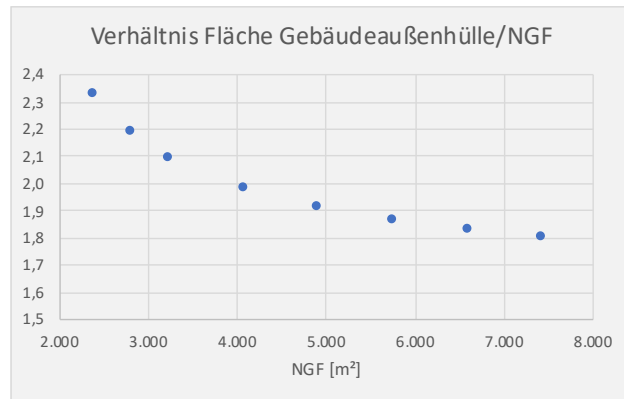


Abbildung 3 : Spezifischer Heizwärmebedarf je NGF

Um das Rechenbeispiel zu plausibilisieren, werden die berechneten Ergebnisse mit den Ergebnissen aus der Auswertung im Kapitel 6 verglichen. Dabei wird festgestellt, dass in Grundschulen bei einer durchschnittlichen Gebäudegröße von 3.853 m<sup>2</sup> der durchschnittliche Energieverbrauch für Raumwärme bei 63 kWh/m<sup>2</sup> liegt. Dies trifft genau die Ergebnisse der Beispielrechnung, weshalb sie als plausibel angenommen werden kann.

Die Gebäudehülle ist das Hauptmedium, über welches die Gebäudewärme entweicht. Auf diese Weise erscheint der abnehmende spezifische Heizwärmebedarf als plausibel, da mit steigender NGF weniger Gebäudeaußenfläche, über die die Wärme entweichen kann, pro Quadratmeter NGF entsteht. Die Korrelation wird in der folgenden Abbildung 4 verdeutlicht. Dieser Zusammenhang wurde bei der Planung von Gebäuden bis zur EnEV Fassung von 2004 mitberücksichtigt (Clement and Stolpe, 2004). Hierbei wurde dies über das A/V-Verhältnis dargestellt, was eine ähnliche Korrelation darstellt. Denn gemäß Lichtmess entstehen bei Gebäuden mit mehr NGF spezifische Energievorteile gegenüber Gebäuden mit weniger NGF (Lichtmess, 2010). Je größer das Gebäude, desto geringer ist das A/V-Verhältnis. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an den spezifischen Transmissionswärmeverlust  $H_T$  (Clement and Stolpe, 2004). Seit der Neufassung der EnEV von 2009 wird danach nicht mehr differenziert. Bei NWG ist nun die Innenraumtemperatur von Bedeutung, sodass zwischen NWG, die 12°C bis 19°C und größer gleich 19°C unterschieden wird (Deutsche Bundesregierung, 2009).



**Abbildung 4: Verhältnis der Gebäudeaußenhülle zur NGF**

Da für die Auswertung aus dem zweiten Teil dieser Arbeit keine A/V-Verhältnisse zur Verfügung stehen, da es keine Volumina gab, hat sich der Autor für die Korrelation der steigenden NGF und energetischen Vorteilen entschieden.

Aus dieser Betrachtung entstehen auch die Forschungshypothesen für die folgende Datenauswertung. Diese stützt sich vor allem darauf, dass die energetischen Vorteile dadurch entstehen, dass die Gebäuwärme über die Gebäudehülle entweicht. Nachdem ein Gebäude mit mehr NGF weniger Gebäudeaußenfläche je Quadratmeter NGF aufweist, folgen folgende Hypothesen:

1. Hypothese

*Der spezifische Energiebedarf für Raumwärme in kWh/m<sup>2</sup> nimmt mit steigender Gebäudegröße ab.*

2. Hypothese

*Der spezifische Energiebedarf für Warmwasser in kWh/m<sup>2</sup> nimmt mit steigender Gebäudegröße nicht ab.*

3. Hypothese

*Der spezifische Strombedarf in kWh/m<sup>2</sup> nimmt mit steigender Gebäudegröße nicht ab.*



## 6. Parameterstudie

Für die Parameterstudie wurden von Baureferat München die Zugangsdaten zu der Nucleos Datenbank gewährt, welche momentan die Basis und das Werkzeug für das Identifizieren des Sanierungsbedarfes ist. Hier wird die Datenlage zu rund 3.300 Nichtwohngebäuden gepflegt. Im Folgenden werden die vorliegenden Daten analysiert mit dem Ziel die allgemeine Daten- und Informationslage zu NWG aufzubessern. Diese ist zu NWG noch dürftig, weshalb weitere Forschungsbemühungen nötig sind (Ahrens *et al.*, 2013). Des Weiteren sollen Korrelationen zwischen Parametern ausgearbeitet werden. Zum Schluss wird eine Regressionsanalyse durchgeführt, die die zuvor aufgestellten Hypothesen überprüft.

### 6.1. Rahmenbedingungen der Parameterstudie

Im Rahmen dieser Arbeit hat der Autor Gebäudedaten des Jahres 2018 ausgewertet. Für dieses Jahr lagen Daten für 3.331 Gebäude vor. Die Daten resultieren aus der Datenpflege durch die Verantwortlichen bei dem Münchner Baureferat und der momentanen Vorgehensweise zur Einschätzung des Sanierungsbedarfes von Gebäuden des gesamten Gebäudeportfolios. Zu den 3.331 liegen folgende wichtige Gebäudedaten vor: Nutzungsart, Adresse, Baujahr, NGF, Energieträger für die Wärmeerzeugung, Energieverbrauch für Raumwärme, Warmwasser und Strom, daraus resultierende CO<sup>2</sup> Emissionen und einige weitere für diese Auswertung weniger relevante Informationen.

Von den 3.331 Gebäuden können 1.230 Gebäudedaten ausgewertet werden. Die Hauptursachen für das Exkludieren der restlichen 2.101 Gebäudedaten sind vor allem fehlende Einträge bei dem Baujahr des Gebäudes und die fehlenden Wärmekennwerte, was das Auswerten der Daten unmöglich macht. Des Weiteren sind ein paar wenige Gebäudedaten doppelt vorgekommen. Alle herausgenommenen Gebäudedaten werden in einem separaten Reiter in der übergebenen Excel-Datei dokumentiert und mit dem Ausschlussgrund festgehalten.

Im ersten Schritt werden alle verfügbaren Daten auf die jeweilige Nutzungsart verdichtet. Die Gebäudenutzungsarten besitzen eine vierstellige Codierung, welche an die Codierung an den Bauwerkszuordnungskatalog (BWZK) angelehnt ist (Bauministerkonferenz,

2010). Zunächst werden die Daten nach den Hauptkategorien verdichtet. Die folgende Tabelle 4 zeigt die mengenmäßige Verteilung nach den Hauptkategorien auf:

**Tabelle 4: Gebäudeanzahl und deren NGF der ausgewerteten Daten (eigene Darstellung)**

BWZ	Bezeichnung	Anzahl Gebäude	NGF [m <sup>2</sup> ]	Anteilig NGF [%]	Ø NGF [m <sup>2</sup> ]
1000	Parlament, Gericht, Verwaltung	37	203.015	7,1%	5.487
4000	Bildung und Kultur	754	2.003.053	70,3%	2.657
5000	Sport	175	279.325	9,8%	1.596
6000	Wohnen, Beherbergen, Betreuen, Verpflegen	145	162.928	5,7%	1.124
7000	Produktion, Lagerung, Verkauf, Wartung und Pflege, zentrale Ver- u. Entsorgung, öffentliche Bereitschaftsdienste	90	164.244	5,8%	1.825
8000	Technik	23	31.863	1,1%	1.385
9000	Sonstiges und Ausland	6	6.256	0,2%	1.043
	<b>Gesamt</b>	<b>1.230</b>	<b>2.850.684</b>	<b>100,0%</b>	<b>2.318</b>

Die 1.230 auszuwertende Gebäude haben insgesamt eine Fläche von 2.850.684 m<sup>2</sup>. Hierbei dominiert flächenmäßig die 4000 - Gruppe „Bildung und Kultur“ mit rund 70 %. Innerhalb der 4000 - Gruppe dominieren die Gebäude für Bildung (BWZ 4100 - 4510) mit rund 97 % der gesamten NGF stark.

Aufgrund von fehlenden Informationen, welche für die Auswertung jedoch wesentlich wären (Heizwärmebedarf und Baujahr), können 2.101 Gebäude mit einer Gesamtnetto-geschossfläche von 5.488.834 m<sup>2</sup> nicht ausgewertet werden. Um die Repräsentativität der ausgewerteten Dateien für das gesamte Gebäudeportfolio abschätzen zu können, wird in der folgenden Tabelle 5 die mengenmäßige Verteilung des gesamten Gebäudeportfolios aufgezeigt. Diese Darstellung ist möglich, da die Gebäudegrößen für alle Gebäude vorhanden sind. Hierbei fällt auf, dass die flächenmäßige Verteilung und die durchschnittlichen Gebäudegrößen zu den Werten aus der Tabelle 4 sehr ähnlich sind. Es fehlt jedoch die gesamte 3000 - BWZ Gruppe. Außerdem ist die 9000 - BWZ Gruppe mit 3,2 % deutlich stärker vertreten als in der Auswertung mit insgesamt 0,2 %. Die restlichen Gruppen sind sowohl in der durchschnittlichen Gebäudegröße als auch in deren flächenmäßiger Verteilung sehr ähnlich, sodass von einem repräsentativen Datensatz gesprochen werden kann.

Tabelle 5: Gebäudeanzahl und deren NGF der ausgeschlossenen Daten (eigene Darstellung)

BWZ	Bezeichnung	Anzahl Gebäude	NGF [m <sup>2</sup> ]	Anteilig NGF [%]	Ø NGF [m <sup>2</sup> ]
1000	Parlament, Gericht, Verwaltung	213	1.002.775	12,0%	4.708
3000	Gesundheit	5	164.687	2,0%	32.937
4000	Bildung und Kultur	1.583	4.880.500	58,5%	3.083
5000	Sport	277	405.483	4,9%	1.464
6000	Wohnen, Beherbergen, Betreuen, Verpflegen	729	932.491	11,2%	1.279
7000	Produktion, Lagerung, Verkauf, Wartung und Pflege, zentrale Ver- u. Entsorgung, öffentliche Bereitschaftsdienste	306	575.865	6,9%	1.882
8000	Technik	66	111.628	1,3%	1.691
9000	Sonstiges und Ausland	152	266.088	3,2%	1.751
	<b>Gesamt</b>	<b>3.331</b>	<b>8.339.518</b>	<b>100,0%</b>	<b>2.504</b>

## 6.2. Gebäudebestand

Die Verteilung der Gebäude nach Baualtersklassen ist entscheidend für energetische Qualität des Gebäudeportfolios.

So hat das Bundesministerium für Verkehr- Bau-, und Stadtentwicklung (BMVBS) eine Abschätzung anhand von Informationen zu vier Bundesländern (Baden-Württemberg, Brandenburg, Bremen und Sachsen-Anhalt) erarbeitet mit dem Ziel die Datenlage auch auf andere Bundesländer transferieren zu können (Ahrens *et al.*, 2013).

Hierbei wurden die Gebäude ebenfalls nach Hauptnutzungsgruppen definiert und Baualtersklassen zugeordnet. Im Gegensatz zu der Klassifizierung nach dem BWZK gibt es hier jedoch Unterschiede. Es lassen sich dennoch Nutzungsarten wie Allgemeinbildende Schulen, Kindergärten oder Verwaltungsgebäude mit der Auswertung von dieser Arbeit vergleichen. Wie der folgenden Tabelle 6 entnommen werden kann, lassen sich gemäß den Hochrechnungen des BMVBS 80 % des Gebäudebestandes von allgemeinbildenden Schulen und Kindertagesstätten auf die Bauzeit vor 1975 zurückzuführen. Im Gegensatz dazu sind laut dieser Auswertung knapp 63 % der Gebäude der 4000 BWZ-Gruppe der Baualtersklasse vor 1975 zuzuordnen. Wie vorher bereits erwähnt besteht die 4000 - BWZ Gruppe zu 97 % aus Gebäuden aus dem Bildungssektor, also ebenfalls Schulen und Kinderbetreuungsstätten, weshalb die Vergleichbarkeit hergestellt werden kann.

Bei Verwaltungsgebäuden ist der Unterschied gar stärker. Im Gegensatz zu den hochgerechneten 82 %, die vor 1975 erbaut worden sind, ergeben sich aus dem Gebäudeportfolio des Münchner Baureferates nur rund 42 %, die vor 1975 erbaut wurden.

Der Grund für die großen Unterschiede kann die Lage der betrachteten Gebäude sein. Im Gegensatz zu der Hochrechnung des BMVBS liegen bei dem Nuclos Datensatz ausschließlich Gebäude aus München vor. Der fortschreitende Urbanisierungsgrad kann eine Erklärung für die zeitlich bauliche Verschiebung sein, da in einer Stadt wie München intensiver gebaut wird als beispielsweise auf dem Land. Dies ist jedoch nur eine Vermutung und konnte fachliterarisch nicht nachgewiesen werden.

Tabelle 6: Zeitlich eingeordneter Baubestand gemäß BMVBS (Ahrens et al., 2013)

Nr.	Nutzungsklasse	BAK 1 (bis 1975)	BAK 2 (1997-1983)	BAK 3 (1984-1994)	BAK 4 (ab 1995)
1.1	1.1 Allgemeinbildende Schulen	80	6	6	8
1.2	1.3 Hochschulen und Forschung	80	6	6	8
1.3	1.3 Kindertagesstätten	80	6	6	8
2.1	2.1 Regierungs- und Gerichtsgebäude	82	5	6	7
2.2	2.2 Verwaltungs-, Polizei- und Feuerwehrgebäude	82	5	6	7
2.3	2.3 Allgemeine Bürogebäude	55	8	15	22
3.1	3.1 Fabrikgebäude	20	20	30	30
3.2	3.2 Lagergebäude	20	20	30	30
3.3	3.3 Werkstattgebäude	35	20	20	25
3.4	3.4 Allgemeine Industrie- und Gewerbegebäude	35	20	20	25
5.1	5.1 Kaufhäuser	75	5	10	10
5.2	5.2 Einkaufszentren	15	5	15	65
5.3	5.3 Allgemeine Verkaufsgebäude	75	5	10	10

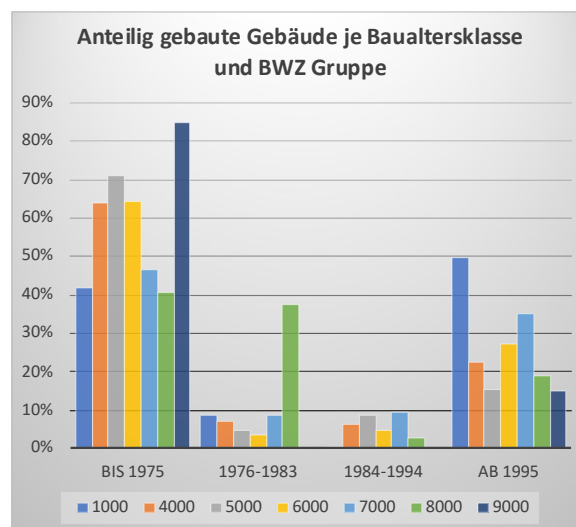
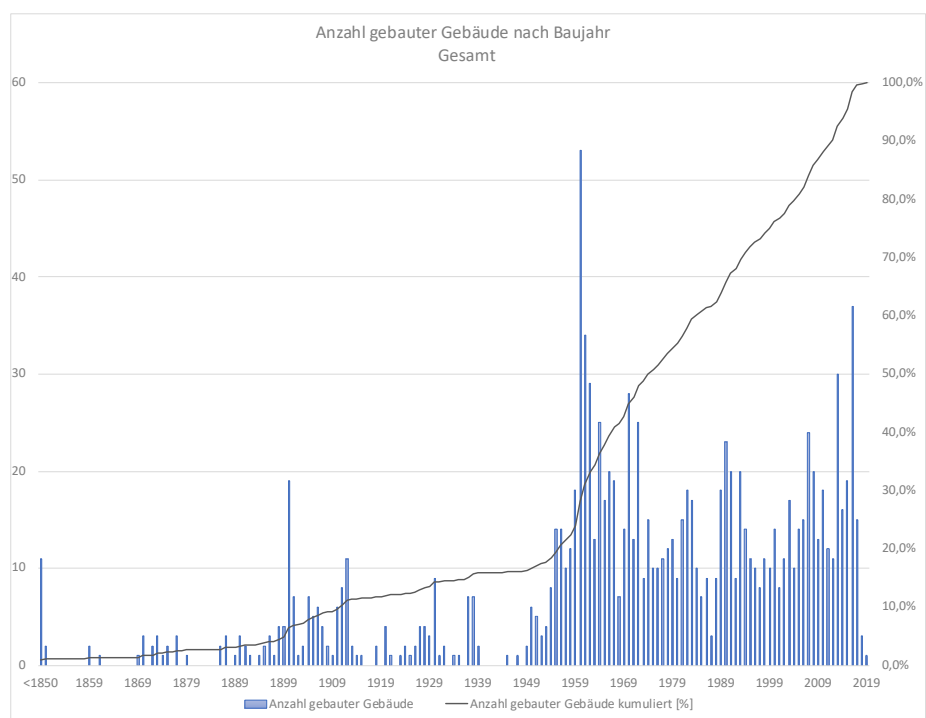


Abbildung 5: Zeitlich eingeordneter Baubestand der Auswertung (eigene Darstellung)

Diesbezüglich wird zusätzlich eine baulich zeitliche Einordnung für das ganze Gebäudeportfolio erstellt, um so die Altersverteilung der Gebäude besser einschätzen zu können. Wie die folgende Abbildung 6 zeigt sind rund 20 % des Gebäudebestandes auf die Bauzeit vor 1950 zurückzuführen. Seitdem werden Gebäude gleichmäßig erbaut, wie aus der gleichbleibenden Steigung der kumulierten Linie interpretiert werden kann. Lediglich um das Jahr 1965 hebt sich die Anzahl der Bauten von den restlichen Jahren ab.



**Abbildung 6: Anzahl gebauter Gebäude nach Baujahr (eigene Darstellung)**

Der gesamte Endenergieverbrauch beläuft sich auf insgesamt 335.789 MWh für die 1.230 Gebäude im Jahr 2018. Hierbei ist der Energiekonsum für die Raumwärme mit 58 % der größte Anteil, gefolgt von Strom mit 23 % und der Energie für die Warmwasserbereitung von 19 %.

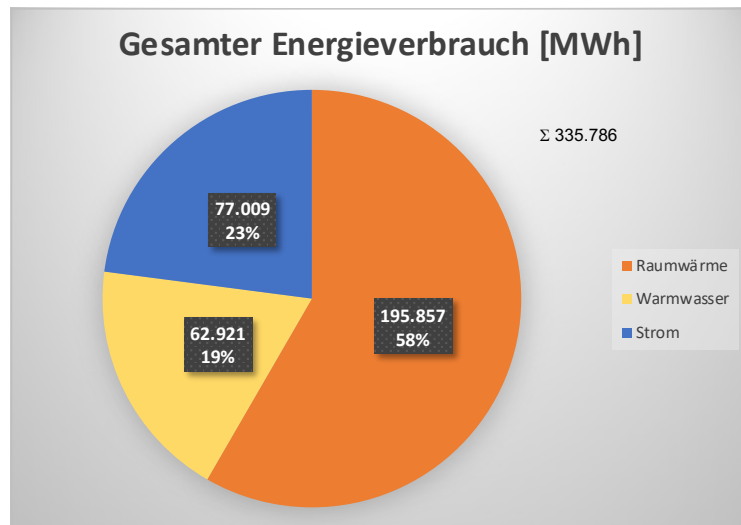


Abbildung 7: Verteilung des gesamten Energieverbrauchs (eigene Darstellung)

Gemäß dem Dena Report von 2016 lassen sich 2/3 des gesamten Wärmeverbrauchs auf Gebäudebestand zurückführen, welcher vor 1979 gebaut worden ist (Bigalke *et al.*, 2016). Wie die folgende Abbildung 8 zeigt, unterstreicht die Auswertung des Portfolios diese Aussage. Auch hier kann rund 2/3 des gesamten Wärmeverbrauchs auf den Gebäudebestand, welcher vor 1979 erbaut wurde, zurückgeführt werden.

Anders ist es bei dem Stromverbrauch. Dieser erreicht die 2/3 des Gesamtverbrauchs erst mit Gebäuden, die bis 1990 gebaut wurden. Das bedeutet, dass rund 1/3 des gesamten Strombedarfes durch Gebäude, die in den letzten 30 Jahren gebaut wurden, konsumiert wird.

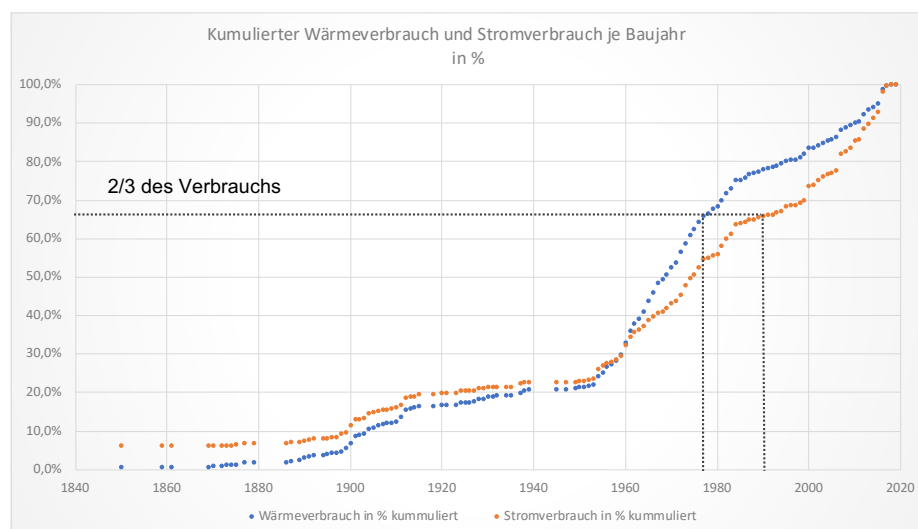


Abbildung 8: Kumulierter Wärme- und Stromverbrauch des Gebäudebestandes nach dessen Baujahr (eigene Darstellung)

#### Parameterstudie

### 6.3. Wärmeverbrauch

Der Wärmeverbrauch setzt sich zusammen aus Raumwärme und Warmwasser. Dieser wird im Folgenden auf die Energieträger aufgeteilt, durch die diese erzeugt wurden. Wie die Abbildung 9 zeigt werden rund 60 % der Wärme durch Fernwärme und knapp 40 % durch Gas bereitgestellt. Schlussendlich bleiben noch restliche 0,3 %, die durch Flüssiggas, Heizöl oder Strom erzeugt werden.

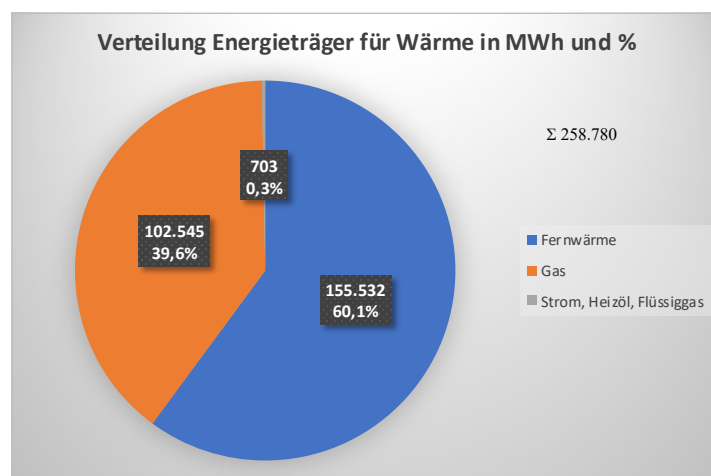


Abbildung 9: Verteilung des Wärmebedarfs nach den Energieträgern (eigene Darstellung)

Innerhalb der Auswertung wird ebenfalls sichtbar, dass tendenziell größere Gebäude durch Fernwärme versorgt werden. Im Durchschnitt sind diese mehr als doppelt so groß wie die Gebäude, die beispielsweise mit Gas versorgt werden. Wärmeversorgung mit Flüssiggas, Heizöl oder Strom bilden mit einer Gesamtanzahl von 18 Gebäuden die Ausnahme. Auch deren durchschnittliche Gebäudegröße ist mehrfach geringer als die mit den dominierenden Energieträgern Fernwärme und Gas.

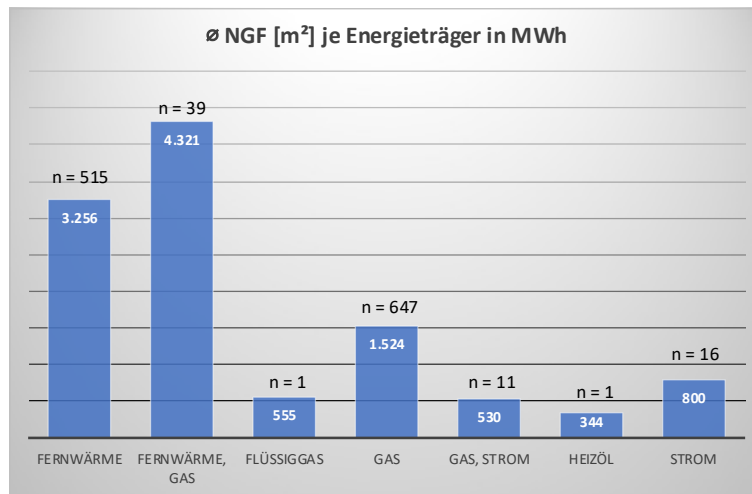


Abbildung 10: Durchschnittliche Gebäudegrößen je Energieträger der Wärmeversorgung (eigene Darstellung)

## 6.4. Strom

Gemäß den Aussagen der Verantwortlichen des Baureferates München ist unter Strom jeglicher Stromverbrauch gemeint, der in einem Gebäude anfällt, wie zum Beispiel Licht, Verbrauch für den Computer oder anderen Gerätebetrieb.

Die folgende Tabelle 7 zeigt, dass durchschnittlich 23 % der gesamten Energie für Strom eingesetzt wird. Bei Betrachtung der BWZ Gruppen, fällt auf, dass die 1000 - BWZ Gruppe mit 37 % jedoch einen deutlich höheren Stromanteil aufweist.

Tabelle 7: Verteilung Wärme und Strom je Nutzungsgruppe (eigene Darstellung)

BWZ	Bezeichnung	Verbrauch gesamt [MWh]	Verbrauch Wärme gesamt [MWh]	Anteilig für Wärme [%]	Verbrauch Strom [MWh]	Anteilig für Strom [%]
1000	Parlament, Gericht, Verwaltung	26.266	16.546	63%	9.720	37%
4000	Bildung und Kultur	212.756	167.186	79%	45.570	21%
5000	Sport	42.692	34.213	80%	8.479	20%
6000	Wohnen, Beherbergen, Betreuen, Verpflegen	18.795	15.130	80%	3.666	20%
7000	Produktion, Lagerung, Verkauf, Wartung und Pflege, zentrale Ver- u. Entsorgung, öffentliche Bereitschaftsdienste	28.818	20.856	72%	7.962	28%
8000	Technik	5.684	4.256	75%	1.428	25%
9000	Sonstiges und Ausland	777	592	76%	184	24%
	<b>Gesamt</b>	<b>335.787</b>	<b>258.779</b>	<b>77%</b>	<b>77.009</b>	<b>23%</b>

Zum einen liegt es daran, dass der Wärmeverbrauch in der 1000 – Gruppe knapp unter (- 10 %) dem durchschnittlichen Wärmeverbrauch des Gebäudeportfolios liegt. Zum anderen liegt es daran, dass hierbei ein erhöhter Strombedarf vorliegt. Mit 48 kWh/m<sup>2</sup>a übersteigt der Kennwert mit rund 77 % den durchschnittlichen Quadratmeterverbrauch

### Parameterstudie



in NWG. Ähnlich hohen spezifischen Stromverbrauch weisen ebenfalls die 7000 – mit ebenfalls 48 kWh/m<sup>2</sup>a und 8000 – Gruppen mit 45 kWh/m<sup>2</sup>a auf. Aus der relativen Betrachtung in der Tabelle 7 wird es nicht ersichtlich, da der spezifische Wärmebedarf mit 127 kWh/m<sup>2</sup>a (7000) und 134 kWh/m<sup>2</sup>a (8000) ebenfalls deutlich über dem Durchschnitt liegt (+40 % und +47 %).

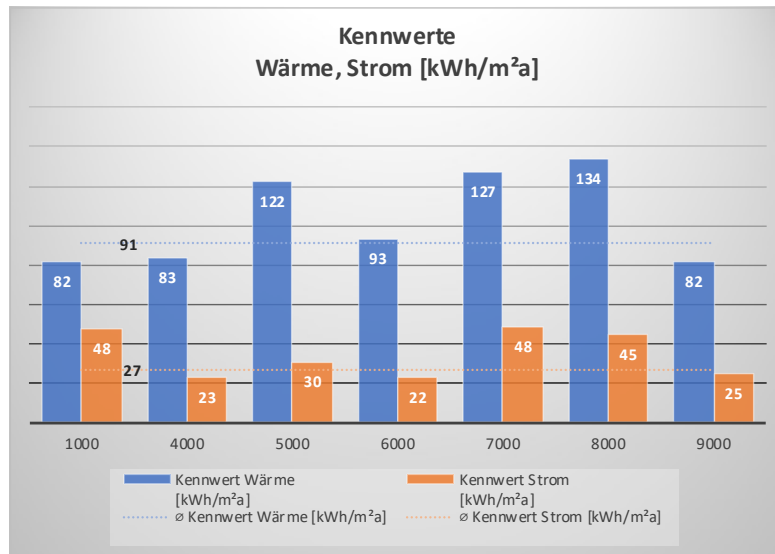


Abbildung 11: Kennwerte für Wärme und Strom je BWZ Gruppe im Vergleich zum Durchschnitt (eigene Darstellung)

## 6.5. Emissionen

Die verursachten Emissionen hängen stark vom verbrauchten Energiebedarf und dem dafür eingesetzten Energieträger ab. So produziert eine durch Heizöl erzeugte kWh/m<sup>2</sup>a Wärme rund 30 % mehr Emissionen als mit Gas. Fernwärme ist hierbei lokal vom Anbieter abhängig und muss individuell bewertet werden. (DIN V 18599-1, 2018).

Wie bereits in der Tabelle 7 festgestellt, haben alle BWZ Gruppe unterschiedliche Stromanteile bezogen auf den gesamten Energieverbrauch. Dabei hat Strom deutlich höhere spezifische Emissionen im Vergleich zur Wärmeproduktion. Die Produktion von einer kWh Strom emittiert etwa doppelt so viele Treibhausgase wie eine kWh aus Erdgas (DIN V 18599-1, 2018). Dieser Zusammenhang kann im Rahmen der Auswertung ebenfalls beobachtet werden. So steigen die spezifischen CO<sub>2</sub> Emissionen pro Quadratmeter mit steigendem Stromanteil am gesamten Energieverbrauch.

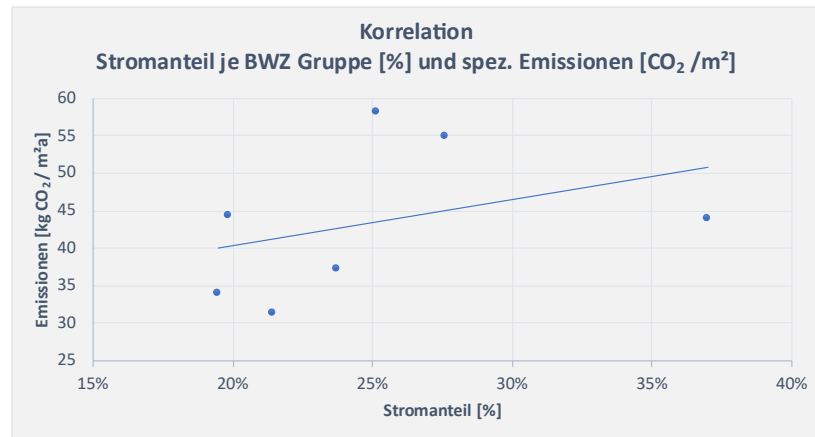


Abbildung 12: Korrelation Stromanteil je BWZ Gruppe und spezifische Emissionen (eigene Darstellung)

Nachdem die CO<sub>2</sub> Emissionen, die durch Fernwärme produziert werden, betreiberspezifisch sind, wurden diese hier ausgewertet. Der Energieträger Fernwärme bietet somit die emissionsärmste Art der Wärmeversorgung. Mit 220 kg/ MWh stößt die Fernwärme rund 10 % weniger CO<sub>2</sub> im Vergleich zu Gas. Wie schon vermutet, ist Strom mit 530 kg CO<sub>2</sub> pro MWh der emissionsreichste Energieträger für Wärmebereitstellung.

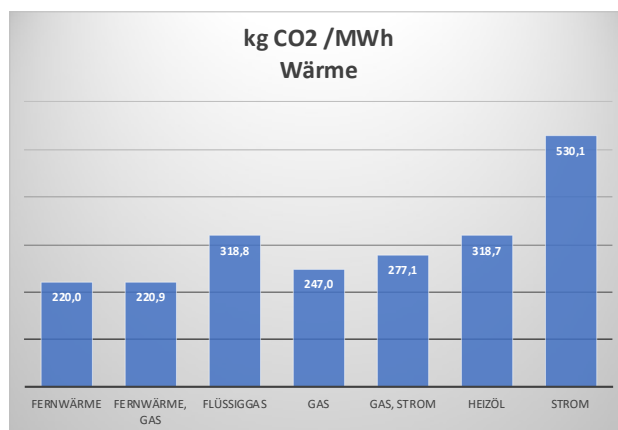


Abbildung 13: Emittierte Treibhausgase pro MWh Wärmebereitstellung

Bei der Betrachtung der spezifischen Emissionen pro MWh durch erzeugten Strom fällt auf, dass alle BWZ-Gruppen keine Unterschiede vorweisen. Offensichtlich greifen alle auf den gleichen Anbieter mit dem gleichen Strom Mix. Des Weiteren kann daraus geschlossen werden, dass keine BWZ-Gruppe durch eigenproduzierten Strom aus erneuerbaren Energien heraussticht.

#### Parameterstudie

Anders ist es bei den spezifischen Emissionen, die durch Wärme entstehen. Hierbei sind kleine Unterschiede zwischen den BWZ-Gruppen sichtbar. Wie aber auch schon im Kapitel 6.3 festgestellt, werden tendenziell größere Gebäude durch Fernwärme versorgt. Die 1000 BWZ-Gruppe kann die durchschnittlich größte Gebäudefläche nachweisen und passend dazu die geringsten spezifischen Emissionen bei der Wärmeversorgung.

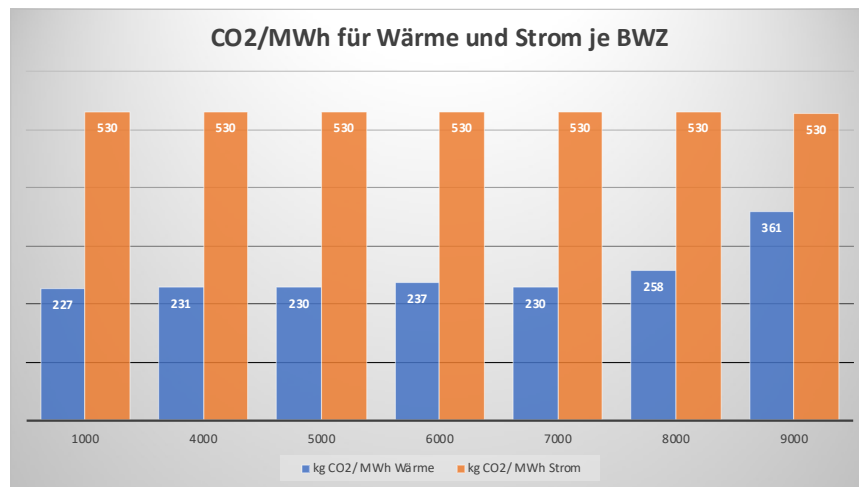


Abbildung 14: Spezifische Emissionen je BWZ-Gruppe für Wärme und Strom

Anhang A bietet nochmals eine tabellarische Übersicht zu allen wichtigen Gebäudeparameter, die innerhalb dieser Auswertung entstanden sind. Es werden folgende Parameter je Nutzungsart dargestellt: Anzahl Gebäude, NGF gesamt, durchschnittlich NGF, Verteilung des Energieverbrauchs, Verbrauch Wärme je Energieträger, spezifischer Wärmeverbrauch, Verbrauch Strom, spezifischer Stromverbrauch, Verbrauch Wasser, spezifischer Wasserverbrauch, Kosten, spezifische Kosten, Emissionen und spezifische Emissionen.

Die Parameter sollten immer im Zusammenhang mit der ausgewerteten Gebäudeanzahl betrachtet werden, da sie für die Qualität der Daten entscheidend ist.

## 7. Regressionsanalyse

Abgeleitet aus dem Rechenbeispiel in Kapitel 5 sind drei Forschungshypothesen, die es gilt im Folgenden mittels einer linearen Regressionsanalyse zu prüfen.

Eine lineare Regression soll Zusammenhänge zwischen zwei Variablen testen und mittels einer Funktion beschreiben. Es ist ein Verfahren, das zur Prognose einer Variablen dient, indem es mithilfe einer Regressionsfunktion eine abhängige Variable ( $y$ ) mittels einer unabhängigen ( $x$ ) Variable erklärt (Walther, 2020).

### 7.1. Rahmenbedingungen

Bei der statistischen Auswertung der Gebäudedaten werden zunächst Ausreißer identifiziert und exkludiert. Denn gemäß Aussagen der Verantwortlichen des Baureferates können Fehler in den Datensätzen vorliegen. Des Weiteren sind bei dieser Auswertung vor allem die Korrelationen des typischen Gebäudes einer Nutzungsart interessant und nicht vereinzelte Ausnahmefälle.

Für das Identifizieren und Exkludieren der Ausreißer wurde das Boxplot Diagramm in Excel verwendet. Die Vorgehensweise wird im Folgenden anhand des Beispiels in der Abbildung 15 erklärt. Das

Boxplot Diagramm bestimmt mithilfe von Quartilen die statistisch relevante Verteilung der Messwerte. Hierbei wird zunächst das erste, zweite und dritte Quartil gebildet. Das erste Quartil bildet den Wert ab, unter welchem 25 % der Werte der Messreihe liegen und stellt visuell die untere Kante der Box (1.437) dar. Entsprechend ist das dritte Quartil der Wert, unter welchem 75 % der Werte aus der Messreihe liegen und ist gekennzeichnet durch den oberen Abschluss der Box (5.703). Das zweite Quartil bildet den Median und ist ein wichtiger Indikator bei statistischen Methoden, da er in einer Messreihe resistent gegen Ausreißer ist und ist hierbei durch die horizontale Linie gekennzeichnet (3.714). Um die Ausreißer nun zu bestimmen, muss der Interquartilsabstand, welcher der Differenz zwischen dem erste und dem dritten Quartil entspricht, bestimmt werden ( $5.703 - 1.437 = 4.266$ ). Alle Werte, die in einem Abstand der 1,5-fachen Länge des Interquartils unter der Box liegen, werden somit als Ausreißer definiert. Das gleiche gilt für alle Werte, die oberhalb der Box in einem 1,5-fachen Interquartilsabstand liegen. Die

Definition von einem Ausreißer ist nicht fest definiert, jedoch ist es eine typische Definition für statistische Auswertungen und wird hier ebenfalls so übernommen (Walther, 2019). Bezogen auf das in der Abbildung 15 aufgezeigte Beispiel sind somit alle Werte, die gleich oder größer als 12.102 sind, Ausreißer (Ausreißer  $\geq 1,5 \times 4.266 + 5.703 = 6.399 + 5.703 \geq 12.102$ ). So entsteht das neue Maximum, welches gekennzeichnet ist durch die Antenne (10.611). Das ist der größte Wert innerhalb dieser Messreihe, der nicht über 12.102 hinausgeht. Nach unten hin gibt es keine Ausreißer, da hierbei die Werte einen negativen Wert annehmen.

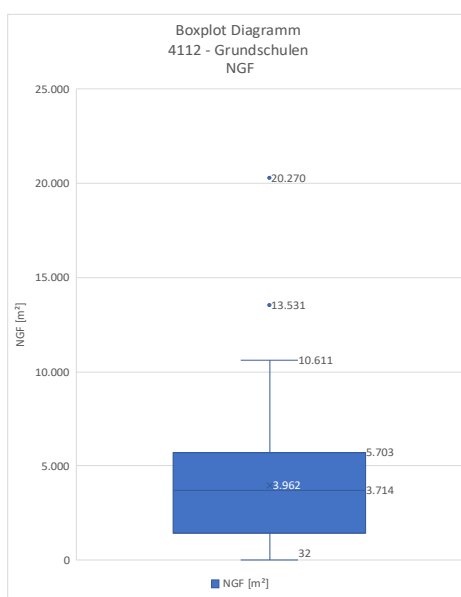


Abbildung 15: Erklärung des Boxplot Diagramms (eigene Darstellung)

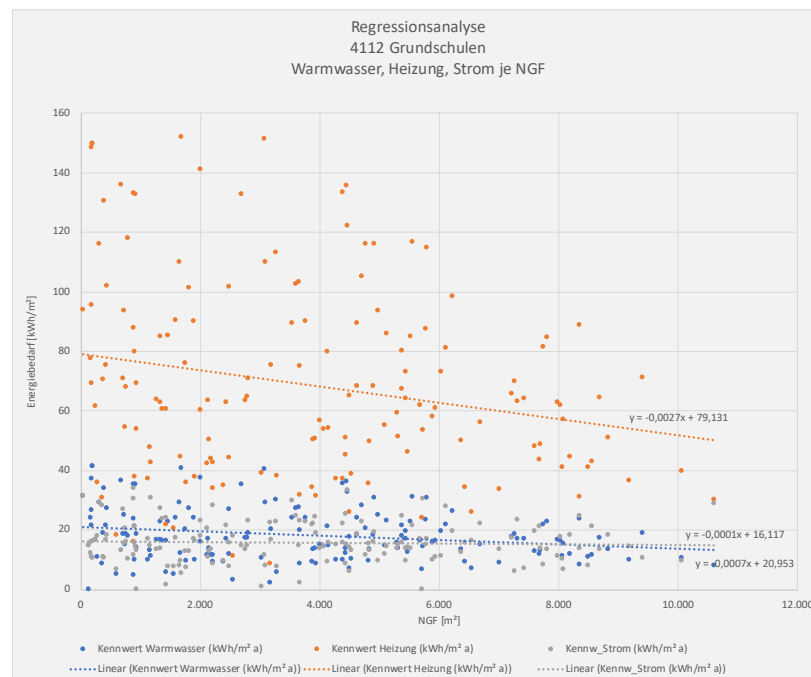
Die detaillierten Boxplot Diagramme zu allen Nutzungsarten sind dem Anhang B: 1 - Boxplot der Datenwerte 1300 - Verwaltungsgebäude zu entnehmen. Es kann vorkommen, dass Zahlen in den Boxplot Diagrammen sich visuell überlappen. Leider erlaubt es Excel nicht diese manuell zu verschieben.

Des Weiteren werden alle Nutzungsarten betrachtet, die eine Anzahl von mindestens zehn Gebäuden vorweisen, um eine aussagekräftige Regressionsanalyse durchzuführen. Im Ergebnis der Regressionsanalyse kann es dennoch vorkommen, dass weniger als zehn Gebäudedaten ausgewertet wurden, da innerhalb der Daten mindestens einen Ausreißer gab, der von der Auswertung exkludiert worden ist. Dies ist beispielsweise bei den Mehrzweckhallen der Fall. Wie dem Anhang A: 1 Tabellarische Darstellung der

#### Regressionsanalyse

wichtigsten Parameter je Nutzungsart entnommen werden kann, gibt es insgesamt elf Mehrzweckhallen. Nach dem Identifizieren der Ausreißer bleiben jedoch nur neun für die Regressionsanalyse übrig.

Im nächsten Schritt werden die Kennwerte für Raumwärme, Warmwasser und Strom je Nutzungsart in kWh/m<sup>2</sup> je Gebäudegröße dargestellt. Die lineare Regression in Excel erlaubt es eine Trendlinie und die dazu gehörige Funktion auszugeben. Eine detaillierte Darstellung der Regressionsdiagramme der einzelnen Nutzungsarten sind im Anhang C: 1 - Regressionsanalyse 1300 - Verwaltungsgebäude Anhang C: 1 wiederzufinden. Im Folgenden sind Ergebnisse in logische Nutzungsgruppen zusammengefügt. Zum einen orientiert sich der Autor an den bereits bestehenden Zuordnungen nach dem BWZK. Zum anderen werden möglichst gleiche Nutzungsarten mit ähnlichen durchschnittlichen Gebäudegrößen in Grafiken zusammengefasst.



**Diagramm 1: Beispielhafte Darstellung der Regressionsanalyse – 4112 Grundschulen (eigene Darstellung)**

So werden im Folgenden 20 unterschiedliche Nutzungsarten hinsichtlich ihres Energieverbrauch für Warmwasser, Raumwärme und Strom in Abhängigkeit der Gebäudegröße ausgewertet. Die 20 Nutzungsarten lassen sich in sechs Nutzungsgruppen verdichten: Verwaltungsgebäude (BWZ 1000), Schulen (BWZ 4000), Kinderbetreuungen (BWZ

### Regressionsanalyse

4000), Hallen/ Sport (BWZ 5000), Mensen/Kantinen (BWZ 6000) und Lager/öffentlicher Bereitschaftsdienst (BWZ 7000).

## 7.2. Ergebnisse

In diesem Unterkapitel werden die Ergebnisse der Regressionsanalyse je Nutzungsart dargestellt und erläutert. Die Auswertungen sind thematisch nach dem Verbrauch für Raumwärme, Warmwasser und Strom gegliedert. Es werden Regressionskurven je Nutzungsart dargestellt. Die Darstellung zeigt auf wie sich der Energieverbrauch einer Nutzungsart bei unterschiedlichen Gebäudegrößen verhält. Hierbei zeigen die Abbildungen das Energieverhalten in Form einer Kurve bezogen auf die durchschnittliche Gebäudegröße je Nutzungsart. Somit bilden 100 % des  $\varnothing$  NGF auf der x -Achse die durchschnittliche Gebäudegröße der ausgewerteten Nutzungsart. Entsprechend bilden 200 % die doppelte und 50 % die halbierte durchschnittlichen Gebäudegröße einer Nutzungsart ab.

Aus Vereinfachungsgründen geht der Autor im folgenden Text nur auf das energetische Verhalten eines Gebäudes bei einer Verdoppelung der Gebäudegröße im Vergleich zu dessen durchschnittlicher Gebäudegröße. Dabei werden die energetischen Größenvorbeziehungsweise Größennachteile eines Gebäudes in % ausgegeben bezogen auf die Energieverbräuche des Gebäudes mit durchschnittlicher Gebäudegröße.

Des Weiteren werden, wenn sinnvoll, Nutzungsarten zusammengefasst. Um die Ergebnisgenauigkeit innerhalb einer Nutzungsgruppe zu erhöhen wird anschließend eine gewichtete mittlere Regression gewählt. Die genauen berechneten Werte sind in dem Anhang D: 1 - Tabellarische Regressionsergebnisse - Verwaltungsgebäude tabellarisch dargestellt.

Alle Ergebnisse werden in den folgenden Abbildung 17, Abbildung 19, Abbildung 23 nochmals grafisch visualisiert.

### 7.2.1. Raumwärme

Hier werden die Ergebnisse der Regressionsanalyse je BWZ Gruppe für Raumwärme erläutert.

## 1000 - Parlament, Gericht, Verwaltung

Von den 37 vorliegenden Gebäudedaten werden 31 ausgewertet. Hierbei zeichnet sich wider Erwarten ein steigender Energiebedarf bei steigender Gebäudegröße ab. So steigt der Verbrauch für Raumwärme bei Verdoppelung der Gebäudegröße um 9 %.

## 4000 – Bildung und Kultur

Innerhalb der 4000 BWZ Gruppe werden zunächst 303 Schulen bei fünf Schultypen ausgewertet. Diese werden zwar einzeln, jedoch in einem Diagramm aufgrund der Ähnlichkeit der Nutzungsart und ebenfalls der ähnlichen durchschnittlichen Gebäudegrößen, dargestellt. Dabei wird deutlich, dass bei drei von fünf Schularten eine klare Regression stattfindet. Im Mittel liegt für alle Schularten eine gewichtete Regression von -9 % bei Verdoppelung der durchschnittlichen NGF.

Bei den 336 Kinderbetreuungsstätten ist die Regression sehr deutlich. Alle sechs Typen der Kinderbetreuungsstätten zeigen einen energetischen Größenvorteil bei einer mittleren Regression von -31 %.

Besonders auffällig ist der Energieverbrauch bei Kindergärten. Mit einer Anzahl von 110 Gebäuden dominiert dieser die Nutzungsgruppe und zeigt ein auffälliges Cluster von kleinen Gebäuden mit hohem von Wärmeverbrauch.

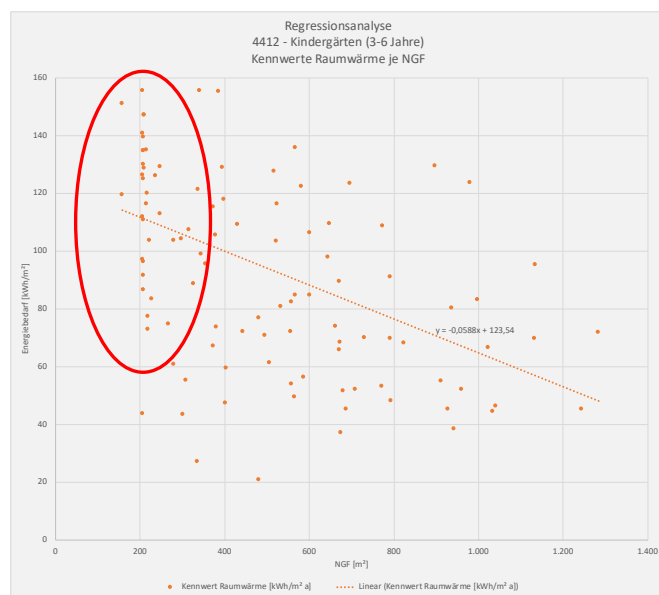


Abbildung 16: Clusterbildung von hohen spezifischen Wärmeverbräuchen in kleinen Kindergärten

## Regressionsanalyse



### 5000 - Sport

Bei der nächsten Nutzungsggruppe, den Hallen für Sport und andere Zwecke und den Gebäuden für Sportaußenanlagen, wird eine mittlere gewichtete Regression von -5 % festgestellt. Dabei bewegt sich die Regression der Hallen zwischen -16 % und +19 %. Lediglich der energetische Vorteil von Gebäuden für Sportaußenanlagen sticht mit -50 % stark heraus.

### 6000 - Wohnen, Beherbergen, Betreuen, Verpflegen

Im Rahmen dieser Arbeit werden Nichtwohngebäude analysiert, weshalb Gebäude wie Wohnhäuser oder Gemeinschaftsunterkünfte hierbei nicht analysiert werden. Diese sind gemäß ihrer Beschreibung vorwiegend Wohnhäuser von Schulhausmeistern oder Sportplatzwarten und somit der Definition nach dem Wohnbereich zuzuordnen. Wie die Begrifflichkeiten bereits erahnen lassen, ist vor allem die Zweckbestimmung des Gebäudes der entscheidende Unterschied. So sind gemäß der EnEV § 2 Absatz 1 Begriffsbestimmung "*[...] Wohngebäude Gebäude, die nach ihrer Zweckbestimmung überwiegend dem Wohnen dienen, einschließlich Wohn-, Alten- und Pflegeheimen sowie ähnlichen Einrichtungen*". Alle anderen Gebäude werden als Nichtwohngebäude definiert (EnEV, 2013).

Aus der 6000 Kategorie konnten dennoch Mensen und Kantinen ausgewertet werden, die eine Gesamtzahl von 13 Gebäuden (ohne Ausreißer) vorweisen. Hierbei wird ein energetischer Vorteil von -14 % bei doppelter Gebäudegröße festgestellt.

### 7000 - Produktion, Lagerung, Verkauf, Wartung und Pflege, zentrale Ver- und Entsorgung, öffentliche Bereitschaftsdienste

Mit insgesamt 42 ausgewerteten Gebäuden wird eine mittlere gewichtete Regression von -3 % festgestellt. Hierbei haben sowohl Gebäude für Lagerung als auch Gebäude für öffentliche Bereitschaftsdienste jeweils eine ähnliche Regression von -4 % und -2 %.

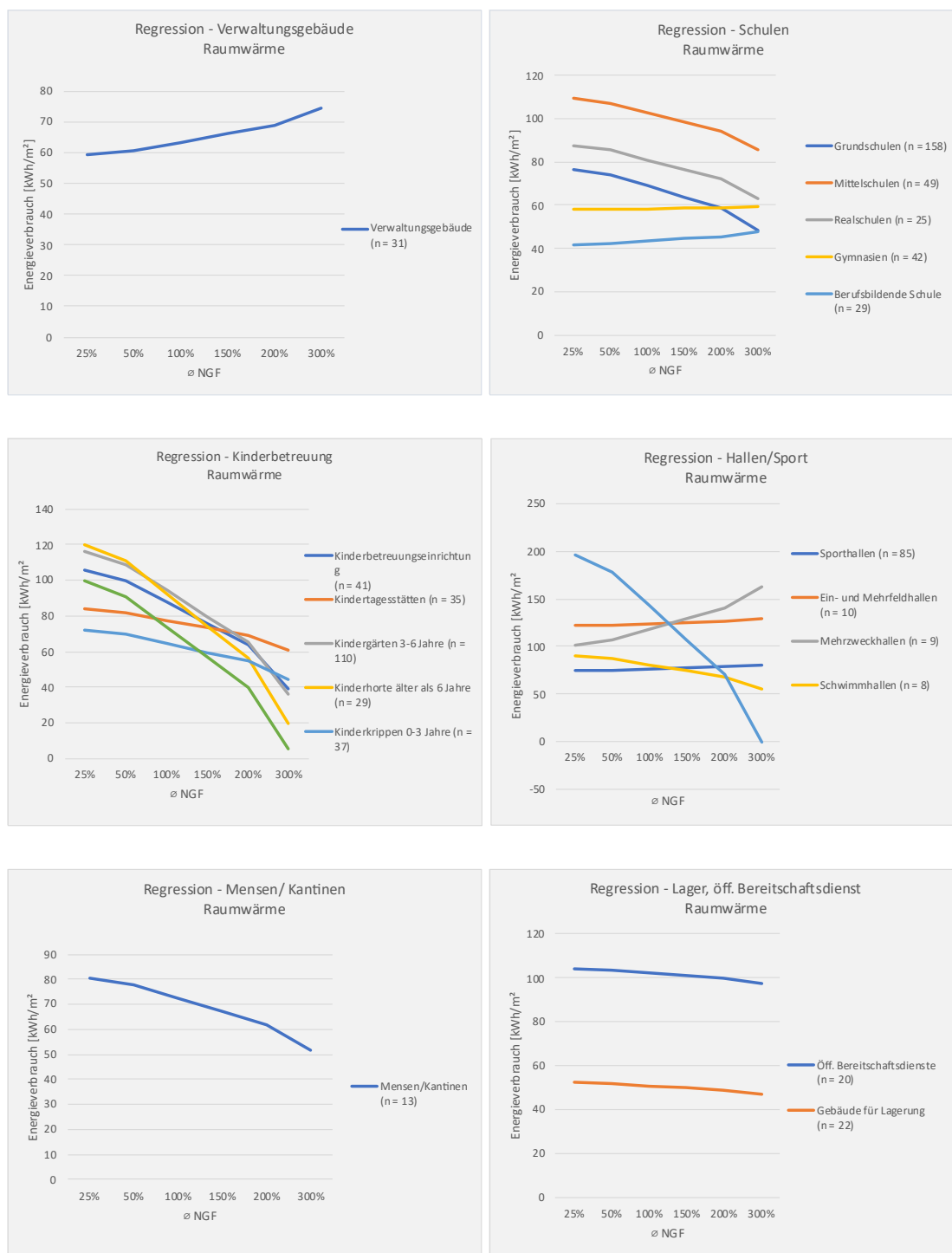


Abbildung 17: Ergebnisse der Regressionsanalyse für Raumwärme (eigene Darstellung)

## Regressionsanalyse

### 7.2.2. Warmwasser

Die Auswertung der Regressionsanalyse bei Warmwasser erfolgt analog zu der Raumwärme.

#### 1000 - Parlament, Gericht, Verwaltung

Bei den 31 Verwaltungsgebäuden zeichnet sich eine klare Regression ab. Ausgehend von der durchschnittlichen Gebäudegröße sinkt der Energieverbrauch für Warmwasser um -20 % bei doppelter Gebäudegröße. Des Weiteren fällt auf, dass in 14 von 31 Gebäuden ein besonders niedriger Energieverbrauch für Warmwasser besteht ( $\leq 2$  kWh/m<sup>2</sup>), wie in folgender Abbildung 18 zu sehen ist. Dabei liegt der mittlere Verbrauch bei rund 14 kWh/m<sup>2</sup>. Diese Verteilung könnte ein Indiz für die installierte Haustechnik sein. So wäre es plausibel, dass in den 14 Gebäuden mit geringem Warmwasserverbrauch es keine Duschkmöglichkeiten oder ähnlichem gibt, im Gegensatz zu den anderen 17 Gebäuden. Dies ist jedoch nur eine Vermutung und muss weiter untersucht werden.

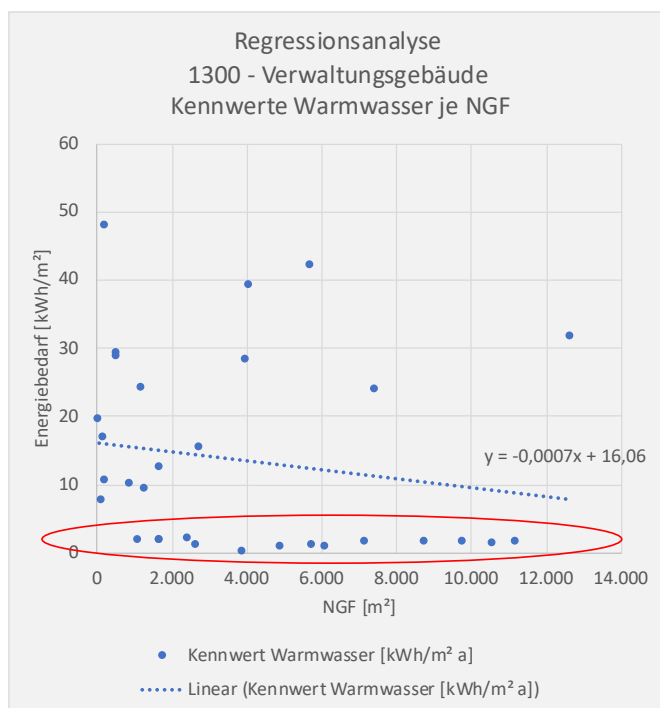


Abbildung 18: Clusterbildung von niedrigen spezifischen Wärmeverbräuchen in Verwaltungsgebäuden

#### 4000 – Bildung und Kultur

Auch an Schulen aus der BWZ Gruppe 4000 ist bei vier von fünf Schularten eine klare Regression festzustellen. Lediglich an Gymnasien wird eine Steigung des Energieverbrauchs bei steigender Gebäudegröße beobachtet. Im Mittel kann für alle fünf Schularten eine gewichtete Regression von -11 % festgestellt werden.

In Kinderbetreuungsstätten ist der Fall noch eindeutiger. Bei allen Typen ist eine fallende Tendenz festzustellen bei einer mittleren gewichteten Regression von gar -31 %.

#### 5000 – Sport

Innerhalb der 5000 BWZ Gruppe fällt die Regressionsanalyse unterschiedlich aus. Während zwei Kurven sehr flach verlaufen mit einer Steigung von +2 % und +3 %, erfahren die anderen Drei eine starke Regression beziehungsweise Progression (+23 %, -21 %, -50 %). Insgesamt kann jedoch eine mittlere gewichtete Regression von -5 % beobachtet werden.

#### 6000 - Wohnen, Beherbergen, Betreuen, Verpflegen

Für die 13 Mensen und Kantinen kann ein energetischer Größenvorteil von -15 % festgestellt werden.

#### 7000 - Produktion, Lagerung, Verkauf, Wartung und Pflege, zentrale Ver- und Entsorgung, öffentliche Bereitschaftsdienste

Bei den öffentlichen Bereitschaftsdiensten aus der 7000 BWZ Gruppe ist eine Regression von -2 % festzustellen. Hingegen bei Gebäuden für Lagerung wird eine Steigerung des Energieverbrauchs um +7 % beobachtet, sodass im Mittel eine gewichtete Progression von +3 % zu festgehalten werden kann.

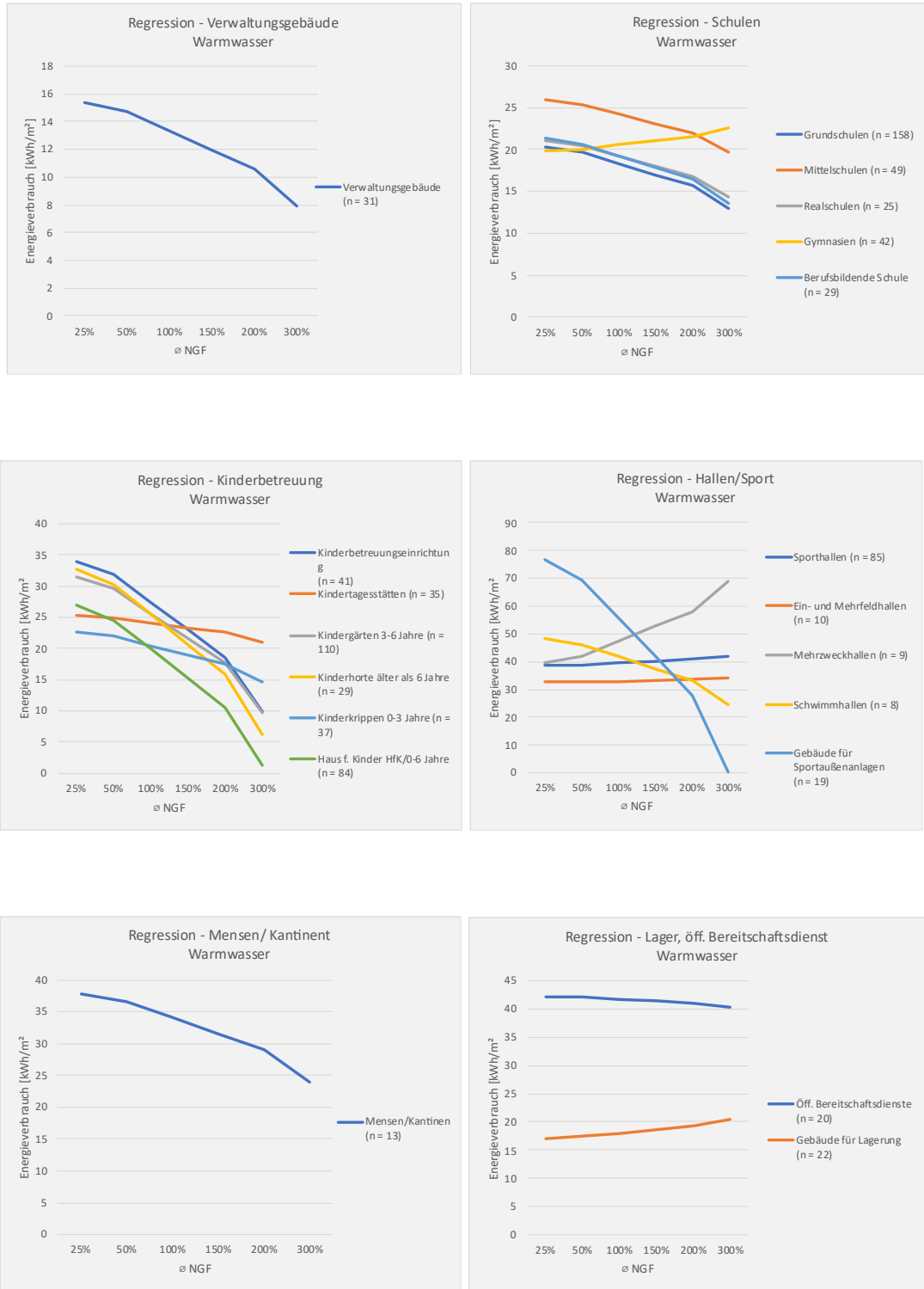


Abbildung 19: Ergebnisse der Regressionsanalyse für Warmwasser (eigene Darstellung)

### 7.2.3. Strom

Die Auswertung der Regressionsanalyse bei Stromverbrauch erfolgt analog zu der Auswertung der Raumwärme und Warmwasser.

#### 1000 - Parlament, Gericht, Verwaltung

Innerhalb der Verwaltungsgebäude wird eine starke Progression von + 58 % festgestellt. Die starke Steigung kann durch die große Amplitude der Gebäudegröße erklärt werden. Zusätzlich fällt eine Clusterbildung von kleinen Verwaltungsgebäuden, die einen geringen Energieverbrauch vorweisen.

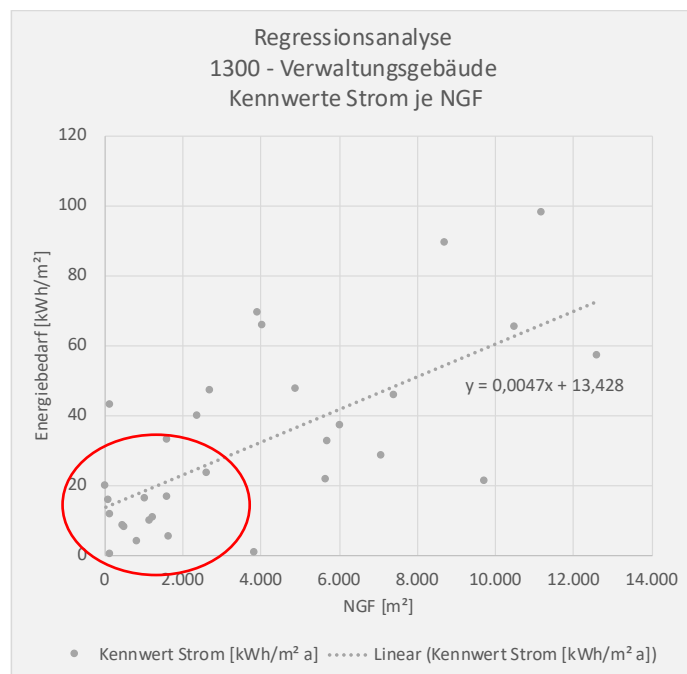


Abbildung 20: Clusterbildung von niedrigen spezifischen Wärmeverbräuchen in kleinen Verwaltungsgebäuden

#### 4000 – Bildung und Kultur

An zwei von drei Schularten verhält sich der Energieverbrauch für Strom regressiv, so dass im Mittel eine gewichtete Regression von -4 % zu beobachten ist. Insgesamt bewegt sich das Energieverhalten zwischen -16 % und +4%.

In Kinderbetreuungseinrichtung ist die Situation ähnlich wie auch schon bei den Energieverbräuchen für Raumwärme und Warmwasser. Hierbei ist ein im Mittel ein starkes

#### Regressionsanalyse

Gefälle von -30 % zu beobachten. Insgesamt wird an vier von fünf Kinderbetreuungsarten eine Regression festgestellt.

Wie auch bei Raumwärme kann bei Strom eine Clusterbildung von spezifisch hohen Verbräuchen in kleinen Kindergärten beobachtet werden.

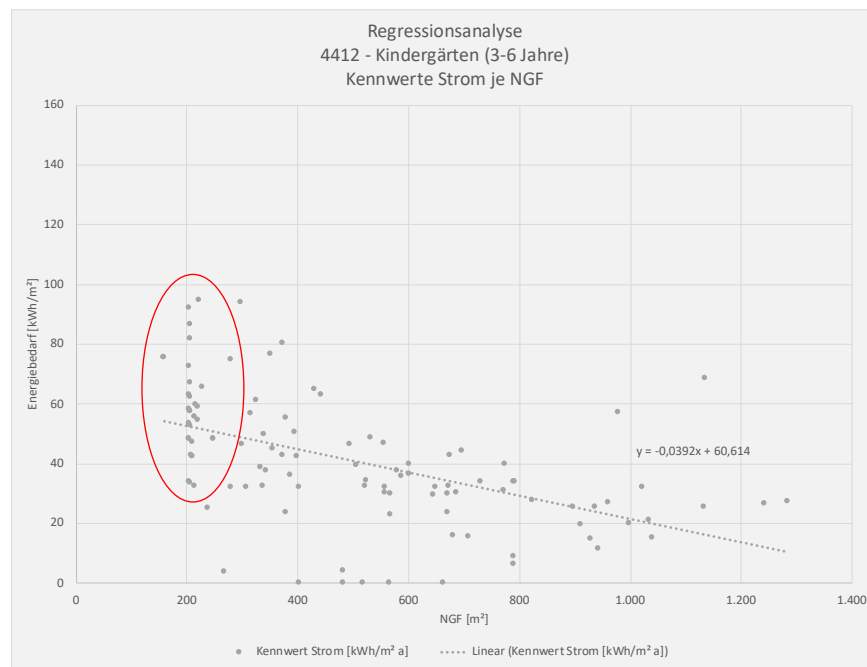


Abbildung 21: Clusterbildung von hohen spezifischen Stromverbräuchen in kleinen Kindergärten

### 5000 – Sport

Im Bereich der Hallen und der Gebäude für Sportaußenanlagen ist das Energieverhalten unterschiedlich. Bei drei von fünf Gebäudearten finden eine Regression statt, so dass insgesamt eine mittlere gewichtete Regression von -5 % berechnet wird.

### 6000 - Wohnen, Beherbergen, Betreuen, Verpflegen

Für die Mensen und Kantinen wird eine starke Regression von - 36 % beobachtet.

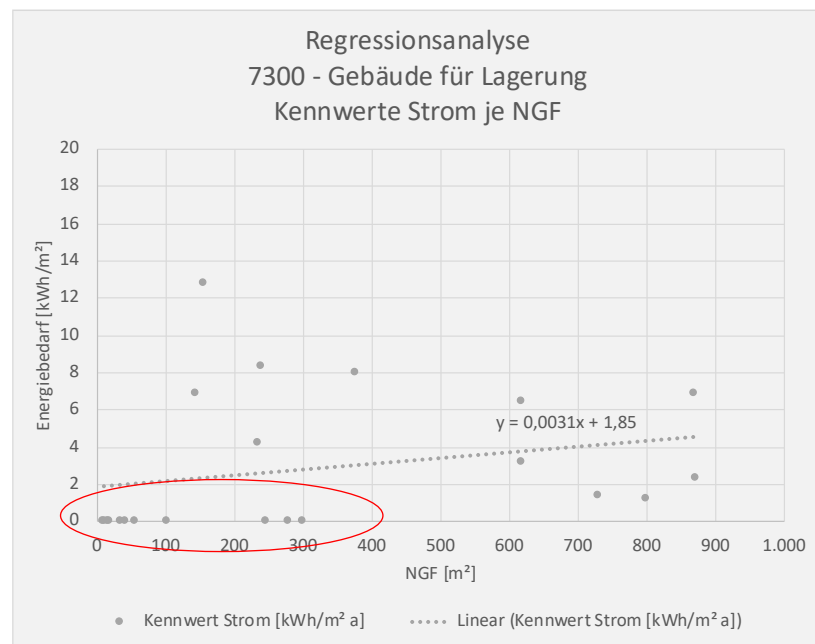
### 7000 - Produktion, Lagerung, Verkauf, Wartung und Pflege, zentrale Ver- und Entsorgung, öffentliche Bereitschaftsdienste

Bei der 7000 BWZ Gruppe verhalten sich die beiden ausgewerteten Gebäudearten kontrovers zueinander. Während bei Gebäuden für Lagerung eine Progression von +34 %

**Regressionsanalyse**

beobachtet wird, verhält sich der Energieverbrauch bei öffentlichen Bereitschaftsdiensten mit -64 % stark regressiv. Zusammengefasst entsteht eine mittlere gewichtete Regression von - 12 %.

Es ist dennoch auffällig, dass elf von 22 ausgewertete Lagern gar keinen Stromverbrauch nachweisen. Dies kann ein Indiz für die Einfachheit des Gebäudes ohne jegliche Haustechnik sein.



**Abbildung 22: Clusterbildung von 0 Verbräuchen in Lagern**



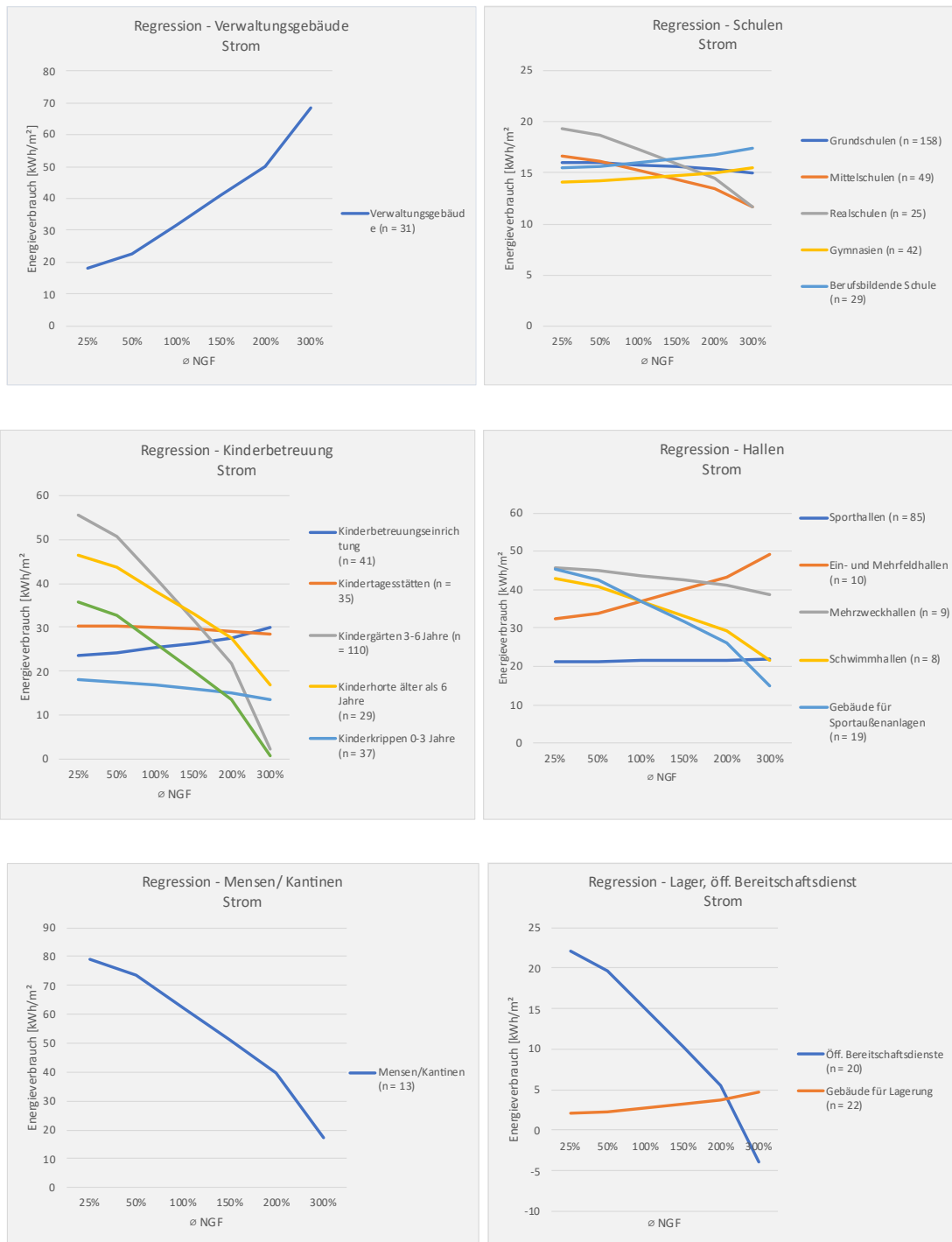


Abbildung 23: Ergebnisse der Regressionsanalyse für Strom (eigene Darstellung)

## Regressionsanalyse

Bei Verdoppelung der Gebäudegröße ist in fünf von sechs bearbeiteten Nutzungsgruppen eine Regression sowohl bei Raumwärme als auch Warmwasser und Strom sichtbar.

Abschließend wird eine gewichtete Regression für alle ausgewerteten Gebäude berechnet. Es werden energetische Größenvorteile zwischen -13 % bis -18 % beobachtet.

**Tabelle 8: Überblick über die mittlere gewichtete Regression aller ausgewerteten Nutzungsgruppen**

Bezeichnung	n	Raumwärme			Warmwasser			Strom		
		Ø NGF			Ø NGF			Ø NGF		
		50%	100%	200%	50%	100%	200%	50%	100%	200%
Verwaltungsgebäude	31	-4%	0%	9%	10%	0%	-20%	-29%	0%	58%
Schulen	303	5%	0%	-9%	5%	0%	-11%	2%	0%	-4%
Kinderbetreuung	336	16%	0%	-31%	16%	0%	-31%	15%	0%	-30%
Halle/Sport	131	2%	0%	-5%	2%	0%	-5%	2%	0%	-5%
Mensen/Kantinen	13	7%	0%	-14%	7%	0%	-15%	18%	0%	-36%
Lager, öff. Bereitschaftsdienst	42	2%	0%	-3%	-1%	0%	3%	6%	0%	-12%
Mittlere gewichtete Regression	856	8%	0%	-16%	9%	0%	-18%	6%	0%	-13%

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sowohl bei dem Energieverbrauch für Raumwärme als auch für Warmwasser und Strom tendenziell energetische Vorteile bei größeren Gebäuden zu beobachten sind. Somit kann die erste Forschungshypothese bestätigt werden

1. *Der spezifische Energiebedarf für Raumwärme in kWh/m<sup>2</sup> nimmt mit steigender Gebäudegröße ab*

Die zweite und dritte hingegen wird aufgrund erzielter Ergebnisse verworfen.

2. *Der spezifische Energiebedarf für Warmwasser in kWh/m<sup>2</sup> nimmt mit steigender Gebäudegröße nicht ab*
3. *Der spezifische Strombedarf in kWh/m<sup>2</sup> nimmt mit steigender Gebäudegröße nicht ab*

### 7.3. Ergebnisvalidierung

Um die Genauigkeit der Regressionsanalyse zu prüfen, werden die Werte im Anschluss validiert. Dafür werden in die Regressionsfunktionen für die Variable  $x$  die tatsächliche Gebäudegröße eingesetzt und die Energieverbräuche für Raumwärme, Warmwasser und Strom berechnet. Im nächsten Schritt werden diese mit den realen Verbräuchen der Gebäude verglichen und eine absolute Abweichung in % berechnet. Eine absolute Abweichung erlaubt es schlussendlich eine mittlere Abweichung für eine Gebäudegruppe darzustellen, da sonst negative Werte eine durchschnittliche Abweichung verfälschen würden. Die folgende Tabelle 9 stellt beispielhaft dar wie die Ergebnisvalidierung je Nutzungsart und Verbrauchstyp erfolgt.

Hierbei sind Verbräuche für entsprechende Validierungen für Warmwasser, Raumwärme und Strom voneinander separiert. Gleichzeitig ist die Regressionsfunktion in der zweiten Spalte je Verbrauchstyp dargestellt. Nach dem einsetzen der Gebäudegröße für  $x$  in die Regressionsfunktion, wird ein erwarteter Verbrauchswert berechnet. Dieser wird dann mit dem realen Wert verglichen und eine absolute Abweichung generiert.

Das oben rechts markierte Feld kann nicht ausgewertet werden, da der reale Verbrauch 0 kWh/m<sup>2</sup> beträgt, was das Prozentrechnen hierbei nicht ermöglicht.

Die einzelnen Tabellen, die im Rahmen der Validierung entstanden sind, werden in der Excel-Datei „*Regressionsanalyse*“ übergeben. Aufgrund des Umfangs werden sie nicht im Anhang aufgeführt.

Tabelle 9: Darstellung der Ergebnisvalidierung für 4114 – Realschulen je Warmwasser, Raumwärme und Strom

NGF [m²]	Warmwasser			Raumwärme			Strom		
	Kennwert [kWh/m² a]	Verifizierung $y = -0,0007x + 21,591$	Abs. Abweichung Regressions- kurve zu Kennwert [%]	Kennwert Raumwärme [kWh/m² a]	Verifizierung Raumwärme $y = -0,0026x + 90,01$	Abs. Abweichung Regressions- kurve zu Kennwert [%]	Kennwert [kWh/m² a]	Verifizierung Strom $y = -0,0008x + 20,026$	Abs. Abweichung Regressions- kurve zu Kennwert [%]
2.322	9	20	132%	38	84	122%	0	18	
9.766	15	15	5%	66	65	3%	3	12	326%
192	26	21	18%	109	90	18%	10	20	91%
192	26	21	18%	109	90	18%	10	20	91%
9.665	14	15	9%	59	65	10%	11	12	8%
823	19	21	8%	84	88	5%	13	19	45%
5.650	20	18	10%	84	75	11%	14	16	14%
356	6	21	280%	28	89	217%	14	20	41%
7.182	20	17	16%	85	71	16%	14	14	1%
6.173	15	17	17%	64	74	16%	15	15	2%
1.669	6	20	241%	27	86	218%	16	19	20%
3.460	17	19	11%	75	81	8%	16	17	7%
4.552	18	18	0%	80	78	2%	16	16	1%
6.153	18	17	5%	78	74	5%	17	15	10%
178	6	21	282%	28	90	219%	17	20	18%
8.128	24	16	34%	104	69	34%	17	14	22%
5.396	9	18	88%	40	76	88%	19	16	16%
3.511	26	19	27%	112	81	28%	21	17	19%
5.986	14	17	23%	61	74	22%	22	15	30%
141	35	21	39%	149	90	40%	28	20	30%
40	25	22	14%	75	90	20%	25	20	20%
152	33	21	35%	125	90	28%	26	20	24%
141	28	21	24%	135	90	33%	28	20	30%
174	29	21	25%	126	90	29%	29	20	31%
4.959	18	18	0%	78	77	1%	29	16	45%
	Mittlere absolute Abweichung		<b>54%</b>	Mittlere absolute Abweichung		<b>48%</b>	Mittlere absolute Abweichung		<b>39%</b>

Als Überblick der erzielten Validierungsergebnisse wird im Folgenden eine Heat Map dargestellt, die die absolute mittlere Abweichung der berechneten Werte aus der Regressionsfunktion von den realen Werten darstellt. Von den insgesamt 60 Validierungen (20 Nutzungsarten je drei Verbrauchsarten) haben sieben eine Übereinstimmung von unter 25 %. 17 Validierungen haben eine Abweichung, die zwischen 26 % und 50 % liegt. Die höchste Anzahl an Validierungen liegt mit einer Anzahl von 25 zwischen 51 % und 100 %. Darüber hinaus gibt es restliche 11 Validierungen, die mit einer Abweichung von mehr als 100 % abweichen.

Tabelle 10: Heat Map – Ergebnisse der absoluten mittleren Abweichung je Nutzungsgruppe

Bezeichnung	BWZ	n	Absolute mittlere Abweichung		
			Raumwärme	Warmwasser	Strom
Verwaltungsgebäude	1300	31	521%	53%	271%
Grundschulen	4112	158	54%	56%	176%
Mittelschulen	4113	49	50%	56%	26%
Realschulen	4114	25	54%	48%	39%
Gymnasien	4115	42	40%	54%	17%
Berufsbildende Schule	4200	29	38%	34%	23%
Kinderbetreuungseinrichtung	4400	41	83%	87%	60%
Kindertagesstätten	4410	35	43%	49%	53%
Kindergärten 3-6 Jahre	4412	110	36%	37%	52%
Kinderhorte älter als 6 Jahre	4413	29	24%	25%	80%
Kinderkrippen 0-3 Jahre	4414	37	63%	74%	166%
Haus f. Kinder HfK/0-6 Jahre	4415	84	83%	89%	80%
Sporthallen	5100	85	64%	53%	28%
Ein- und Mehrfeldhallen	5110	10	40%	40%	41%
Mehrfeldhallen	5130	9	119%	86%	49%
Schwimmbhallen	5200	8	18%	20%	18%
Gebäude für Sportaußenanlagen	5400	19	219%	151%	65%
Mensen/Kantinen	6720	22	31%	34%	159%
Gebäude für Lagerung	7300	20	61%	264%	87%
Öff. Bereitschaftsdienste	7700	20	103%	121%	79%

Legende:		n
< 25 %		7
26 % - 50 %		17
51 % - 100 %		25
> 100 %		11

Die Rate der hohen Abweichungen bei der Ergebnisvalidierung ist hoch. Nur sieben von 60 Ergebnisvalidierungen haben eine geringere Abweichung als 25 %. Dies sagt aber vor allem aus, wie genau oder ungenau die Regressionsfunktion die vorliegenden Verbräuche beschreibt. Der Autor der Arbeit ist der Meinung, dass die hier angewendete lineare Regressionsfunktion sich nicht dafür eignet die energetischen Verbräuche zu genau genug beschreiben zu können.

Es wird aber noch eine andere wichtige Erkenntnis aus der Regressionsanalyse gewonnen. 42 von 60 erarbeiteten Regressionskurven weisen energetische Vorteile bei größeren Gebäuden vor (Abbildung 17, Abbildung 19 und Abbildung 23). Wie aus der Tabelle 8 hervor geht, weisen sogar fünf von den sechs untersuchten Nutzungsgruppen sowohl bei Raumwärme als auch bei Warmwasser und Strom bei Betrachtung einer mittleren Gewichtung eine Regression nach. Aus diesem Grund plausibilisiert der Autor in einer weiteren einfachen Prüfung die Größenvorteile von Gebäuden.

#### Regressionsanalyse

Hierfür werden die Datensätze der 20 Nutzungsarten der Gebäudegröße nach aufsteigend aufgereiht und genau in der Mitte geteilt. Bei ungerader Gebäudeanzahl wird ein Gebäude mehr den ersten 50 % der Gebäudereihe zugeordnet. Anschließend werden die durchschnittlichen Gebäudegrößen und die durchschnittlichen Energiekennwerte für Raumwärme, Warmwasser, Strom gebildet. Zum Schluss werden die mittleren energetischen Verbräuche miteinander verglichen.

Wie die folgende Tabelle 11 zeigt, können bei Warmwasser energetische Größenvorteile bei 15 von 20 Nutzungsarten festgestellt werden. Die Raumwärme zeigt ebenfalls eine ähnliche Tendenz. 14 von 20 Nutzungsarten erfahren eine Regression. Zusätzlich dazu zeigt eine Nutzungsart keine Abweichung (0%). Und auch bei Strom werden bei 13 Nutzungsarten energetische Größenvorteile beobachtet, während zwei Nutzungsarten keine Abweichung vorweisen.

Tabelle 11: Ergebnisse - Plausibilisierung der energetischen Vorteile bei größeren Gebäuden

BWZ	Gebäudegröße	Ø NGF [m²]	Ø Verbrauch [kWh/m²a]			BWZ	Gebäudegröße	Ø NGF [m²]	Ø Verbrauch [kWh/m²a]		
			Warmwasser	Raumwärme	Strom				Warmwasser	Raumwärme	Strom
3000	< 50%	1.012	14	62	16	4414	< 50%	585	22	71	19
	> 50%	6.964	13	65	48		> 50%	812	18	58	15
	Regression		-8%	5%	67%		Regression		-22%	-22%	-27%
4112	< 50%	1.566	20	74	16	4415	< 50%	626	23	85	30
	> 50%	6.030	17	64	16		> 50%	1.154	17	63	22
	Regression		-18%	-16%	0%		Regression		-35%	-35%	-36%
4113	< 50%	677	25	106	16	5100	< 50%	719	39	74	21
	> 50%	4.536	23	100	15		> 50%	1.429	40	80	21
	Regression		-9%	-6%	-7%		Regression		3%	8%	0%
4114	< 50%	757	20	85	18	5110	< 50%	998	34	126	35
	> 50%	6.427	18	76	17		> 50%	2.620	32	122	39
	Regression		-11%	-12%	-6%		Regression		-6%	-3%	10%
4115	< 50%	1.798	20	58	14	5130	< 50%	764	38	99	43
	> 50%	8.338	21	58	15		> 50%	1.359	60	143	44
	Regression		5%	0%	7%		Regression		37%	31%	2%
4200	< 50%	3.891	15	42	21	5200	< 50%	1.162	44	88	43
	> 50%	10.359	17	46	18		> 50%	2.350	40	73	31
	Regression		12%	9%	-17%		Regression		-10%	-21%	-39%
4400	< 50%	419	31	96	27	5400	< 50%	502	59	150	42
	> 50%	959	24	78	24		> 50%	859	52	134	32
	Regression		-29%	-23%	-13%		Regression		-13%	-12%	-31%
4410	< 50%	257	25	83	28	6720	< 50%	293	37	78	77
	> 50%	958	23	72	32		> 50%	558	31	66	45
	Regression		-9%	-15%	13%		Regression		-19%	-18%	-71%
4412	< 50%	263	30	111	53	7300	< 50%	76	19	57	2
	> 50%	735	21	78	29		> 50%	541	17	44	3
	Regression		-43%	-42%	-83%		Regression		-12%	-30%	33%
4413	< 50%	283	30	110	43	7700	< 50%	327	36	88	19
	> 50%	759	20	73	33		> 50%	864	48	117	11
	Regression		-50%	-51%	-30%		Regression		25%	25%	-73%

## 8. Diskussion

Trotz der teils hohen Abweichungen in der Ergebnisvalidierung ist es plausibel, dass NWG energetische Vorteile bei größeren Gebäuden vorweisen. Bei der Sanierungseinschätzung von Gebäuden würde es bedeuten, dass kleine und große Gebäude gleicher Nutzungsart nur bedingt miteinander vergleichbar sind. Zur mindestens in der Sanierungsbewertung müssten zwei unterschiedlich große Gebäude gleicher Nutzungsart und bei gleichem spezifischen Energieverbrauch differenziert behandelt werden. Auf den ersten Blick wirkt es als wären sie von gleicher energetischer, baukonstruktiver Qualität. Wenn jedoch die energetischen Größenvorteile von größeren Gebäuden mit in Betracht gezogen werden, verschiebt sich die Sanierungspriorisierung zu den größeren Gebäuden hin.

Derzeit scheint es so als würde dieser Aspekt bei der Sanierungsentscheidung keinen Einfluss spielen. Gemäß dem Datensatz existieren Referenzwerte, die zur Sanierungsentscheidung verhelfen sollen. Diese sind jedoch bis auf ein paar wenige Ausnahmen unabhängig von der Gebäudegröße für eine Nutzungsart gleich.

Der Autor dieser Arbeit schlägt deshalb vor einen regressiven Referenzwert mit in die Sanierungsbewertung einfließen zu lassen. Dafür kann der momentane Referenzwert einer Nutzungsart für die durchschnittliche Gebäudegröße dieser Nutzungsart gelten. Für größere beziehungsweise kleinere Gebäude kann der Referenzwert beispielsweise gemäß der mittleren gewichteten Regression aus Tabelle 8 angepasst werden.

## 9. Fazit und Aussichten

Die energetische Bewertungslage von NWG ist aufgrund der starken Heterogenität in der Gebäudenutzung deutlich komplexer als bei WG. Gleichzeitig ist die Informationslage dürftig, obwohl NWG für rund 43 % des Endenergiebedarfes des gesamten Gebäudesektors verantwortlich ist. Um die ambitionierten Klimaziele zu erreichen, muss jedoch schnell und richtig gehandelt werden. Dafür ist jedoch weitere Forschungsarbeit dringend nötig. Zusätzliche Datensätze aus anderen Portfolios könnten die Informationslage bezüglich NWG deutlich verbessern

Das Baureferat München handelt beispielhaft für andere Städte und Kommunen, indem sie wichtige Daten für die Forschung zur Verfügung stellen. Klimaneutralität ist ein Ziel, welches über die Ziele einer Stadt hinaus geht. So würden nicht nur Städte, sondern Menschen bundes-, europa- oder gar weltweit von neuen Erkenntnissen profitieren. Deshalb ist die Forderung nach neuen Daten laut.

Bezogen auf das OfDataLyse Projekt wäre es sinnvoll die Informationen zu den Sanierungsständen der Gebäude zu erfassen und ebenfalls mit einzupflegen. So könnten die Erkenntnisse mit einer höheren Genauigkeit erforscht werden.

Des Weiteren kann der eigenproduzierte Anteil an erneuerbaren Energien in der Datenbank miterfasst werden. Diese interessante Information könnte gleichzeitig als Werkzeug zur Kontrolle vom Ausbau erneuerbarer Energien dienen. Mögliche Potentiale könnten somit ausgearbeitet werden, um die Energiewende möglichst schnell voranzubringen.



## 10. Literaturverzeichnis

Ahrens, C. *et al.* (2013) 'Systematische Datenanalyse im Bereich der Nichtwohngebäude – Erfassung und Quantifizierung von Energieeinspar- und CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzialen Inhaltsverzeichnis Inhaltsverzeichnis Einführung Zusammenfassung Summary 1 Forschungsgegenstand 1.1 Definition', (27).

Bahr, C. (2008) *Carolin Bahr Instandhaltungsaufwand öffentlicher Hochbauten Ein Beitrag zur Budgetierung universitätsverlag karlsruhe.*

Bauministerkonferenz (2010) *Bauwerkszuordnungskatalog.*

BBSR (2013) *Energieeinsparungsgesetz (EnEG).* Available at: [https://www.bbsr-energieeinsparung.de/EnEVPortal/DE/Regelungen/EnEG/eneg\\_node.html](https://www.bbsr-energieeinsparung.de/EnEVPortal/DE/Regelungen/EnEG/eneg_node.html).

Bigalke, U. *et al.* (2016) 'Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand'.

Biljecki, F., Ledoux, H. and Stoter, J. (2016) *An improved LOD specification for 3D building models, Computers, Environment and Urban Systems.* doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2016.04.005.

BMU (2017) *Die Klimakonferenz in Paris.* Available at: <https://www.bmu.de/themen/klima-energie/klimaschutz/internationale-klimapolitik/pariser-abkommen/>.

BMU (2021) *Der Klimaschutzplan 2050 – Die deutsche Klimaschutzlangfriststrategie.* Available at: <https://www.bmu.de/themen/klima-energie/klimaschutz/nationale-klimapolitik/klimaschutzplan-2050/#c8420>.

BMVBW (2001) 'Normalherstellungskosten 2000'.

Bundesagentur für Arbeit (2010) 'Die Entwicklung der Arbeitslosigkeit in Deutschland', *Dossier: Lange Wege der Deutschen Einheit.*, 2009. Available at:

<http://www.bpb.de/geschichte/deutsche-einheit/lange-wege-der-deutschen-einheit/47242/arbeitslosigkeit?p=all>.

BWE (2020) *Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz*. Available at: [https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Recht-Politik/Das\\_EEWaermeG/das\\_eewaermeg.html#:~:text=Das Gesetz soll außerdem dazu,mit erneuerbaren Energien zu decken.](https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Recht-Politik/Das_EEWaermeG/das_eewaermeg.html#:~:text=Das Gesetz soll außerdem dazu,mit erneuerbaren Energien zu decken.)

BWE and BMU (2015) 'Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand'.

Clement, W. and Stolpe, M. (2004) 'Bekanntmachung der Neufassung der Energieeinsparverordnung (EnEV)', 1980, pp. 1–29.

Deutsche Bundesregierung (2009) 'Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung Vom 29. April 2009', 2009(23), p. 38.

DIN V 18599-1 (2018) 'Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 1', (September), pp. 1–99.

DIN V 18599-2 (2018) *Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 2*.

DWD (2020) *Die Globalstrahlung*. Available at: <https://www.dwd.de/DE/leistungen/solarenergie/globalstrahlung.html>.

EnEV (2013) § 2 *Begriffsbestimmungen*. Available at: [https://enev-online.com/enev\\_2014\\_volltext/02\\_begriffsbestimmungen.htm](https://enev-online.com/enev_2014_volltext/02_begriffsbestimmungen.htm).

Europäische Kommission (2020) 'Europäisches Klimagesetz', 53(9), pp. 1689–1699.

Gesundheitsreferat München (2020) *Klimaneutralität 2035*. Available at:

[https://www.muenchen.de/rathaus/Stadtverwaltung/Referat-fuer-Gesundheit-und-Umwelt/Klimaschutz\\_und\\_Energie/Klimaneutralitaet.html](https://www.muenchen.de/rathaus/Stadtverwaltung/Referat-fuer-Gesundheit-und-Umwelt/Klimaschutz_und_Energie/Klimaneutralitaet.html).

Hörner, M. and Knissel, J. (2014) *Berechnungsgrundlagen des TEK-Tools*.

IWU (2019) *Gradtagzahlen IWU*.

Kaden, R. *et al.* (2020) 'Energieatlas Berlin : Vom Gebäude zur Stadt – Am Beispiel zur Abschätzung der Wärmeenergiebedarfe von Gebäuden', (April 2013), pp. 1–16.

Kluge, S. (1999) 'Empirisch begründete Typenbildung', *Empirisch begründete Typenbildung*, 1(1). doi: 10.1007/978-3-322-97436-5.

Kolbe, Prof. Dr. Thomas *et al.* (2015) *Leitfaden 3D-GIS und Energie*.

Lichtmess, M. (2010) *Vereinfachungen für die energetische Bewertung von Gebäuden*, 2010, Download: [Http://El.Pub.Bib](http://El.Pub.Bib). Available at: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Vereinfachungen+für+die+energetische+Bewertung+von+Gebäuden#0>.

Loga, Tobias; Imkeller-Benjes, U. (1997) 'Energiepaß Heizung / Warmwasser'.

Loga, T. (1999) *Räumlich und zeitlich eingeschränkte Beheizung*.

Loga, T. *et al.* (2005) *Kurzverfahren Energieprofil*.

Müller, C. (2021) *Netzwerk und Modellvorhaben Nichtwohngebäude*. Available at: <https://www.dena.de/themen-projekte/projekte/gebäude/netzwerk-und-modellvorhaben-nichtwohngebäude/>.

Seidl, E. (2006) *Lexikon der Bautypen: Funktionen und Formen der Architektur*.

UBA (2020) *Energiesparende Gebäude*. Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energiesparen/energiesparende-gebäude#gebäude-wichtig-für-den-klimaschutz>.

Verbraucherzentrale (2020) *GEG: Was steht im neuen*

*Gebäudeenergiegesetz?* Available at:

<https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/energetische-sanierung/geg-was-steht-im-neuen-gebaeudeenergiegesetz-13886>.

Walther, B. (2019) *Boxplot interpretieren*. Available at:

<https://www.bjoernwalther.com/boxplot-interpretieren/#:~:text=Die Box – der Interquartilsabstand,immer mit der Box bzw.&text=Sie spannt den Interquartilsabstand auf,der Werte der Verteilung liegen>.

Walther, B. (2020) *Einfache lineare Regression in SPSS rechnen und interpretieren*. Available at: <https://www.bjoernwalther.com/einfache-lineare-regression-in-spss-rechnen-und-interpretieren/>.

Weidlich, B. (1986) 'Bauphysikalische Grundlagen', *Rationelle Energieverwendung im Hochbau*, (April), pp. 3–63. doi: 10.1007/978-3-642-93323-3\_2.

Wetzel, J. (2020) 'Verspäteter Abschluss'. Available at:

<https://www.sueddeutsche.de/muenchen/muenchen-schulen-bau-vezoegerungen-stadt-corona-krise-1.5118067>.

# 11. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der energetischen Anforderungen an ein Wohngebäude (Bigalke <i>et al.</i> , 2016) .....	4
Abbildung 2: Visualisierung der Detaillierungsgrade von CityGML (Biljecki, Ledoux and Stoter, 2016).....	9
Abbildung 3 : Spezifischer Heizwärmebedarf je NGF .....	19
Abbildung 4: Verhältnis der Gebäudeaußenhülle zur NGF.....	20
Abbildung 5: Zeitlich eingeordneter Baubestand der Auswertung (eigene Darstellung) .....	24
Abbildung 6: Anzahl gebauter Gebäude nach Baujahr (eigene Darstellung).....	25
Abbildung 7: Verteilung des gesamten Energieverbrauchs (eigene Darstellung).....	26
Abbildung 8: Kumulierter Wärme- und Stromverbrauch des Gebäudebestandes nach dessen Baujahr (eigene Darstellung) .....	26
Abbildung 9: Verteilung des Wärmebedarfs nach den Energieträgern (eigene Darstellung) .....	27
Abbildung 10: Durchschnittliche Gebäudegrößen je Energieträger der Wärmeversorgung (eigene Darstellung).....	28
Abbildung 11: Kennwerte für Wärme und Strom je BWZ Gruppe im Vergleich zum Durchschnitt (eigene Darstellung) .....	29
Abbildung 12: Korrelation Stromanteil je BWZ Gruppe und spezifische Emissionen (eigene Darstellung).....	30
Abbildung 13: Emittierte Treibhausgase pro MWh Wärmebereitstellung .....	30
Abbildung 14: Spezifische Emissionen je BWZ-Gruppe für Wärme und Strom.....	31
Abbildung 15: Erklärung des Boxplot Diagramms (eigene Darstellung).....	33
Abbildung 16: Clusterbildung von hohen spezifischen Wärmeverbräuchen in kleinen Kindergärten .....	36
Abbildung 17: Ergebnisse der Regressionsanalyse für Raumwärme (eigene Darstellung) .....	38
Abbildung 18: Clusterbildung von niedrigen spezifischen Wärmeverbräuchen in Verwaltungsgebäuden.....	39

Abbildung 19: Ergebnisse der Regressionsanalyse für Warmwasser (eigene Darstellung) .....	41
Abbildung 20: Clusterbildung von niedrigen spezifischen Wärmeverbräuchen in kleinen Verwaltungsgebäuden.....	42
Abbildung 21: Clusterbildung von hohen spezifischen Stromverbräuchen in kleinen Kindergärten .....	43
Abbildung 22: Clusterbildung von 0 Verbräuchen in Lagern .....	44
Abbildung 23: Ergebnisse der Regressionsanalyse für Strom (eigene Darstellung).....	45

## 12. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Reduktionsfaktor Wärmeverluste bei Nacht- und Wochenendabsenkung (Loga, 1999).....	12
Tabelle 2: Standardwerte für Gebäudedichtheit nach der DIN 18599 (DIN 18599-2, 2018) .....	14
Tabelle 3: Tabellarische Darstellung des berechneten Heizwärmebedarfes für unterschiedliche NGF .....	18
Tabelle 4: Gebäudeanzahl und deren NGF der ausgewerteten Daten (eigene Darstellung) .....	22
Tabelle 5: Gebäudeanzahl und deren NGF der ausgeschlossenen Daten (eigene Darstellung) .....	23
Tabelle 6: Zeitlich eingeordneter Baubestand gemäß BMVBS (Ahrens <i>et al.</i> , 2013).....	24
Tabelle 7: Verteilung Wärme und Strom je Nutzungsgruppe (eigene Darstellung) .....	28
Tabelle 8: Überblick über die mittlere gewichtete Regression aller ausgewerteten Nutzungsgruppen.....	46
Tabelle 9: Darstellung der Ergebnisvalidierung für 4114 – Realschulen je Warmwasser, Raumwärme und Strom.....	48
Tabelle 10: Heat Map – Ergebnisse der absoluten mittleren Abweichung je Nutzungsgruppe .....	49
Tabelle 11: Ergebnisse - Plausibilisierung der energetischen Vorteile bei größeren Gebäuden .....	50

# Anhang A

Anhang A: 1 Tabellarische Darstellung der wichtigsten Parameter je Nutzungsart

0	1	2	3	4=3/2	5=6+8+10=12+14	6	7=6/5
BWZ	Bezeichnung	Anzahl von Gebäuden	NGF	Ø NGF	Verbrauch Wärme gesamt	Verbrauch Wärme mit Fernwärme	
		-	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]		[MWh]	[MWh]
<b>1000</b>	<b>Parlament, Gericht, Verwaltung</b>	<b>37</b>	<b>203.015</b>	<b>5.487</b>	<b>16.546</b>	<b>14.015</b>	<b>85%</b>
1300	Verwaltungsgebäude	37	203.015	5.487	16.546	14.015	85%
<b>4000</b>	<b>Bildung und Kultur</b>	<b>754</b>	<b>2.003.053</b>	<b>2.657</b>	<b>167.201</b>	<b>99.902</b>	<b>60%</b>
4100	Allgemeinbildende Schule	1	24.157	24.157	2.032	2.032	100%
4112	Grundschulen, allgemeinbildend	170	654.980	3.853	52.481	29.283	56%
4113	Mittelschulen, allgemeinbildend	56	173.122	3.091	19.353	10.333	53%
4114	Realschulen, allgemeinbildend	27	87.828	3.253	7.945	4.638	58%
4115	Gymnasien, allgemeinbildend	59	367.996	6.237	29.318	20.233	69%
4140	Förder-/ Sonderschulen	1	7.076	7.076	1.000	1.000	100%
4200	Berufsbildende Schule	43	357.893	8.323	24.076	20.946	87%
4400	Kinderbetreuungseinrichtung	48	34.577	720	3.844	1.809	47%
4410	Kindertagesstätten	37	33.854	915	2.747	570	21%
4412	Kindergärten (3-6 Jahre)	113	57.195	506	6.087	2.353	39%
4413	Kinderhorte (älter als 6 Jahre)	35	17.858	510	1.989	537	27%
4414	Kinderkrippen (0-3 Jahre)	46	34.760	756	2.998	378	13%
4415	Haus f. Kinder (HfK/0-6 Jahre)	92	79.798	867	7.531	3.742	50%
4510	Bibliotheken/Archive/Bücherein	8	12.180	1.523	1.214	0	0%
4600	Galerien/Museen/Ausstellungsg.	5	9.304	1.861	1.600	974	61%
4700	Veranstaltungsgebäude	5	16.904	3.381	1.076	1.076	100%
4800	Sakralbauten	1	138	138	4	0	0%
4830	Kapellen	7	33.434	4.776	1.905	0	0%
<b>5000</b>	<b>Sport</b>	<b>175</b>	<b>279.325</b>	<b>1.596</b>	<b>34.213</b>	<b>21.247</b>	<b>62%</b>
5100	Sporthallen	119	192.967	1.622	20.476	12.697	62%
5110	Ein- und Mehrfeldhallen	11	24.610	2.237	3.610	1.904	53%
5130	Mehrzweckhallen	11	25.021	2.275	3.982	3.485	88%
5200	Schwimmbädern	11	19.139	1.740	2.961	2.082	70%
5400	Gebäude für Sportanlagen	23	17.587	765	3.184	1.080	34%
<b>6000</b>	<b>Wohnen, Beherbergen, etc.</b>	<b>145</b>	<b>162.928</b>	<b>1.124</b>	<b>15.130</b>	<b>6.407</b>	<b>42%</b>
6100	Wohnhäuser	80	52.967	662	5.809	3.632	63%
6112	EFH mit zusätzl. Nutzung	1	445	445	36	0	0%
6122	MFH mit zusätzl. Nutzung	5	12.148	2.430	727	185	25%
6125	MFH (2-6 Wohneinheiten)	1	696	696	30	0	0%
6126	WFH (ab 7 Wohneinheiten)	2	1.798	899	120	0	0%
6300	Gemeinschaftsunterkünfte	16	38.164	2.385	5.218	745	14%
6610	Alten-/ Seniorenwohnheime	3	32.184	10.728	247	198	80%
6620	Altenzentren	3	1.421	474	119	50	42%
6640	Sozialgebäude/Familienzentren	9	8.975	997	1.557	915	59%
6710	Gaststätten/Vereinsheime	9	4.023	447	297	75	25%
6720	Mensen/Kantinen	16	10.108	632	969	606	63%
<b>7000</b>	<b>Produktion, Lagerung, etc.</b>	<b>90</b>	<b>164.244</b>	<b>1.825</b>	<b>20.856</b>	<b>13.164</b>	<b>63%</b>
7200	Betriebsgebäude/Infrastruktur.	2	2.626	1.313	109	31	29%
7210	Gebäude für Tierhaltung	1	10.521	10.521	992	915	92%
7230	Gebäude für Pflanzenhaltung	4	1.268	317	438	0	0%
7300	Gebäude für Lagerung	25	20.742	830	948	390	41%
7420	Geschäftsgebäude	1	439	439	111	0	0%
7640	Garagen- und Parkbauten	6	28.499	4.750	3.611	3.271	91%
7641	PKW-Garagen KFZ (beheizt)	4	3.215	804	543	113	21%
7700	Öff. Bereitschaftsdienste	31	48.440	1.563	8.636	4.609	53%
7760	Feuerwache – Berufsfeuerwehr	7	44.130	6.304	4.444	3.834	86%
7761	Feuerwache – Freiwillige Feuerwehr	8	3.931	491	951	0	0%
7790	Feuerwehrgerätehaus	1	434	434	74	0	0%
<b>8000</b>	<b>Technik</b>	<b>23</b>	<b>31.863</b>	<b>1.385</b>	<b>4.256</b>	<b>797</b>	<b>19%</b>
8000	Technik	7	9.688	1.384	750	131	17%
8200	Geb.f.Steuerung/Lenkung/Überw.	9	13.412	1.490	1.494	595	40%
8300	Versorgung,Energie/Wärme/Kälte	7	8.763	1.252	2.012	71	4%
<b>9000</b>	<b>Sonstiges und Ausland</b>	<b>6</b>	<b>6.256</b>	<b>1.043</b>	<b>511</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>
9300	Friedhofsgebäude	1	4.000	4.000	138	0	0%
9520	WC-Anlagen	1	238	238	68	0	0%
9700	Sonstige Gebäude (beheizt)	4	2.018	505	304	0	0%
	<b>Gesamt</b>	<b>1.230</b>	<b>2.850.684</b>	<b>2.318</b>	<b>258.712</b>	<b>155.532</b>	<b>60%</b>



1	8	9=8/5	10	11=10/5	12	13=12/5	14	15=14/5
Bezeichnung	Verbrauch Wärme mit Gas		Verbrauch Wärme mit Strom [MWh]		Verbrauch Wärme für Raumwärme		Verbrauch Wärme für Warmwasser	
	[MWh]	[%]	[MWh]	[%]	[MWh]	[%]	[MWh]	[%]
<b>Parlament, Gericht, Verwaltung</b>	2.530	15%	0	0%	14.175	86%	2.371	14%
Verwaltungsgebäude	2.530	15%	0	0%	14.175	86%	2.371	14%
<b>Bildung und Kultur</b>	67.097	40%	201	0%	130.232	78%	37.035	22%
Allgemeinbildende Schule	0	0%	0	0%	1.727	85%	305	15%
Grundschulen, allgemeinbildend	23.199	44%	0	0%	41.519	79%	10.962	21%
Mittelschulen, allgemeinbildend	9.020	47%	0	0%	15.705	81%	3.648	19%
Realschulen, allgemeinbildend	3.242	41%	66	1%	6.447	81%	1.498	19%
Gymnasien, allgemeinbildend	9.066	31%	19	0%	21.597	74%	7.721	26%
Förder-/ Sonderschulen	0	0%	0	0%	1.000	100%	0	0%
Berufsbildende Schule	3.130	13%	0	0%	17.620	73%	6.456	27%
Kinderbetreuungseinrichtung	2.032	53%	4	0%	2.970	77%	899	23%
Kindertagesstätten	2.166	79%	11	0%	2.087	76%	661	24%
Kindergärten (3-6 Jahre)	3.710	61%	24	0%	4.820	79%	1.309	22%
Kinderhorte (älter als 6 Jahre)	1.452	73%	0	0%	1.559	78%	430	22%
Kinderkrippen (0-3 Jahre)	2.612	87%	8	0%	2.279	76%	719	24%
Haus f. Kinder (HfK/0-6 Jahre)	3.778	50%	10	0%	5.932	79%	1.598	21%
Bibliotheken/Archive/Bücherein	1.214	100%	0	0%	1.020	84%	193	16%
Galerien/Museen/Ausstellungsg.	574	36%	52	3%	1.360	85%	240	15%
Veranstaltungsgebäude	0	0%	0	0%	853	79%	223	21%
Sakralbauten	4	100%	0	0%	3	79%	1	22%
Kapellen	1.897	100%	8	0%	1.734	91%	172	9%
<b>Sport</b>	12.933	38%	33	0%	23.834	70%	10.378	30%
Sporthallen	7.747	38%	33	0%	13.884	68%	6.592	32%
Ein- und Mehrfeldhallen	1.706	47%	0	0%	2.852	79%	758	21%
Mehrzweckhallen	496	12%	0	0%	2.820	71%	1.162	29%
Schwimmbhallen	879	30%	0	0%	1.986	67%	975	33%
Gebäude für Sportaußenanlagen	2.104	66%	0	0%	2.292	72%	891	28%
<b>Wohnen, Beherbergen, etc.</b>	8.719	58%	4	0%	10.835	72%	4.295	28%
Wohnhäuser	2.173	37%	4	0%	4.091	70%	1.717	30%
EFH mit zusätzl. Nutzung	36	100%	0	0%	26	71%	11	29%
MFH mit zusätzl. Nutzung	542	75%	0	0%	517	71%	211	29%
MFH (2-6 Wohneinheiten)	30	100%	0	0%	22	71%	9	29%
WFH (ab 7 Wohneinheiten)	120	100%	0	0%	85	71%	35	29%
Gemeinschaftsunterkünfte	4.473	86%	0	0%	3.862	74%	1.357	26%
Alten-/ Seniorenwohnheime	49	20%	0	0%	168	68%	79	32%
Altenzentren	69	58%	0	0%	81	68%	38	32%
Sozialgebäude/Familienzentren	642	41%	0	0%	1.124	72%	434	28%
Gaststätten/Vereinsheime	222	75%	0	0%	202	68%	95	32%
Mensen/Kantinen	363	37%	0	0%	659	68%	310	32%
<b>Produktion, Lagerung, etc.</b>	7.672	37%	20	0%	14.977	72%	5.879	28%
Betriebsgebäude/Infrastruktur.	78	71%	0	0%	78	71%	32	29%
Gebäude für Tierhaltung	77	8%	0	0%	784	79%	208	21%
Gebäude für Pflanzenhaltung	434	99%	3	1%	385	88%	53	12%
Gebäude für Lagerung	555	59%	3	0%	683	72%	265	28%
Geschäftsgebäude	111	100%	0	0%	79	71%	32	29%
Garagen- und Parkbauten	340	9%	0	0%	2.540	70%	1.071	30%
PKW-Garagen KFZ (beheizt)	429	79%	1	0%	429	79%	114	21%
Öff. Bereitschaftsdienste	4.014	46%	13	0%	6.155	71%	2.482	29%
Feuerwache – Berufsfeuerwehr	609	14%	0	0%	3.129	70%	1.315	30%
Feuerwache – Freiwillige Feuerwehr	951	100%	0	0%	666	70%	285	30%
Feuerwehrgereätehaus	74	100%	0	0%	52	70%	22	30%
<b>Technik</b>	3.221	76%	238	6%	1.408	33%	2.848	67%
Technik	381	51%	238	32%	312	42%	438	58%
Geb.f.Steuerung/Lenkung/Überw.	899	60%	0	0%	1.096	73%	398	27%
Versorgung,Energie/Wärme/Kälte	1.941	96%	0	0%	0	0%	2.012	100%
<b>Sonstiges und Ausland</b>	372	73%	138	27%	396	78%	114	22%
Friedhofsgebäude	0	0%	138	100%	118	85%	21	15%
WC-Anlagen	68	100%	0	0%	60	88%	8	12%
Sonstige Gebäude (beheizt)	304	100%	0	0%	219	72%	85	28%
<b>Gesamt</b>	102.545	40%	635	0%	195.857	76%	62.921	24%

1	16 = 17 + 18	17 = 12 / 3	18 = 14 / 3	19	20 = 19 / 3	21 = 5 + 19
Bezeichnung	Kennwert Wärme gesamt	Kennwert Wärme Raumwärme	Kennwert Wärme Warmwasser	Verbrauch Strom gesamt	Kennwert Strom	Endenergie gesamt
	[kWh/m²a]	[kWh/m²]	[kWh/m²]	[MWh]	[kWh/m²]	[MWh]
<b>Parlament, Gericht, Verwaltung</b>	<b>82</b>	70	12	<b>9.720</b>	<b>48</b>	<b>26.266</b>
Verwaltungsgebäude	82	70	12	9.720	48	26.266
<b>Bildung und Kultur</b>	<b>83</b>	65	18	<b>45.596</b>	<b>23</b>	<b>212.797</b>
Allgemeinbildende Schule	84	72	13	691	29	2.723
Grundschulen, allgemeinbildend	80	63	17	10.844	17	63.325
Mittelschulen, allgemeinbildend	112	91	21	2.393	14	21.746
Realschulen, allgemeinbildend	90	73	17	1.426	16	9.371
Gymnasien, allgemeinbildend	80	59	21	7.488	20	36.806
Förder-/ Sonderschulen	141	141	0	187	26	1.187
Berufsbildende Schule	67	49	18	8.379	23	32.455
Kinderbetreuungseinrichtung	111	86	26	816	24	4.660
Kindertagesstätten	81	62	20	692	20	3.440
Kindergärten (3-6 Jahre)	106	84	23	1.953	34	8.040
Kinderhorte (älter als 6 Jahre)	111	87	24	620	35	2.609
Kinderkrippen (0-3 Jahre)	86	66	21	632	18	3.630
Haus f. Kinder (HfK/0-6 Jahre)	94	74	20	1.987	25	9.517
Bibliotheken/Archive/Bücherein	100	84	16	604	50	1.817
Galerien/Museen/Ausstellungsg.	172	146	26	2.188	235	3.788
Veranstaltungsgebäude	64	50	13	4.321	256	5.397
Sakralbauten	29	23	7	0	0	4
Kapellen	57	52	5	376	11	2.281
<b>Sport</b>	<b>122</b>	85	37	<b>8.479</b>	<b>30</b>	<b>42.691</b>
Sporthallen	106	72	34	5.028	26	25.504
Ein- und Mehrfeldhallen	147	116	31	926	38	4.536
Mehrzweckhallen	159	113	46	590	24	4.572
Schwimmbhallen	155	104	51	888	46	3.849
Gebäude für Sportaußenanlagen	181	130	51	1.046	59	4.230
<b>Wohnen, Beherbergen, etc.</b>	<b>93</b>	66	26	<b>3.666</b>	<b>22</b>	<b>18.795</b>
Wohnhäuser	110	77	32	1.028	19	6.837
EFH mit zusätzl. Nutzung	81	58	24	2	4	38
MFH mit zusätzl. Nutzung	60	43	17	43	4	770
MFH (2-6 Wohneinheiten)	44	31	13	11	16	41
WFH (ab 7 Wohneinheiten)	67	47	19	16	9	136
Gemeinschaftsunterkünfte	137	101	36	1.638	43	6.857
Alten-/ Seniorenwohnheime	8	5	2	5	0	252
Altenzentren	84	57	27	19	13	138
Sozialgebäude/Familienzentren	173	125	48	325	36	1.882
Gaststätten/Vereinsheime	74	50	24	12	3	308
Mensen/Kantinen	96	65	31	567	56	1.536
<b>Produktion, Lagerung, etc.</b>	<b>127</b>	91	36	<b>7.962</b>	<b>48</b>	<b>28.818</b>
Betriebsgebäude/Infrastruktur.	42	30	12	47	18	156
Gebäude für Tierhaltung	94	75	20	76	7	1.068
Gebäude für Pflanzenhaltung	345	304	41	586	463	1.024
Gebäude für Lagerung	46	33	13	245	12	1.193
Geschäftsgebäude	252	179	73	25	56	135
Garagen- und Parkbauten	127	89	38	1.487	52	5.098
PKW-Garagen KFZ (beheizt)	169	133	35	89	28	632
Öff. Bereitschaftsdienste	178	127	51	3.479	72	12.115
Feuerwache – Berufsfeuerwehr	101	71	30	1.789	41	6.232
Feuerwache – Freiwillige Feuerwehr	242	169	73	117	30	1.068
Feuerwehrgäterehaus	170	119	51	22	51	96
<b>Technik</b>	<b>134</b>	44	89	<b>1.428</b>	<b>45</b>	<b>5.684</b>
Technik	77	32	45	124	13	873
Geb.f.Steuerung/Lenkung/Überw.	111	82	30	227	17	1.721
Versorgung, Energie/Wärme/Kälte	230	0	230	1.078	123	3.090
<b>Sonstiges und Ausland</b>	<b>82</b>	63	18	<b>158</b>	<b>25</b>	<b>668</b>
Friedhofsgebäude	35	29	5	93	23	231
WC-Anlagen	287	253	34	41	171	109
Sonstige Gebäude (beheizt)	151	108	42	25	12	328
<b>Gesamt</b>	<b>91</b>			<b>77.009</b>	<b>27</b>	<b>335.721</b>

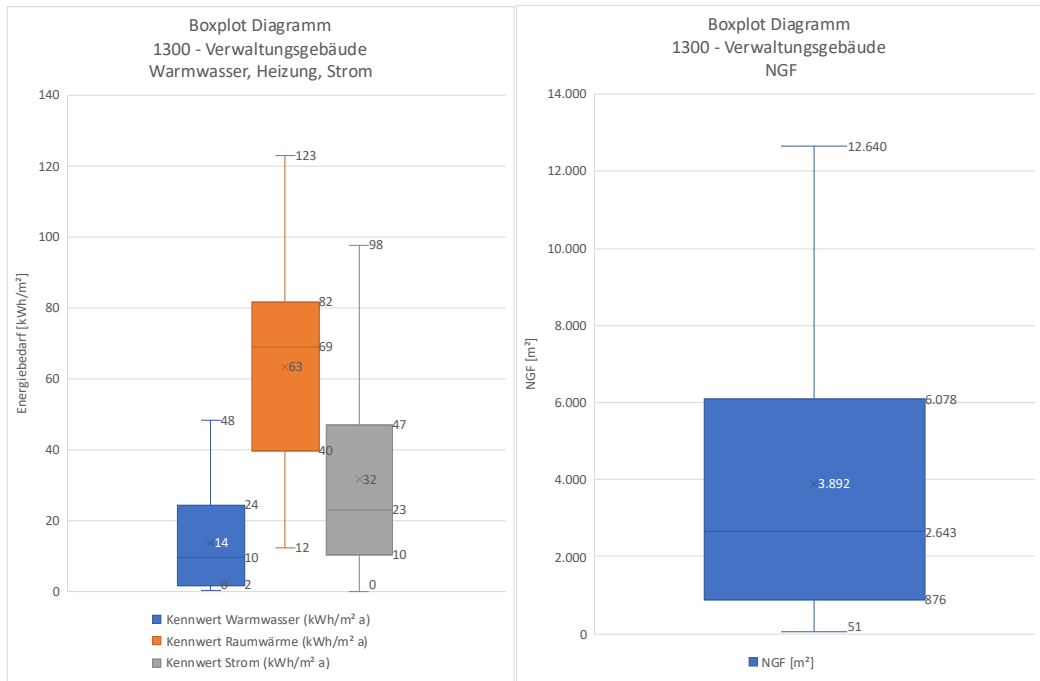
1	22 = 5 / 21	23 = 19 / 21	24	25 = 24 / 3	26 = 27 + 29 + 31	27	28 = 27 / 26
Bezeichnung	Endenergie Anteil Wärme	Endenergie Anteil Strom	Verbrauch Wasser	Kennwert Wasser	Kosten gesamt	Kosten Wärme	
	[%]	[%]	[m³]	[l/m²]	[€]	[€]	[%]
<b>Parlament, Gericht, Verwaltung</b>	63%	37%	<b>64.312</b>	<b>317</b>	<b>3.803.666</b>	1.565.475	41%
Verwaltungsgebäude	63%	37%	64.312	317	3.803.666	1.565.475	41%
<b>Bildung und Kultur</b>	<b>79%</b>	<b>21%</b>	<b>870.804</b>	<b>435</b>	<b>25.995.881</b>	<b>12.786.913</b>	<b>49%</b>
Allgemeinbildende Schule	75%	25%	8.448	350	381.563	198.908	52%
Grundschulen, allgemeinbildend	83%	17%	225.358	344	7.199.172	3.924.183	55%
Mittelschulen, allgemeinbildend	89%	11%	53.271	308	2.113.024	1.376.841	65%
Realschulen, allgemeinbildend	85%	15%	23.057	263	987.419	575.978	58%
Gymnasien, allgemeinbildend	80%	20%	139.891	380	4.469.040	2.325.681	52%
Förder-/ Sonderschulen	84%	16%	2.059	291	140.622	90.734	65%
Berufsbildende Schule	74%	26%	120.484	337	4.488.811	2.225.482	50%
Kinderbetreuungseinrichtung	82%	18%	14.461	418	541.307	288.625	53%
Kindertagesstätten	80%	20%	15.988	472	387.622	157.091	41%
Kindergärten (3-6 Jahre)	76%	24%	47.448	830	1.039.431	396.575	38%
Kinderhorte (älter als 6 Jahre)	76%	24%	16.330	914	329.221	120.014	36%
Kinderkrippen (0-3 Jahre)	83%	17%	13.877	399	370.231	161.843	44%
Haus f. Kinder (HK/0-6 Jahre)	79%	21%	70.839	888	1.286.571	566.954	44%
Bibliotheken/Archive/Bücherein	67%	33%	3.980	327	208.464	52.851	25%
Galerien/Museen/Ausstellungsg.	42%	58%	10.146	1.091	590.744	113.920	19%
Veranstaltungsgebäude	20%	80%	1.857	110	958.223	129.331	13%
Sakralbauten	100%	0%	140	1.013	624	172	27%
Kapellen	84%	16%	103.171	3.086	503.795	81.729	16%
<b>Sport</b>	<b>80%</b>	<b>20%</b>	<b>139.895</b>	<b>501</b>	<b>5.160.149</b>	<b>2.743.332</b>	<b>53%</b>
Sporthallen	80%	20%	47.829	248	2.901.717	1.591.582	55%
Ein- und Mehrfeldhallen	80%	20%	11.819	480	506.726	255.456	50%
Mehrzweckhallen	87%	13%	9.704	388	569.283	401.497	71%
Schwimmhallen	77%	23%	23.089	1.206	563.358	288.498	51%
Gebäude für Sportaußenanlagen	75%	25%	47.455	2.698	619.065	206.299	33%
<b>Wohnen, Beherbergen, etc.</b>	<b>80%</b>	<b>20%</b>	<b>123.695</b>	<b>759</b>	<b>2.238.319</b>	<b>995.459</b>	<b>44%</b>
Wohnhäuser	85%	15%	33.061	624	796.256	433.758	54%
EFH mit zusätzl. Nutzung	95%	5%	68	153	2.454	1.637	67%
MFH mit zusätzl. Nutzung	94%	6%	2.198	181	57.061	38.382	67%
MFH (2-6 Wohneinheiten)	74%	26%	0	0	6.449	2.328	36%
WFH (ab 7 Wohneinheiten)	88%	12%	3.549	1.974	22.608	5.296	23%
Gemeinschaftsunterkünfte	76%	24%	64.073	1.679	821.793	264.681	32%
Alten-/ Seniorenwohnheime	98%	2%	0	0	20.850	19.613	94%
Altenzentren	86%	14%	217	152	15.071	9.706	64%
Sozialgebäude/Familienzentren	83%	17%	7.414	826	224.123	122.701	55%
Gaststätten/Vereinsheime	96%	4%	6.254	1.554	44.278	20.169	46%
Mensen/Kantinen	63%	37%	6.861	679	227.375	77.190	34%
<b>Produktion, Lagerung, etc.</b>	<b>72%</b>	<b>28%</b>	<b>72.585</b>	<b>442</b>	<b>3.482.187</b>	<b>1.585.408</b>	<b>46%</b>
Betriebsgebäude/Infrastruktur.	70%	30%	2.280	869	25.991	7.263	28%
Gebäude für Tierhaltung	93%	7%	65	6	110.709	92.070	83%
Gebäude für Pflanzenhaltung	43%	57%	5.123	4.041	159.663	18.492	12%
Gebäude für Lagerung	79%	21%	2.943	142	134.622	67.176	50%
Geschäftsgebäude	82%	18%	12.423	28.299	51.839	4.971	10%
Garagen- und Parkbauten	71%	29%	10.034	352	688.919	347.310	50%
PKW-Garagen KFZ (beheizt)	86%	14%	1.227	382	57.720	33.155	57%
Öff. Bereitschaftsdienste	71%	29%	22.755	470	1.371.606	583.931	43%
Feuerwache – Berufsfeuerwehr	71%	29%	13.974	317	792.745	386.552	49%
Feuerwache – Freiwillige Feuerwehr	89%	11%	1.576	401	78.400	41.246	53%
Feuerwehrgerätehaus	77%	23%	185	426	9.973	3.244	33%
<b>Technik</b>	<b>75%</b>	<b>25%</b>	<b>27.786</b>	<b>872</b>	<b>668.948</b>	<b>243.413</b>	<b>36%</b>
Technik	86%	14%	4.599	475	102.478	55.552	54%
Geb. f. Steuerung/Lenkung/Überw.	87%	13%	5.038	376	162.274	94.491	58%
Versorgung, Energie/Wärme/Kälte	65%	35%	18.149	2.071	404.196	93.370	23%
<b>Sonstiges und Ausland</b>	<b>76%</b>	<b>24%</b>	<b>16.889</b>	<b>2.700</b>	<b>119.516</b>	<b>25.228</b>	<b>21%</b>
Friedhofsgebäude	60%	40%	12.269	3.067	71.447	8.956	13%
WC-Anlagen	63%	37%	3.198	13.436	23.579	3.149	13%
Sonstige Gebäude (beheizt)	93%	7%	1.423	705	24.490	13.122	54%
<b>Gesamt</b>	<b>77%</b>	<b>23%</b>	<b>1.315.966</b>		<b>41.468.666</b>	<b>19.945.227</b>	<b>48%</b>

1	29	30 = 29 / 26	31	32 = 31 / 26	33 = 26 / 3	34 = 35 + 37
Bezeichnung	Kosten Strom		Kosten Wasser		Kennwert Kosten	Emissionen gesamt
	[€]	[%]	[€]	[%]	[€]	[kg CO <sub>2</sub> -Äq]
<b>Parlament, Gericht, Verwaltung</b>	<b>2.023.912</b>	<b>53%</b>	<b>214.279</b>	<b>6%</b>	<b>19</b>	<b>8.914.472</b>
Verwaltungsgebäude	2.023.912	53%	214.279	6%	19	8.914.472
<b>Bildung und Kultur</b>	<b>10.248.662</b>	<b>39%</b>	<b>2.960.306</b>	<b>11%</b>	<b>13</b>	<b>62.766.855</b>
Allgemeinbildende Schule	154.266	40%	28.390	7%	16	811.261
Grundschulen, allgemeinbildend	2.496.419	35%	778.570	11%	11	17.889.883
Mittelschulen, allgemeinbildend	550.658	26%	185.524	9%	12	5.759.012
Realschulen, allgemeinbildend	330.729	33%	80.712	8%	11	2.607.013
Gymnasien, allgemeinbildend	1.674.716	37%	468.642	10%	12	10.650.414
Förder-/ Sonderschulen	42.604	30%	7.285	5%	20	318.094
Berufsbildende Schule	1.858.844	41%	404.485	9%	13	9.805.830
Kinderbetreuungseinrichtung	201.654	37%	51.028	9%	16	1.346.282
Kindertagesstätten	174.842	45%	55.689	14%	11	1.032.671
Kindergärten (3-6 Jahre)	478.206	46%	164.650	16%	18	2.493.019
Kinderhorte (älter als 6 Jahre)	153.719	47%	55.488	17%	18	804.885
Kinderkrippen (0-3 Jahre)	159.318	43%	49.070	13%	11	1.067.150
Haus f. Kinder (HfK/0-6 Jahre)	481.904	37%	237.712	18%	16	2.820.341
Bibliotheken/Archive/Bücherein	142.087	68%	13.526	6%	17	619.816
Galerien/Museen/Ausstellungsg.	443.384	75%	33.440	6%	63	1.542.246
Veranstaltungsgebäude	822.627	86%	6.265	1%	57	2.525.656
Sakralbauten	5	1%	447	72%	5	1.015
Kapellen	82.682	16%	339.384	67%	15	672.269
<b>Sport</b>	<b>1.939.675</b>	<b>38%</b>	<b>477.142</b>	<b>9%</b>	<b>18</b>	<b>12.368.538</b>
Sporthallen	1.147.176	40%	162.959	6%	15	7.376.439
Ein- und Mehrfeldhallen	210.497	42%	40.773	8%	21	1.329.069
Mehrweckhallen	133.412	23%	34.373	6%	23	1.198.792
Schwimmbhallen	196.750	35%	78.110	14%	29	1.143.858
Gebäude für Sportaußenanlagen	251.839	41%	160.927	26%	35	1.320.381
<b>Wohnen, Beherbergen, etc.</b>	<b>825.262</b>	<b>37%</b>	<b>417.598</b>	<b>19%</b>	<b>14</b>	<b>5.534.406</b>
Wohnhäuser	247.868	31%	114.630	14%	15	1.909.445
EFH mit zusätzl. Nutzung	520	21%	297	12%	6	9.953
MFH mit zusätzl. Nutzung	11.146	20%	7.533	13%	5	197.086
MFH (2-6 Wohneinheiten)	4.121	64%	0	0%	9	13.241
WFH (ab 7 Wohneinheiten)	4.193	19%	13.119	58%	13	38.255
Gemeinschaftsunterkünfte	346.134	42%	210.978	26%	22	2.136.363
Alten-/ Seniorenwohnheime	1.237	6%	0	0%	1	58.058
Altenzentren	4.586	30%	779	5%	11	39.582
Sozialgebäude/Familienzentren	75.073	33%	26.350	12%	25	532.250
Gaststätten/Vereinsheime	3.001	7%	21.108	48%	11	77.481
Mensen/Kantinen	127.381	56%	22.804	10%	22	522.692
<b>Produktion, Lagerung, etc.</b>	<b>1.641.096</b>	<b>47%</b>	<b>255.683</b>	<b>7%</b>	<b>21</b>	<b>9.008.321</b>
Betriebsgebäude/Infrastruktur.	10.746	41%	7.982	31%	10	50.962
Gebäude für Tierhaltung	18.407	17%	232	0%	11	259.513
Gebäude für Pflanzenhaltung	123.555	77%	17.616	11%	126	419.803
Gebäude für Lagerung	57.281	43%	10.165	8%	6	354.254
Geschäftsgebäude	6.379	12%	40.490	78%	118	40.434
Garagen- und Parkbauten	306.212	44%	35.397	5%	24	1.588.490
PKW-Garagen KFZ (beheizt)	20.114	35%	4.452	8%	18	178.477
Öff. Bereitschaftsdienste	706.866	52%	80.810	6%	28	3.851.508
Feuerwache – Berufsfeuerwehr	356.781	45%	49.412	6%	18	1.938.196
Feuerwache – Freiwillige Feuerwehr	29.114	37%	8.040	10%	20	296.709
Feuerwehrgerätehaus	5.643	57%	1.087	11%	23	29.975
<b>Technik</b>	<b>330.749</b>	<b>49%</b>	<b>94.786</b>	<b>14%</b>	<b>21</b>	<b>1.853.306</b>
Technik	30.676	30%	16.250	16%	11	314.280
Geb.f.Steuerung/Lenkung/Überw.	50.722	31%	17.061	11%	12	472.867
Versorgung, Energie/Wärme/Kälte	249.351	62%	61.476	15%	46	1.066.160
<b>Sonstiges und Ausland</b>	<b>37.886</b>	<b>32%</b>	<b>56.402</b>	<b>47%</b>	<b>19</b>	<b>248.936</b>
Friedhofsgebäude	21.735	30%	40.756	57%	18	122.473
WC-Anlagen	9.909	42%	10.521	45%	99	38.452
Sonstige Gebäude (beheizt)	6.243	25%	5.125	21%	12	88.011
<b>Gesamt</b>	<b>17.047.242</b>	<b>41%</b>	<b>4.476.197</b>	<b>11%</b>		<b>100.694.833</b>

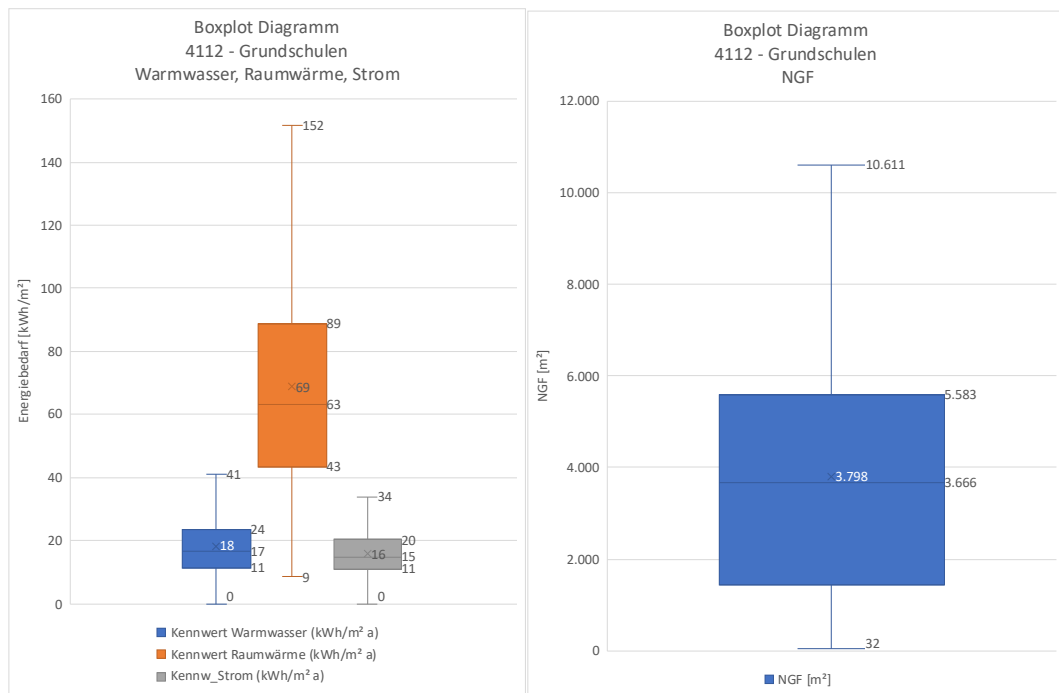
1	35	36 = 35/34	37	38 = 37/34	39 = 38/3	40 = 35/3	41 = 37/3
Bezeichnung	Emissionen Wärme		Emissionen Strom		Kennwert Emissionen gesamt	Kennwert Emissionen durch Wärme	Kennwert Emissionen durch Strom
	[kg CO <sub>2</sub> -Äq]	[%]	[kg CO <sub>2</sub> -Äq]	[%]	[kg CO <sub>2</sub> -Äq / m <sup>2</sup> ]	[kg CO <sub>2</sub> -Äq / m <sup>2</sup> ]	[kg CO <sub>2</sub> -Äq / m <sup>2</sup> ]
<b>Parlament, Gericht, Verwaltung</b>	3.762.984	42%	5.151.489	58%	44	19	25
Verwaltungsgebäude	3.762.984	42%	5.151.489	58%	44	19	25
<b>Bildung und Kultur</b>	38.602.422	62%	24.164.433	38%	31	19	12
Allgemeinbildende Schule	445.063	55%	366.198	45%	34	18	15
Grundschulen, allgemeinbildend	12.143.093	68%	5.746.790	32%	27	19	9
Mittelschulen, allgemeinbildend	4.490.944	78%	1.268.067	22%	33	26	7
Realschulen, allgemeinbildend	1.851.508	71%	755.504	29%	30	21	9
Gymnasien, allgemeinbildend	6.682.140	63%	3.968.274	37%	29	18	11
Förder-/Sonderschulen	219.064	69%	99.031	31%	45	31	14
Berufsbildende Schule	5.365.241	55%	4.440.589	45%	27	15	12
Kinderbetreuungseinrichtung	913.829	68%	432.454	32%	39	26	13
Kindertagesstätten	665.688	64%	366.983	36%	31	20	11
Kindergärten (3-6 Jahre)	1.457.929	58%	1.035.090	42%	44	25	18
Kinderhorte (älter als 6 Jahre)	476.205	59%	328.680	41%	45	27	18
Kinderkrippen (0-3 Jahre)	732.153	69%	334.997	31%	31	21	10
Haus f. Kinder (HfK/0-6 Jahre)	1.767.714	63%	1.052.628	37%	35	22	13
Bibliotheken/Archive/Bücherein	299.755	48%	320.062	52%	51	25	26
Galerien/Museen/Ausstellungsg.	382.579	25%	1.159.667	75%	166	41	125
Veranstaltungsgebäude	235.600	9%	2.290.056	91%	149	14	135
Sakralbauten	1.004	99%	11	1%	7	7	0
Kapellen	472.914	70%	199.354	30%	20	14	6
<b>Sport</b>	7.875.034	64%	4.493.504	36%	44	28	16
Sporthallen	4.711.875	64%	2.664.564	36%	38	24	14
Ein- und Mehrfeldhallen	838.400	63%	490.669	37%	54	34	20
Mehrzweckhallen	885.896	74%	312.896	26%	48	35	13
Schwimmbhallen	673.096	59%	470.762	41%	60	35	25
Gebäude für Sportaußenanlagen	765.767	58%	554.613	42%	75	44	32
<b>Wohnen, Beherbergen, etc.</b>	3.592.152	65%	1.942.254	35%	34	22	12
Wohnhäuser	1.364.870	71%	544.575	29%	36	26	10
EFH mit zusätzl. Nutzung	8.914	90%	1.039	10%	22	20	2
MFH mit zusätzl. Nutzung	174.482	89%	22.605	11%	16	14	2
MFH (2-6 Wohneinheiten)	7.507	57%	5.735	43%	19	11	8
WFH (ab 7 Wohneinheiten)	29.627	77%	8.628	23%	21	16	5
Gemeinschaftsunterkünfte	1.268.058	59%	868.304	41%	56	33	23
Alten-/Seniorenwohnheime	55.487	96%	2.571	4%	2	2	0
Altenzentren	29.692	75%	9.890	25%	28	21	7
Sozialgebäude/Familienzentren	360.064	68%	172.186	32%	59	40	19
Gaststätten/Vereinsheime	71.179	92%	6.302	8%	19	18	2
Mensen/Kantinen	222.272	43%	300.420	57%	52	22	30
<b>Produktion, Lagerung, etc.</b>	4.788.646	53%	4.219.675	47%	55	29	26
Betriebsgebäude/Infrastruktur.	26.127	51%	24.836	49%	19	10	9
Gebäude für Tierhaltung	219.461	85%	40.052	15%	25	21	4
Gebäude für Pflanzenhaltung	108.947	26%	310.856	74%	331	86	245
Gebäude für Lagerung	224.160	63%	130.094	37%	17	11	6
Geschäftsgebäude	27.300	68%	13.133	32%	92	62	30
Garagen- und Parkbauten	800.343	50%	788.147	50%	56	28	28
PKW-Garagen KFZ (beheizt)	131.191	74%	47.287	26%	56	41	15
Öff. Bereitschaftsdienste	2.007.818	52%	1.843.690	48%	80	41	38
Feuerwache – Berufsfeuerwehr	990.244	51%	947.953	49%	44	22	21
Feuerwache – Freiwillige Feuerwehr	234.874	79%	61.835	21%	75	60	16
Feuerwehrgerätehaus	18.182	61%	11.793	39%	69	42	27
<b>Technik</b>	1.096.360	59%	756.946	41%	58	34	24
Technik	248.851	79%	65.429	21%	32	26	7
Geb.f.Steuerung/Lenkung/Überw.	352.514	75%	120.352	25%	35	26	9
Versorgung, Energie/Wärme/Kälte	494.995	46%	571.165	54%	122	56	65
<b>Sonstiges und Ausland</b>	165.275	66%	83.661	34%	40	26	13
Friedhofsgebäude	73.358	60%	49.115	40%	31	18	12
WC-Anlagen	16.881	44%	21.571	56%	162	71	91
Sonstige Gebäude (beheizt)	75.036	85%	12.974	15%	44	37	6
<b>Gesamt</b>	59.882.872	59%	40.811.961	41%			

# Anhang B

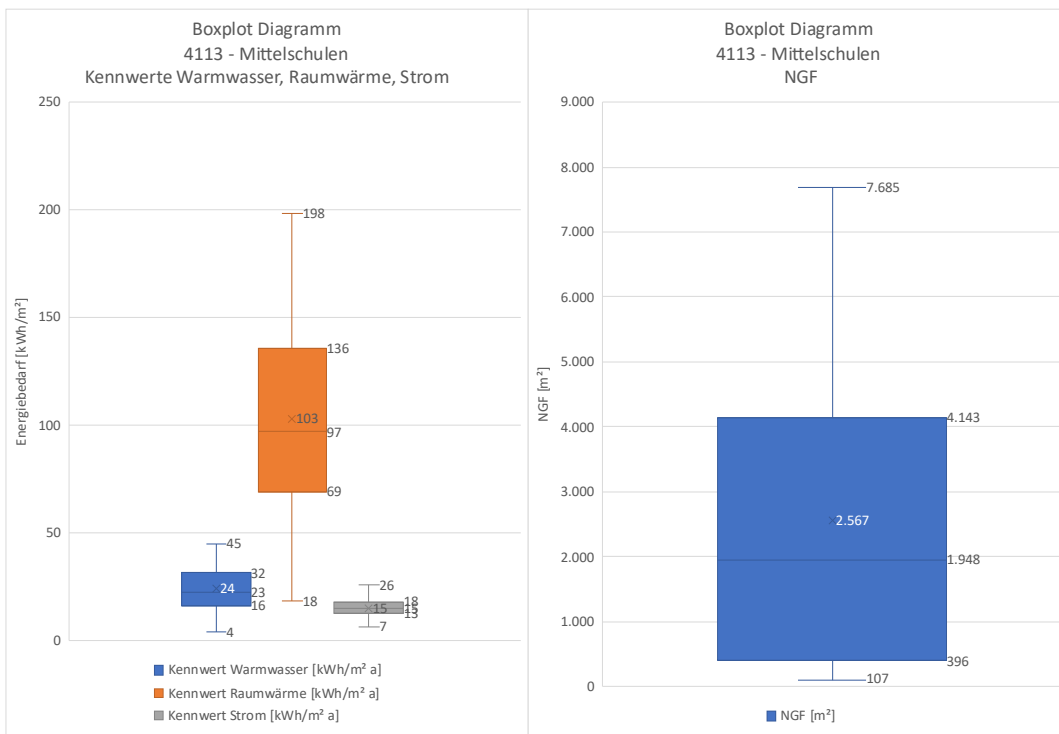
**Anhang B: 1 - Boxplot der Datenwerte 1300 - Verwaltungsgebäude**



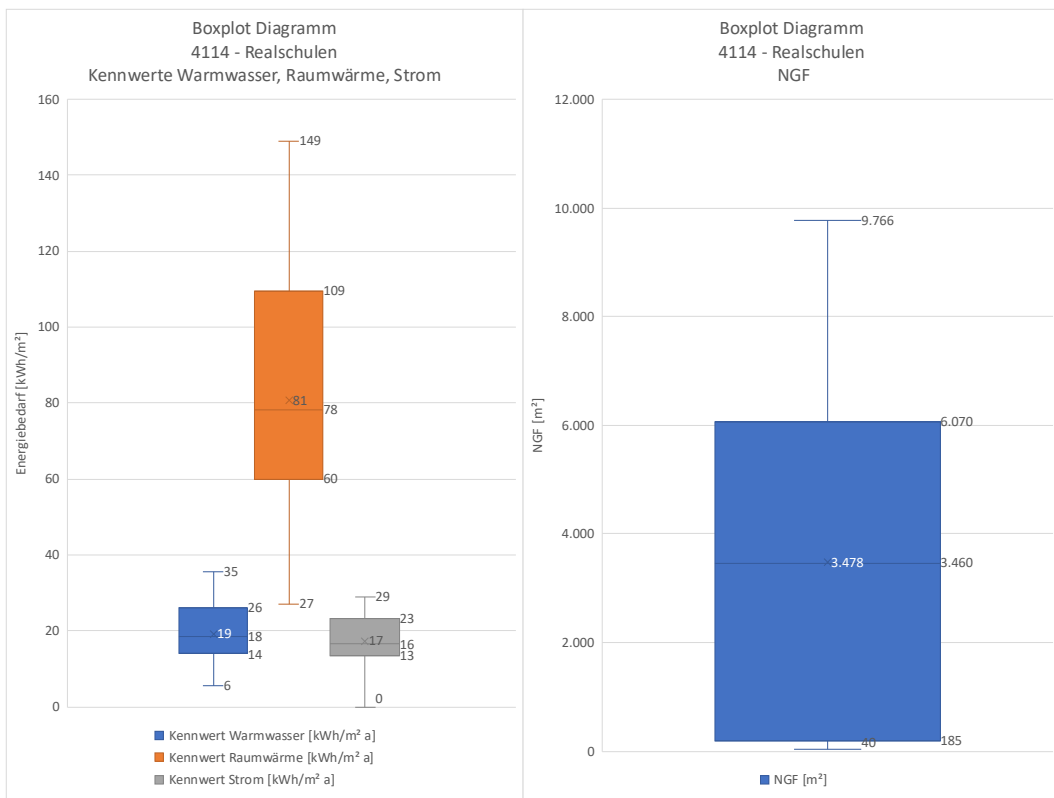
**Anhang B: 2 - Boxplot der Datenwerte 4112 - Grundschulen**



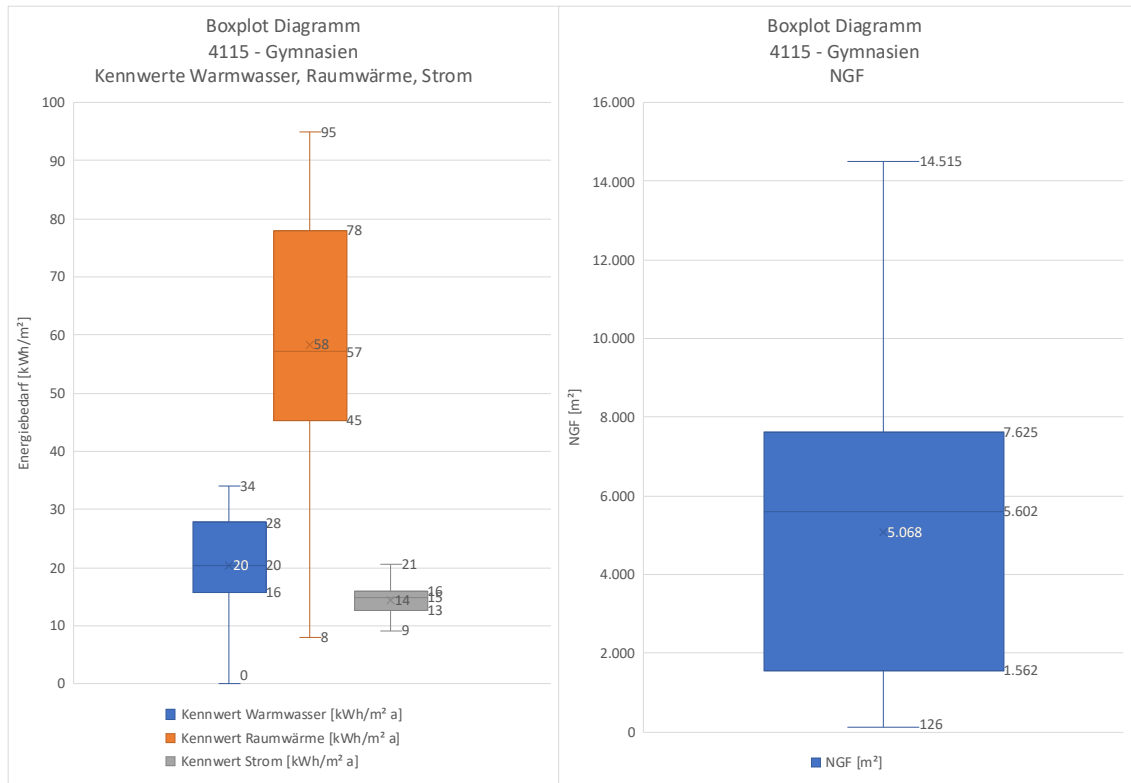
**Anhang B: 3 - Boxplot der Datenwerte 4113 - Mittelschulen**



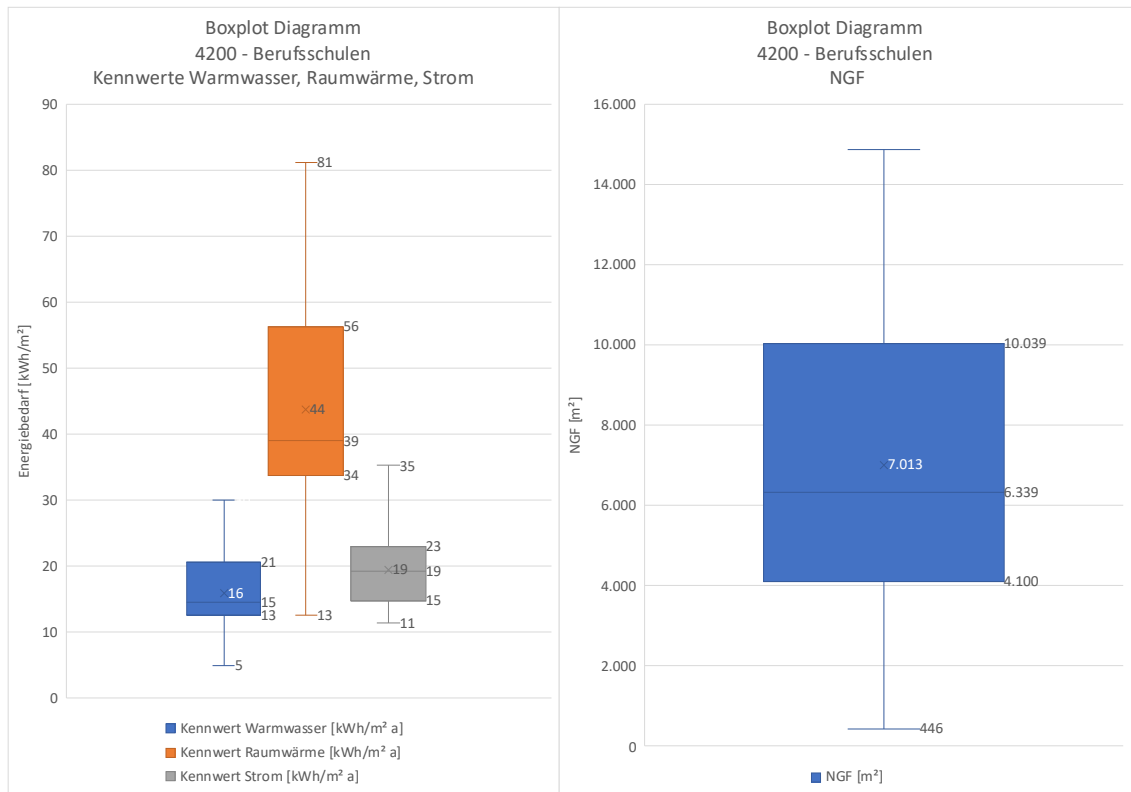
**Anhang B: 4 - Boxplot der Datenwerte 4114 - Realschulen**



### Anhang B: 5 - Boxplot der Datenwerte - 4115 Gymnasien

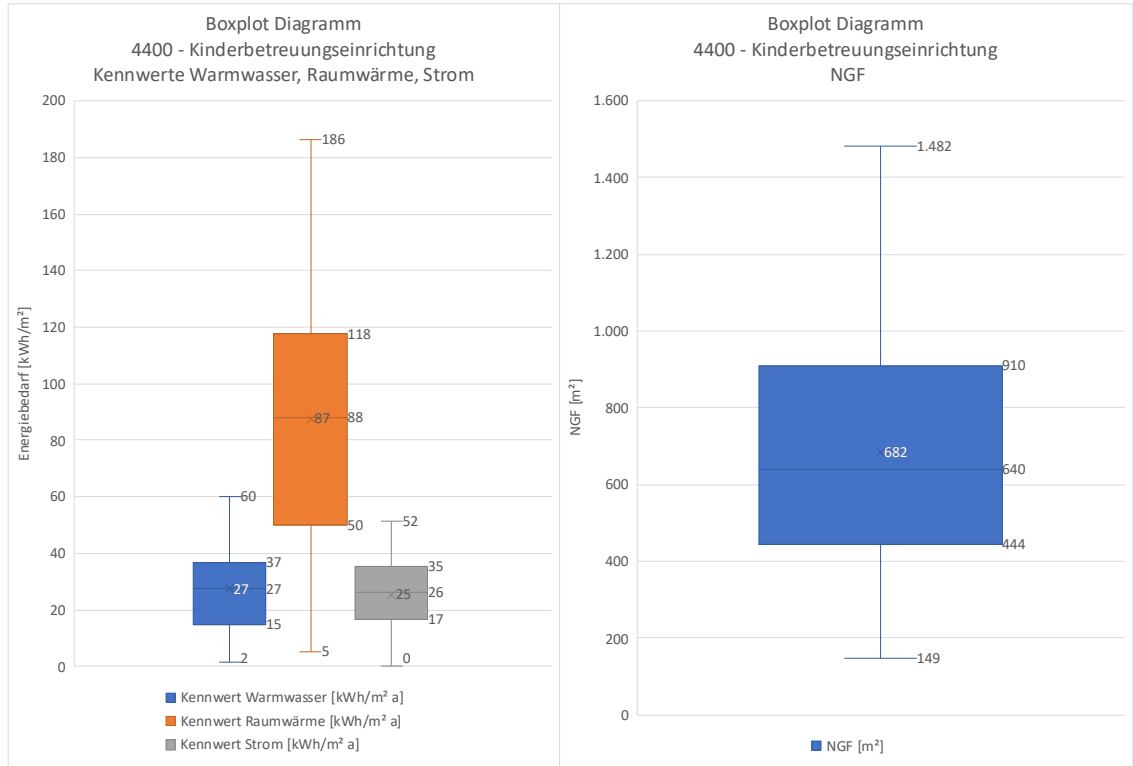


### Anhang B: 6 - Boxplot der Datenwerte - 4200 Berufsschulen

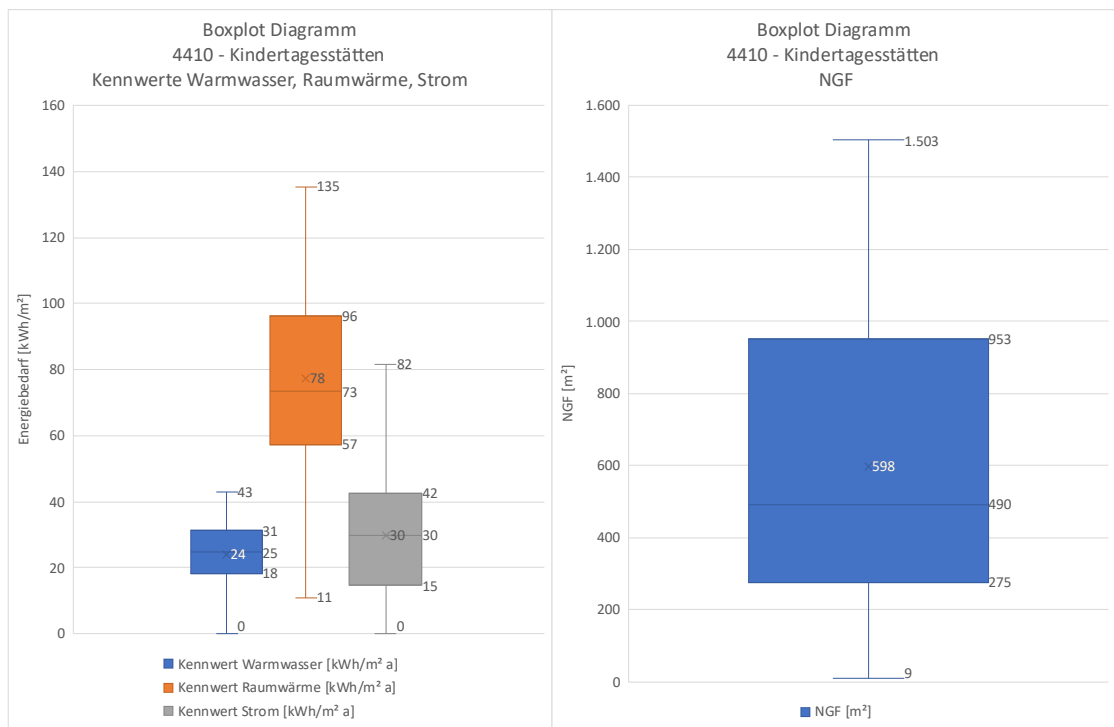




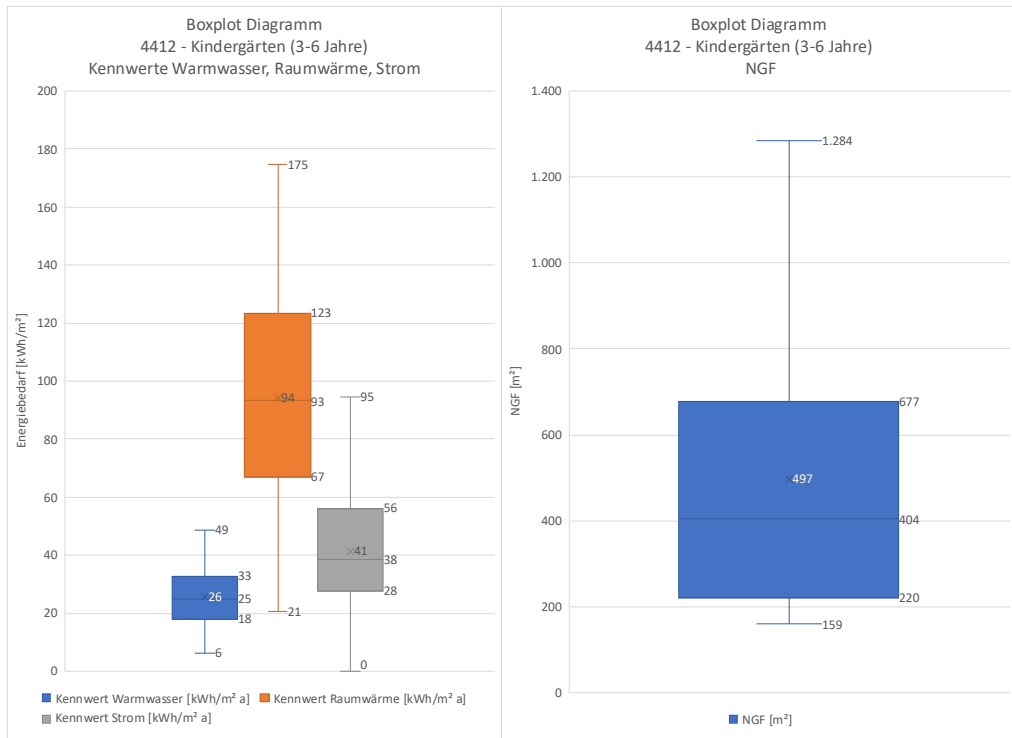
### Anhang B: 7 - Boxplot der Datenwerte – 4400 Kinderbetreuungseinrichtung



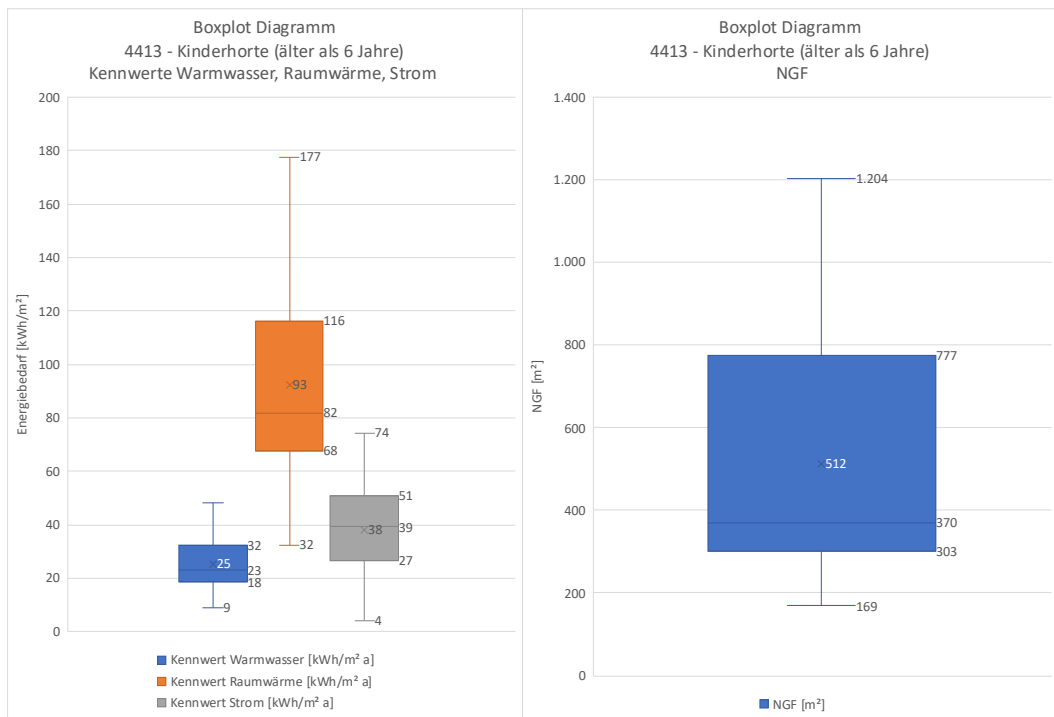
### Anhang B: 8 - Boxplot der Datenwerte 4410 – Kindertagesstätten



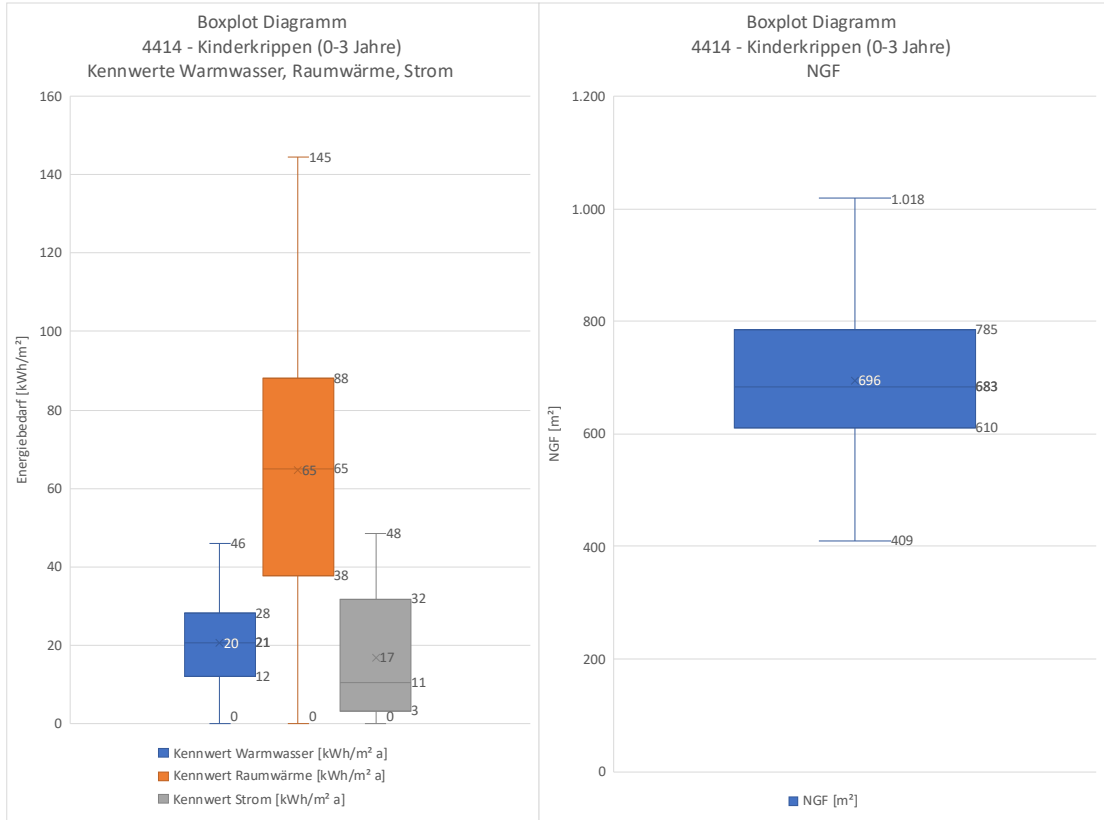
### Anhang B: 9 - Boxplot der Datenwerte 4412 – Kindergärten



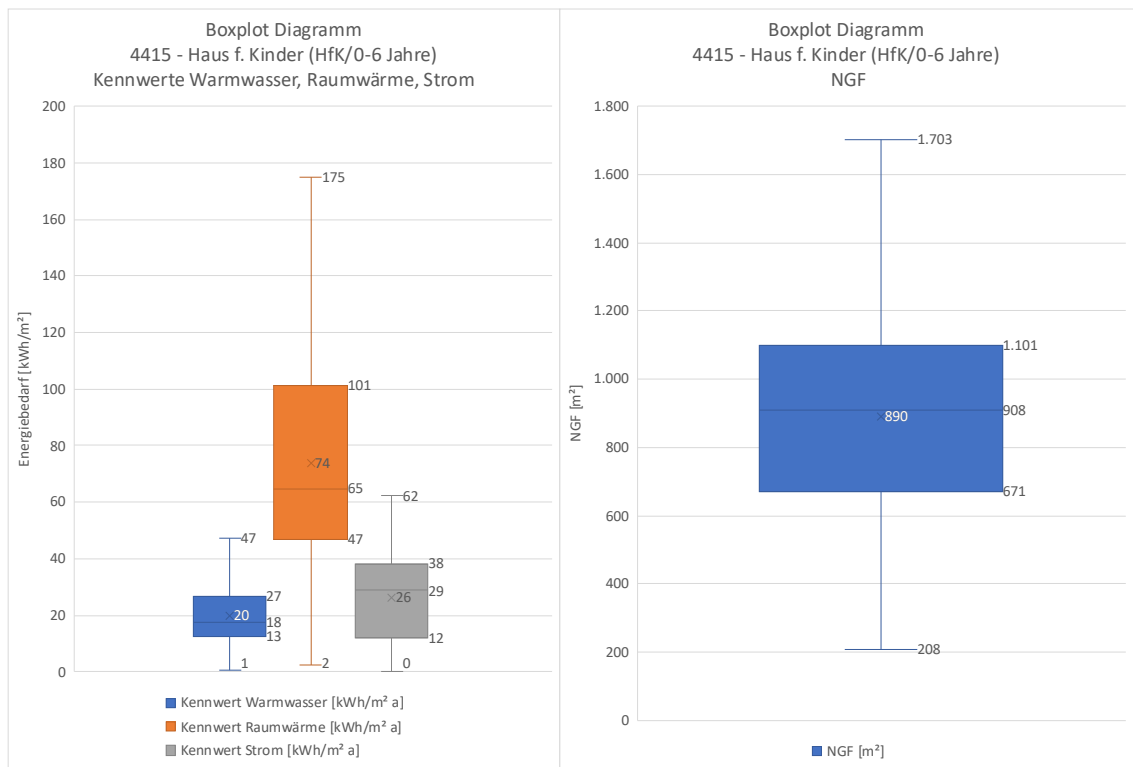
### Anhang B: 10 - Boxplot der Datenwerte 4413 – Kinderhorte



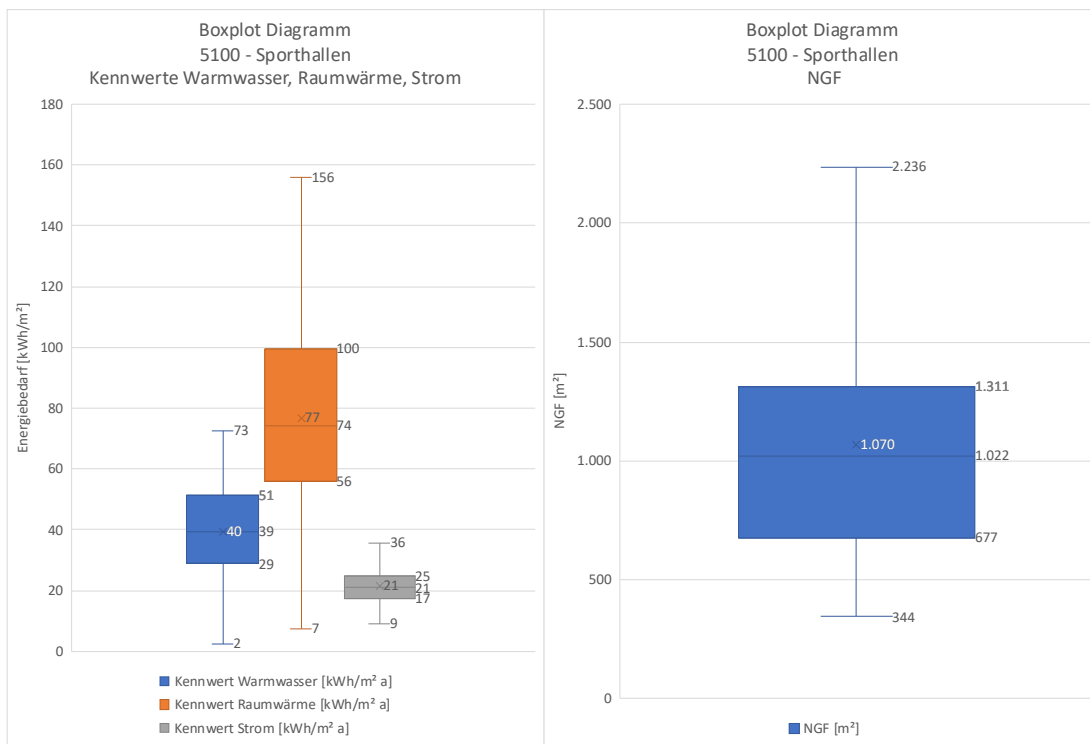
**Anhang B: 11 - Boxplot der Datenwerte 4414 - Kinderkrippen**



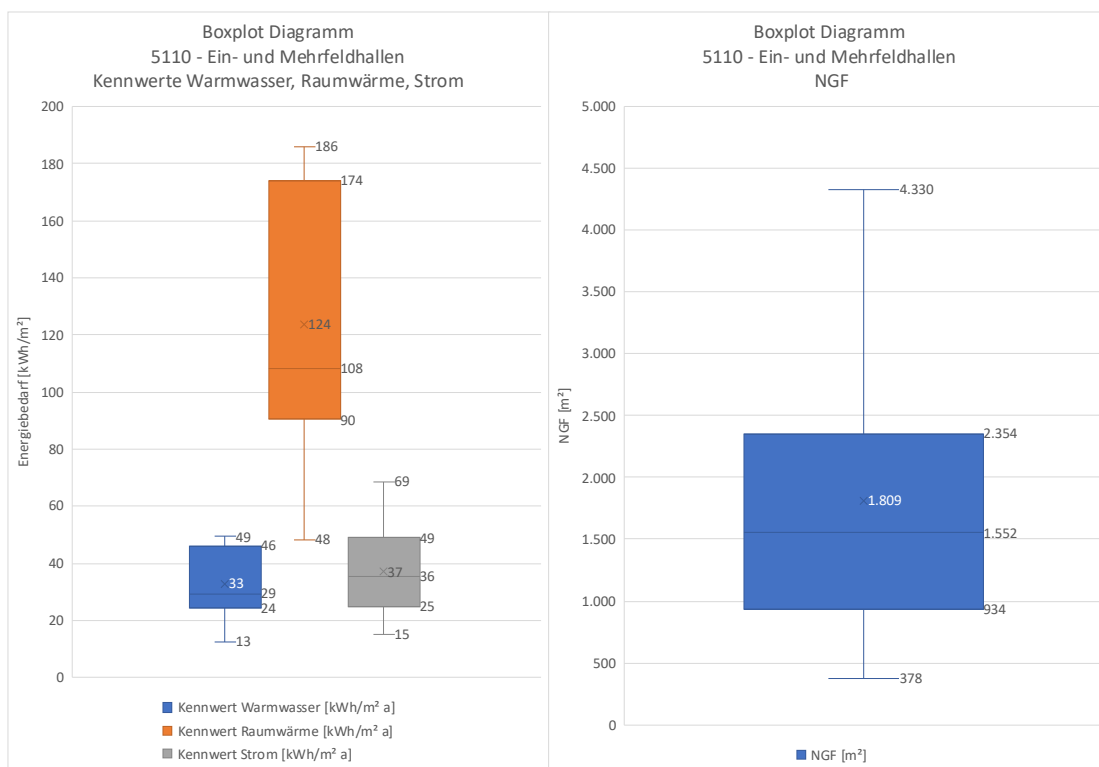
**Anhang B: 12 - Boxplot der Datenwerte 4415 – Häuser für Kinder**



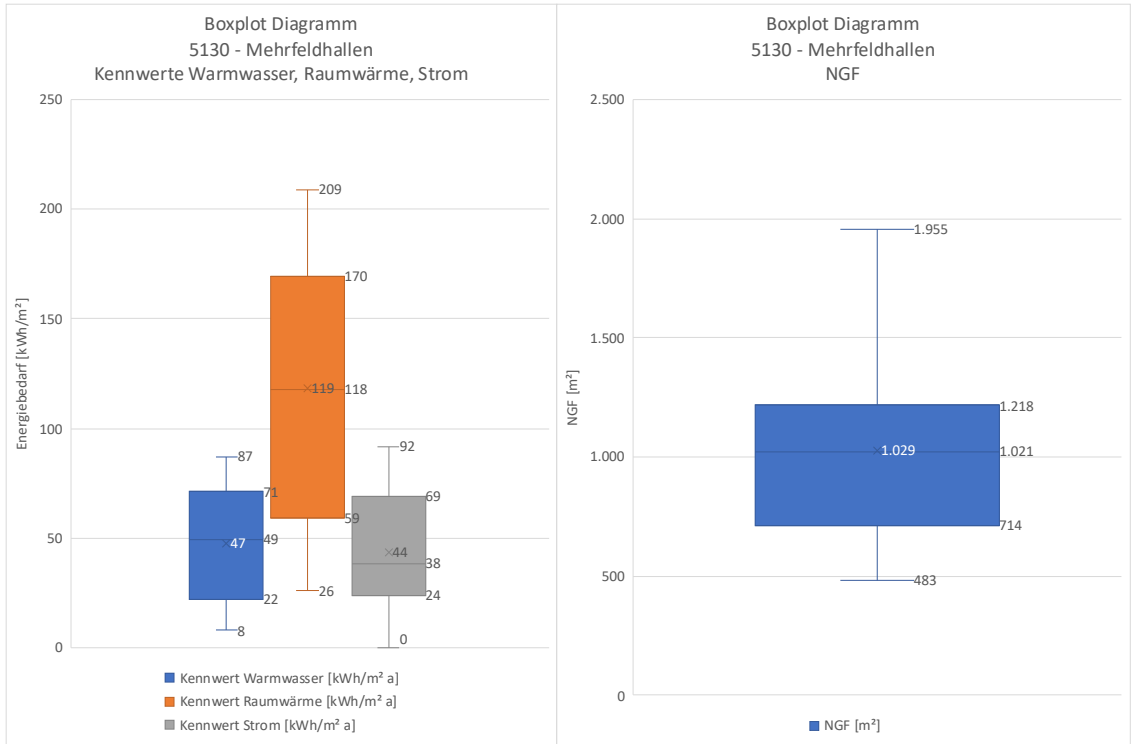
**Anhang B: 13 - Boxplot der Datenwerte 5100 - Sporthallen**



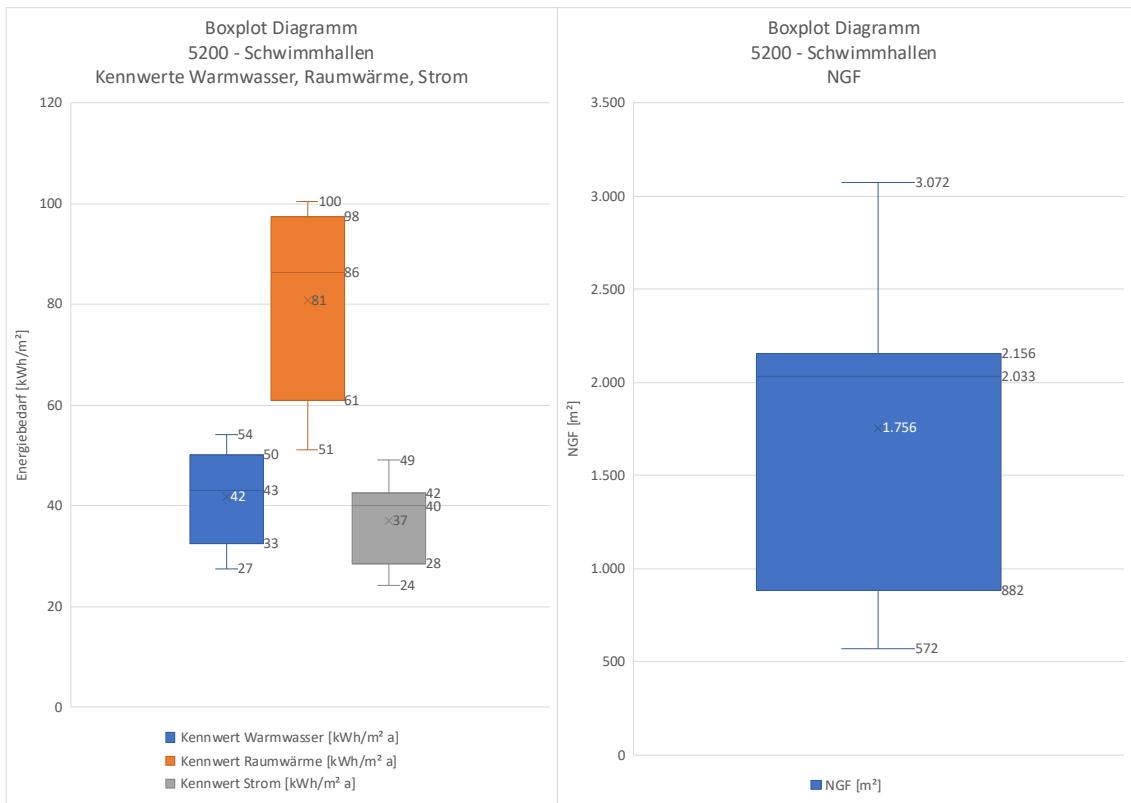
**Anhang B: 14 - Boxplot der Datenwerte 5110 - Ein- und Mehrfeldhallen**



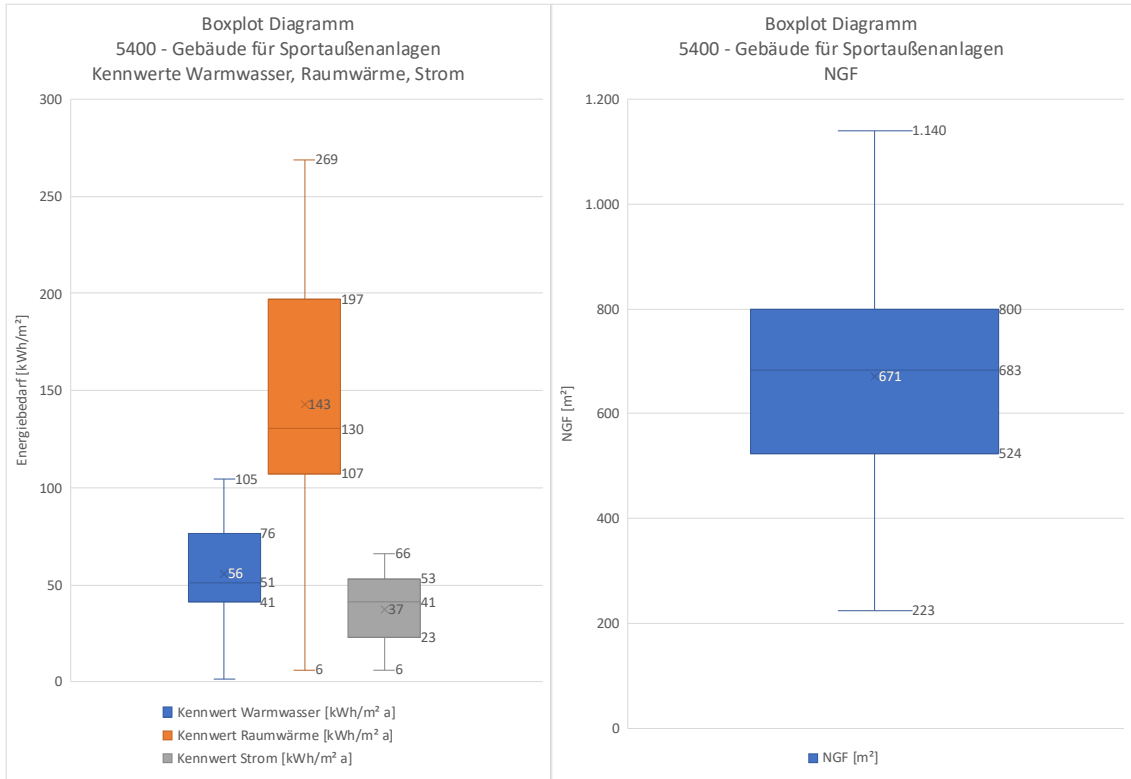
**Anhang B: 15 - Boxplot der Datenwerte 5130 – Mehrfeldhallen**



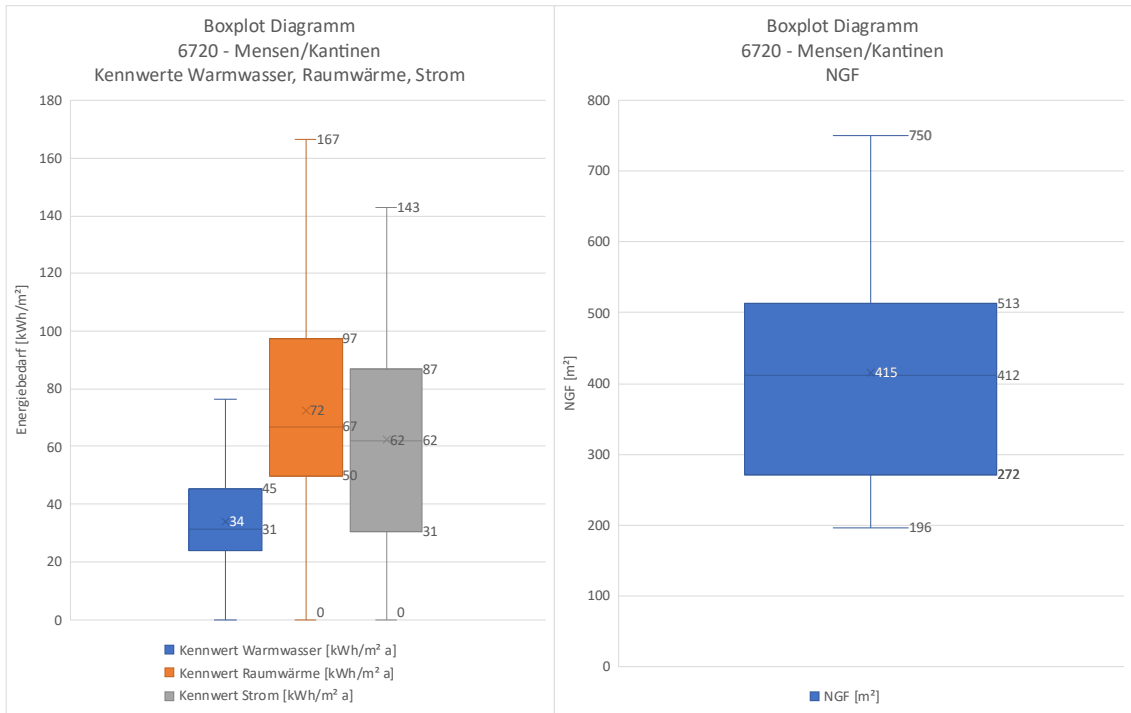
**Anhang B: 16 - Boxplot der Datenwerte 5200 – Schwimmhallen**



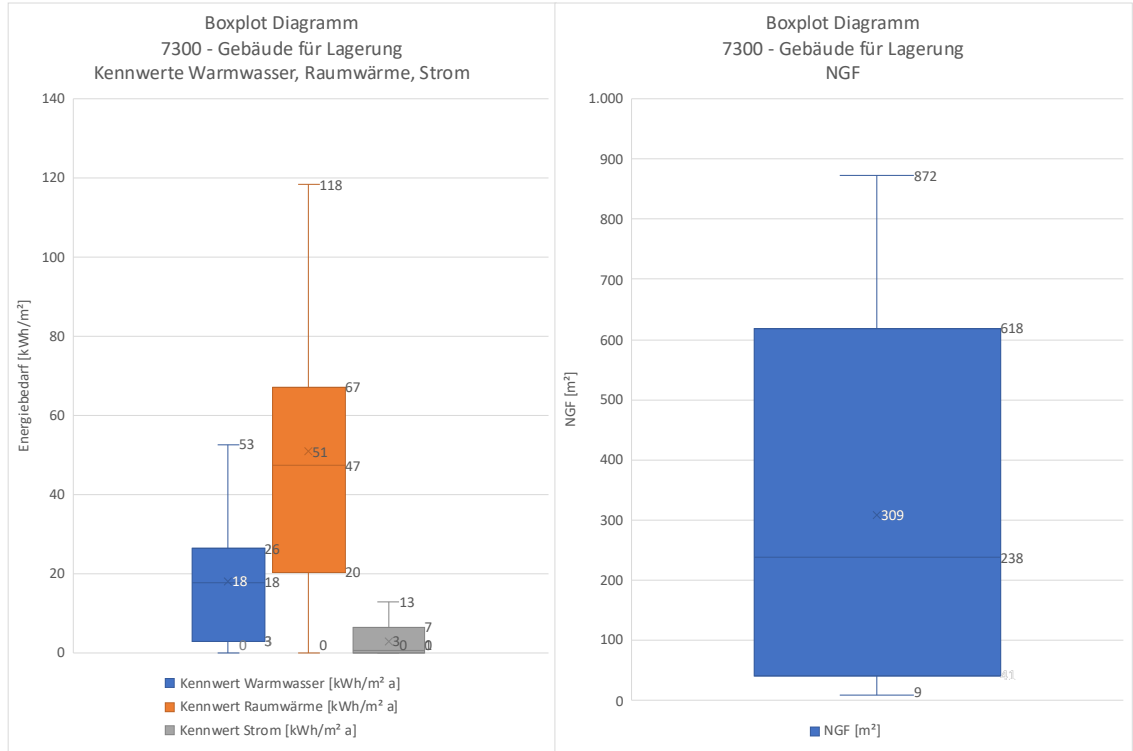
**Anhang B: 17 - Boxplot der Datenwerte 5400 – Gebäude für Sportaußenanlagen**



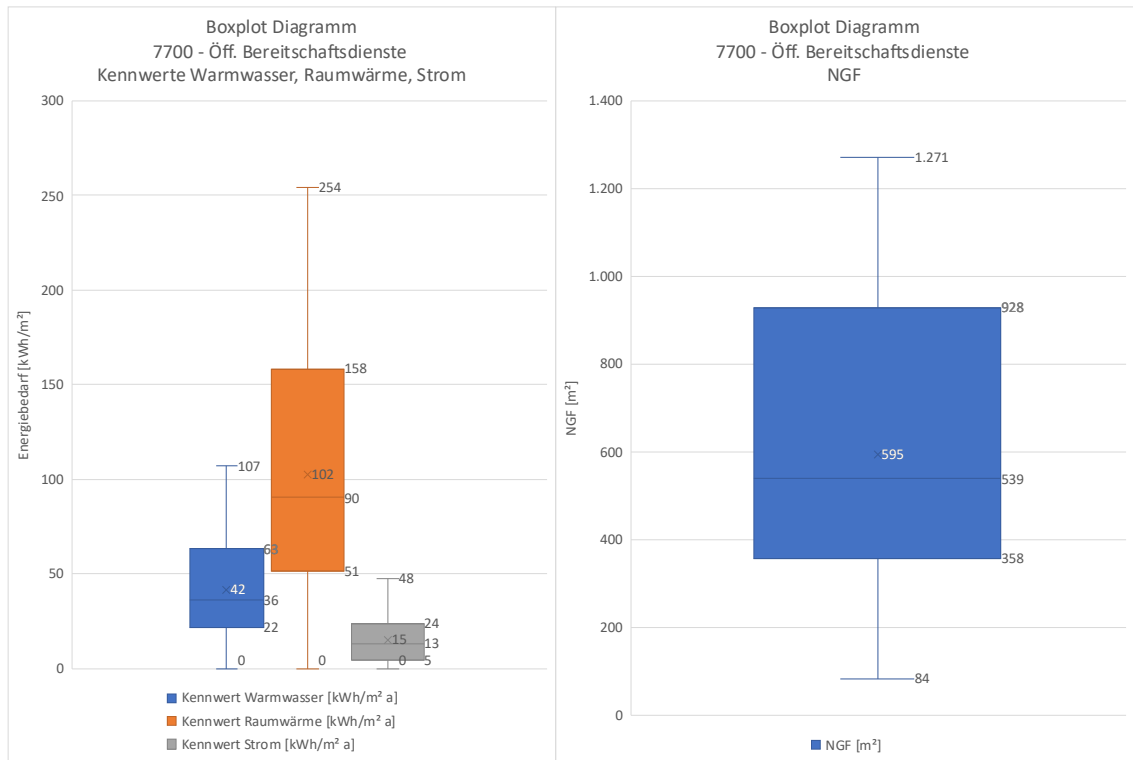
**Anhang B: 18 - Boxplot der Datenwerte 6720 – Mensen/ Kantinen**



**Anhang B: 19 - Boxplot der Datenwerte 7300 - Gebäude für Lagerung**

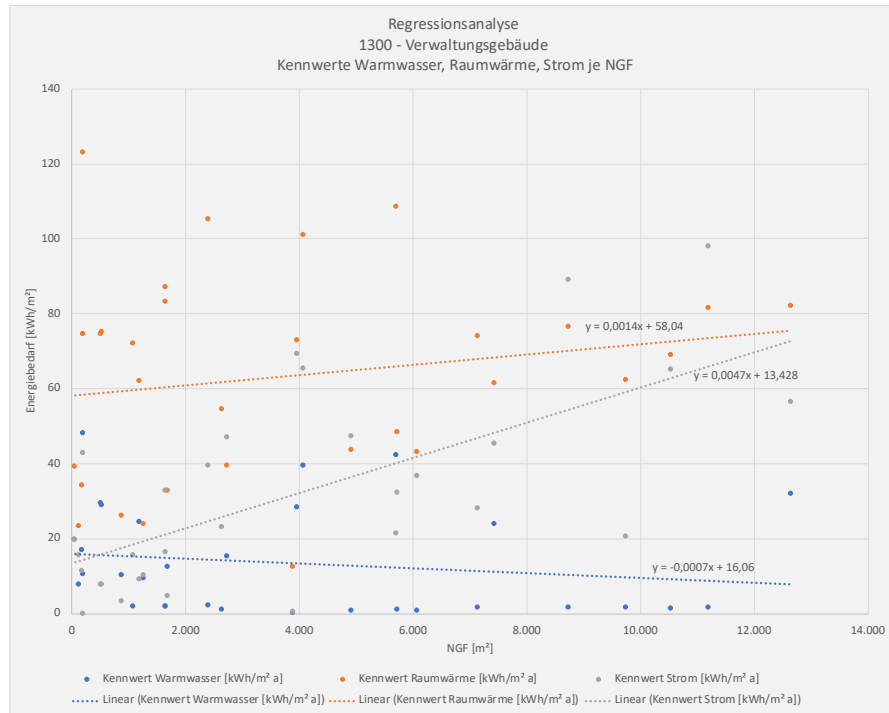


**Anhang B: 20 - Boxplot der Datenwerte 7700 - Öffentliche Bereitschaftsdienste**

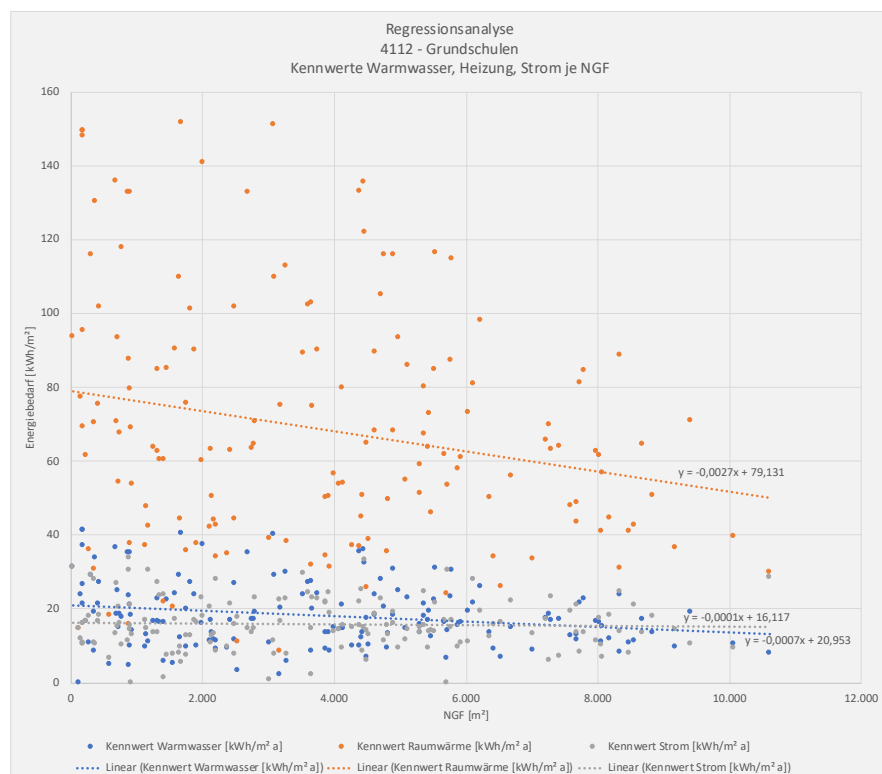


# Anhang C

## Anhang C: 1 - Regressionsanalyse 1300 - Verwaltungsgebäude

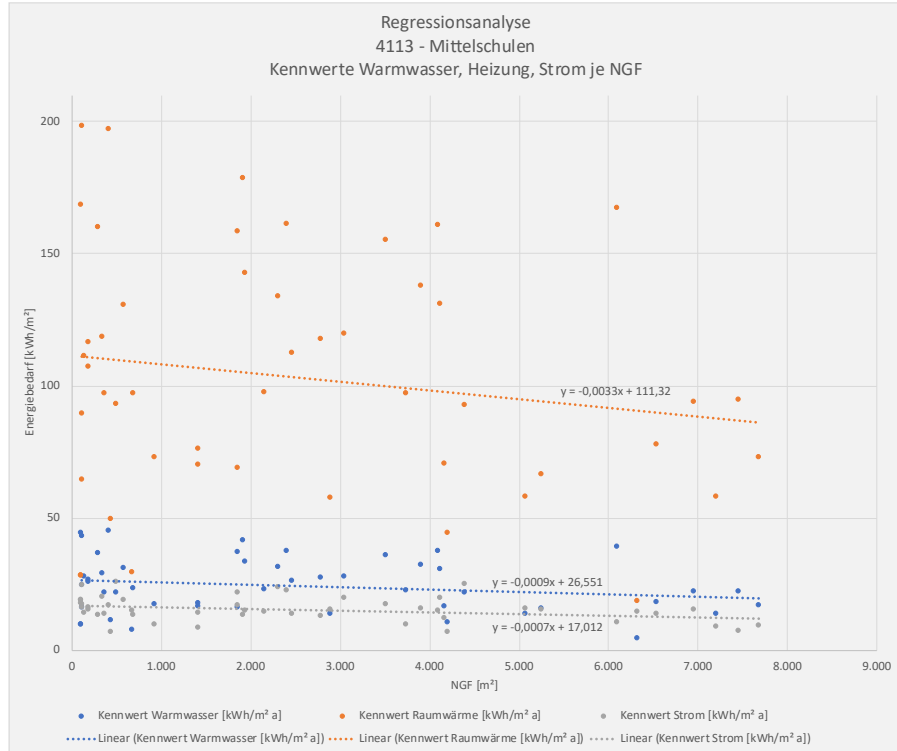


## Anhang C: 2 – Regressionsanalyse 4112 – Grundschulen

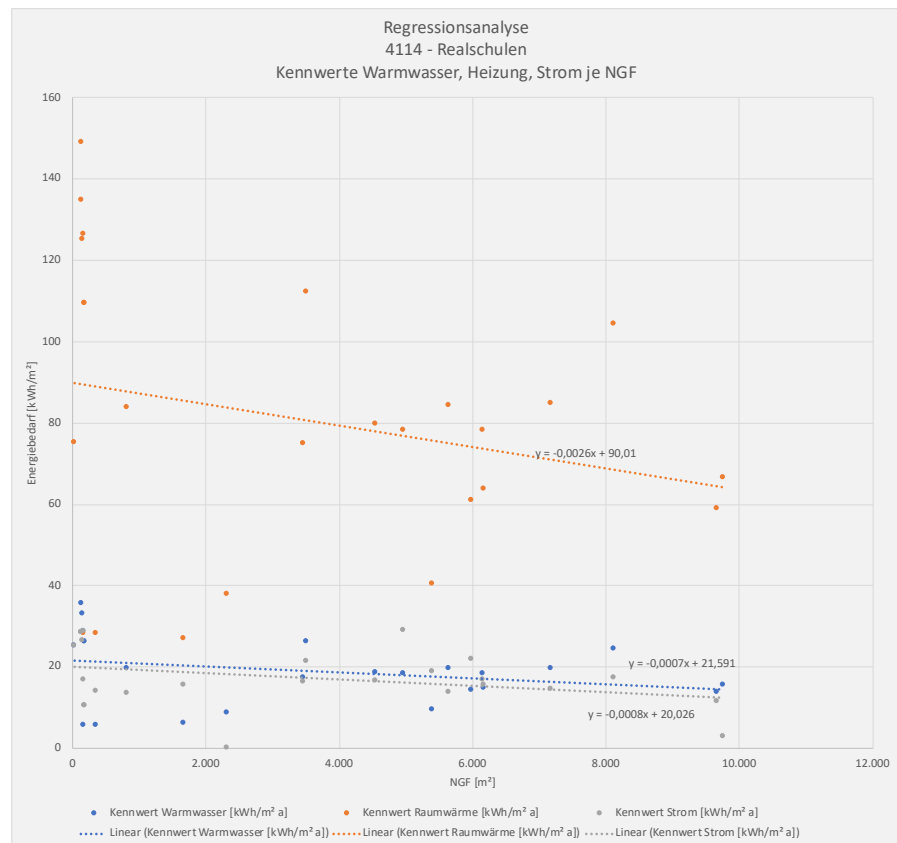




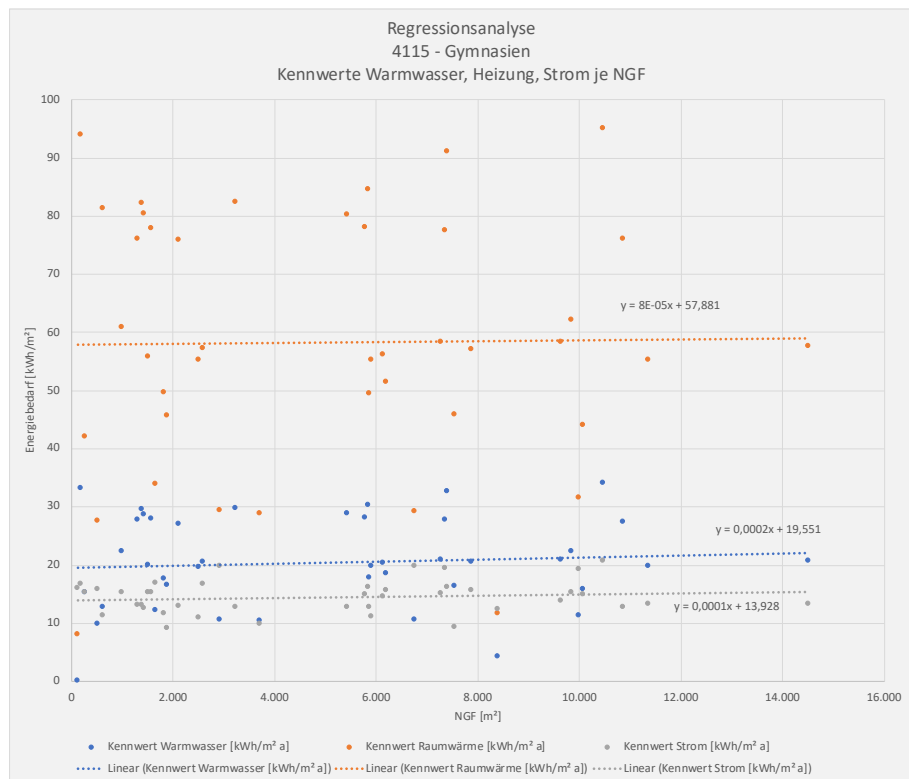
### Anhang C: 3 – Regressionsanalyse 4113 – Mittelschulen



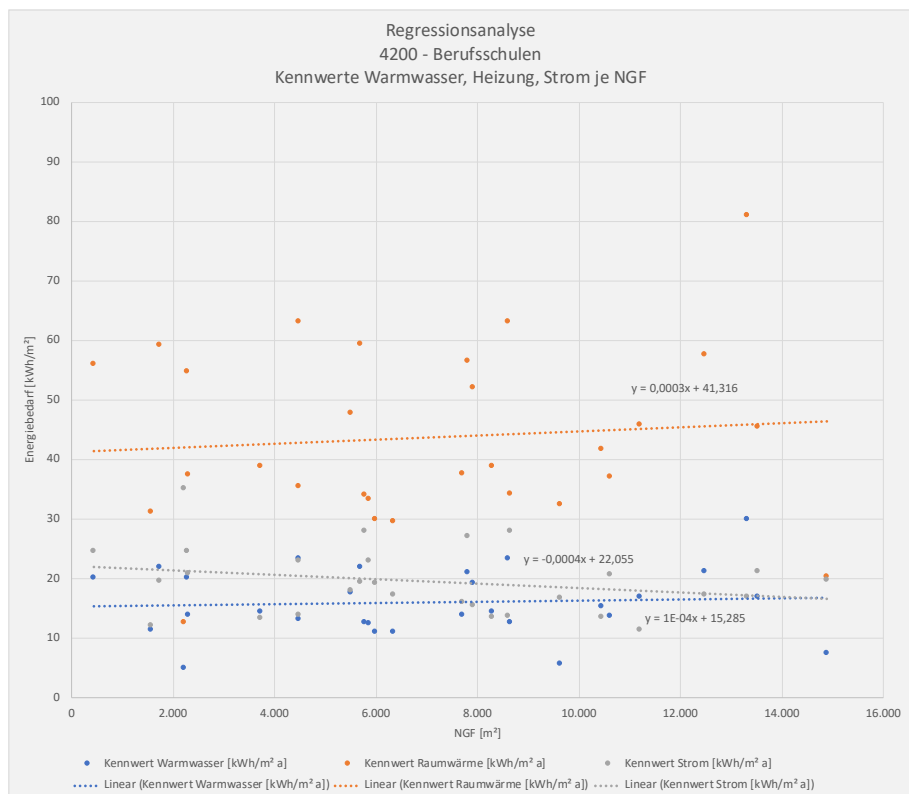
### Anhang C: 4 – Regressionsanalyse 4114 – Realschulen



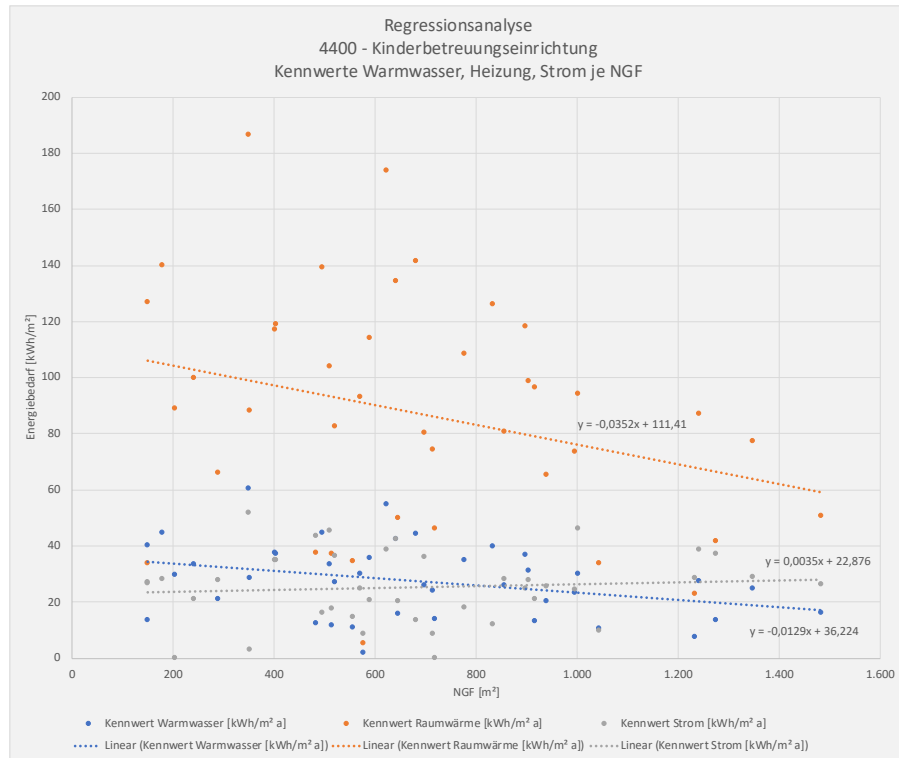
### Anhang C: 5 – Regressionsanalyse 4115 – Gymnasien



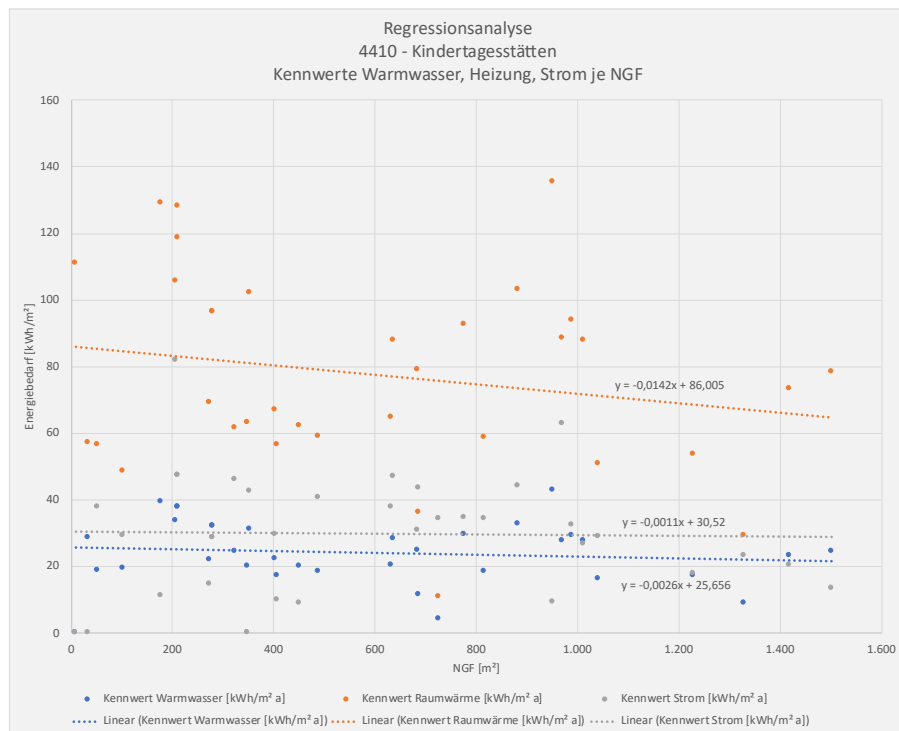
### Anhang C: 6 – Regressionsanalyse 4200 – Berufsschulen



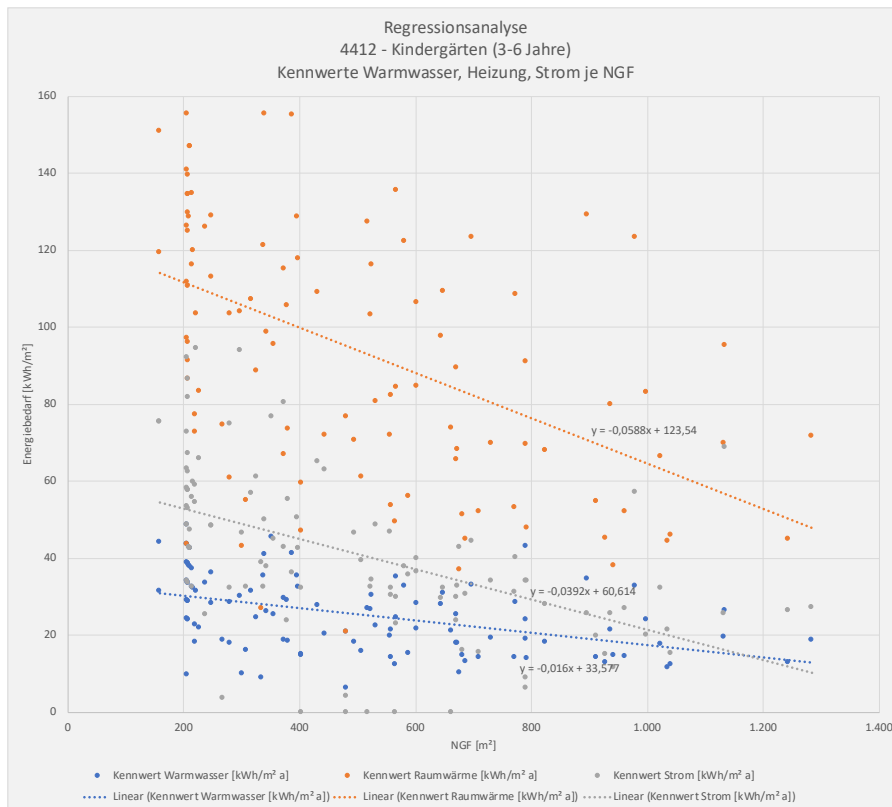
### Anhang C: 7 - Regressionsanalyse 4400 - Kinderbetreuungseinrichtung



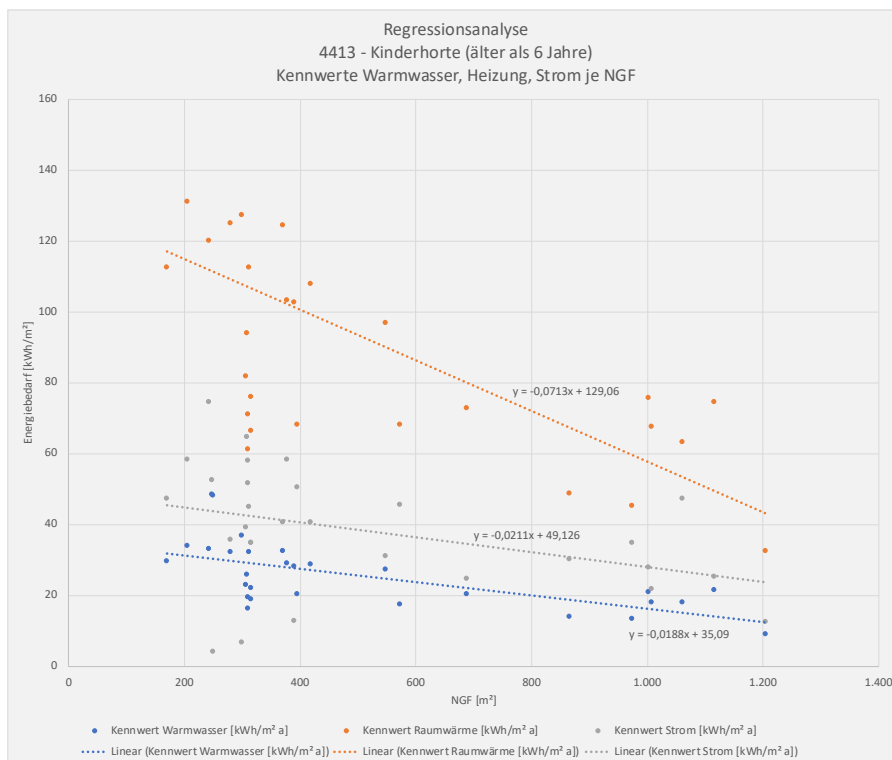
### Anhang C: 8 - Regressionsanalyse 4410 - Kindertagesstätten



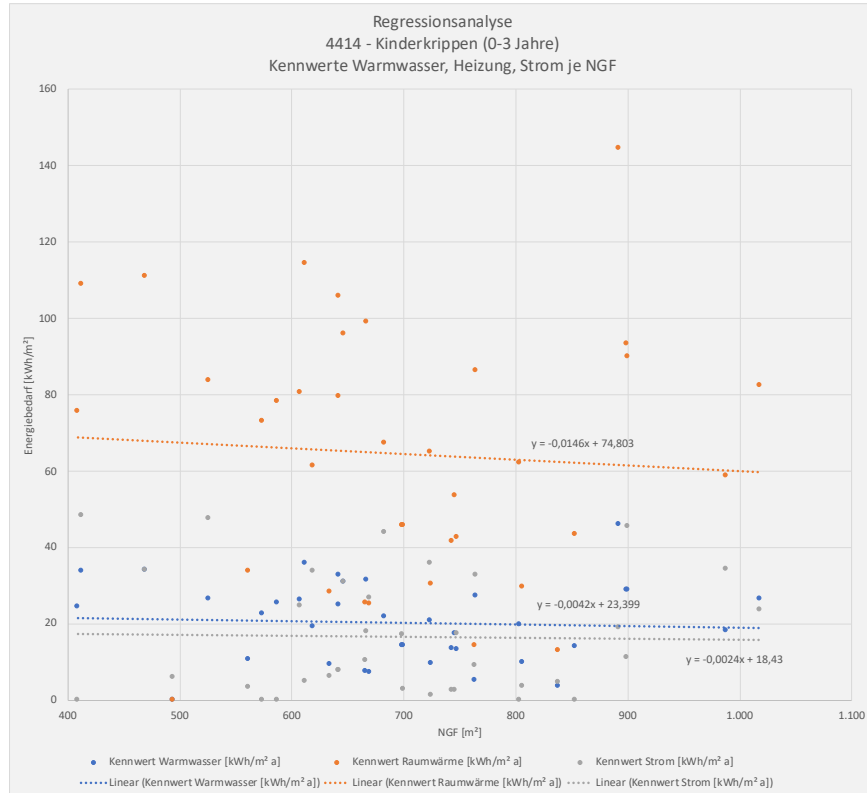
### Anhang C: 9 - Regressionsanalyse 4112 - Kindergärten



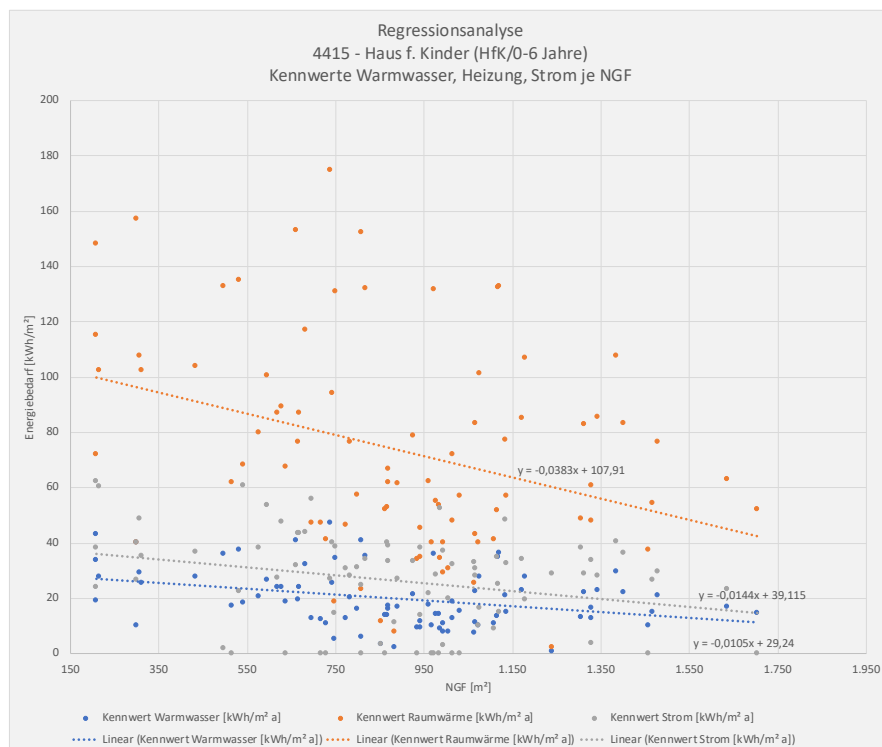
### Anhang C: 10 - Regressionsanalyse - 4113 Kinderhorte



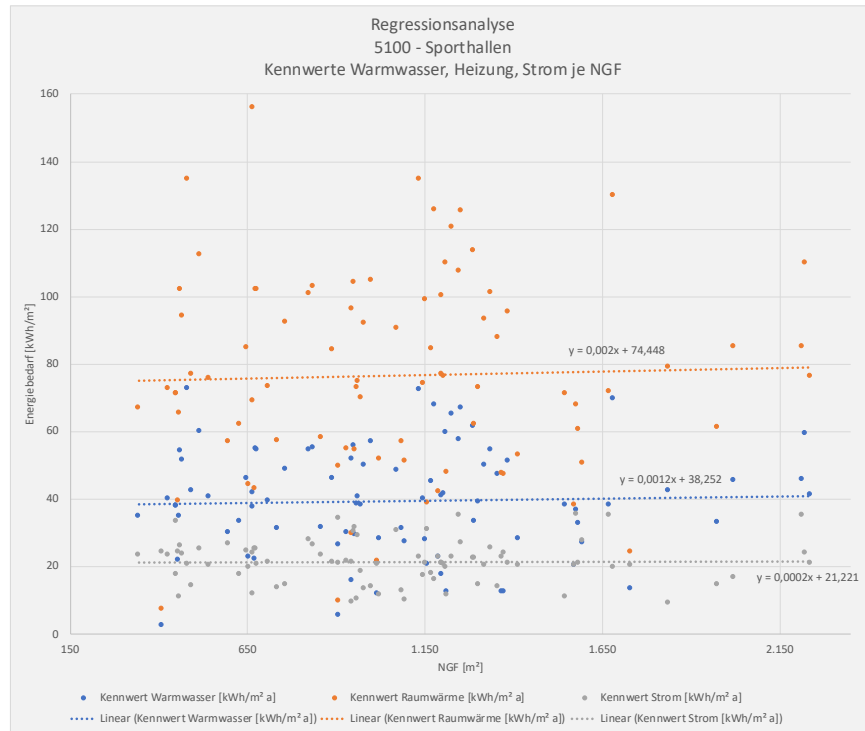
### Anhang C: 11 - Regressionsanalyse 4414 - Kinderkrippen



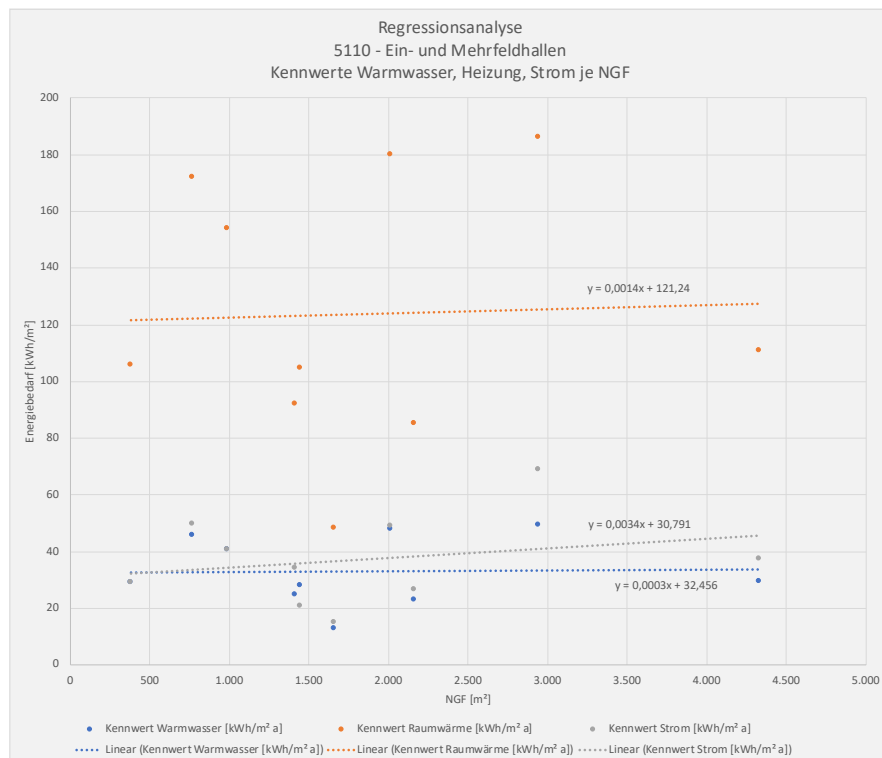
### Anhang C: 12 - Regressionsanalyse 4415 - Haus für Kinder



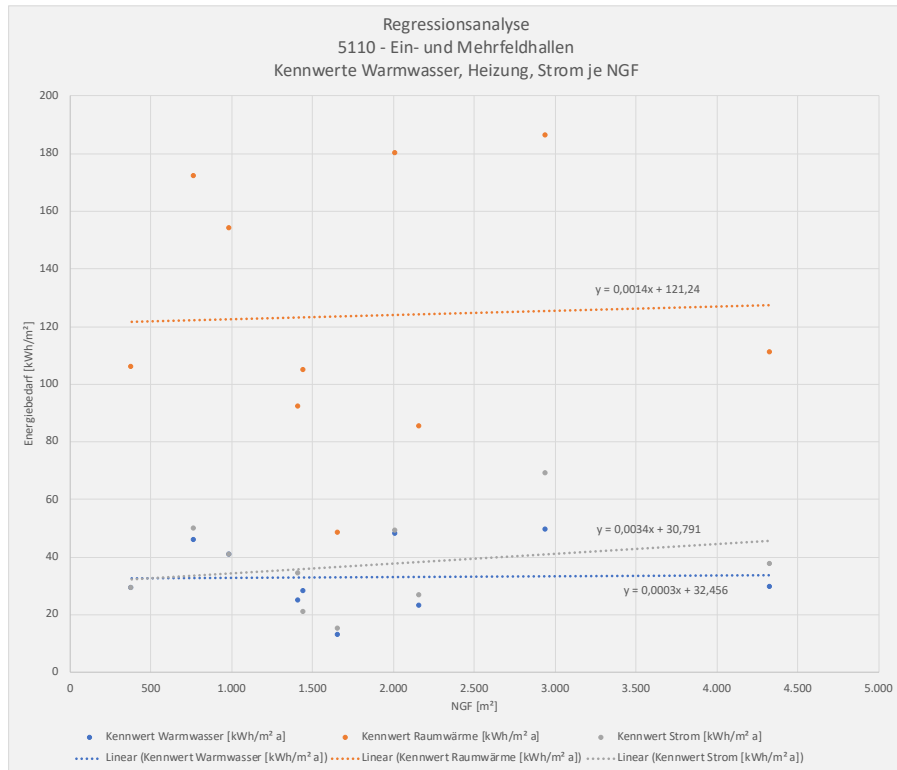
### Anhang C: 13 - Regressionsanalyse 5100 - Sporthallen



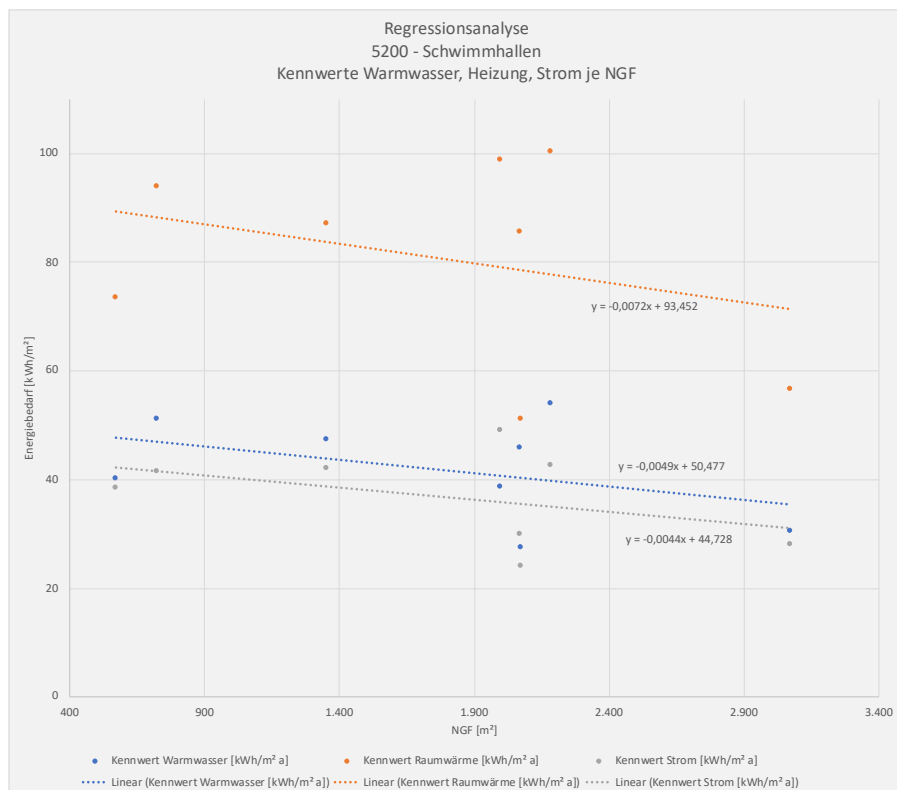
### Anhang C: 14 - Regressionsanalyse - 5110 Ein- und Mehrfeldhallen



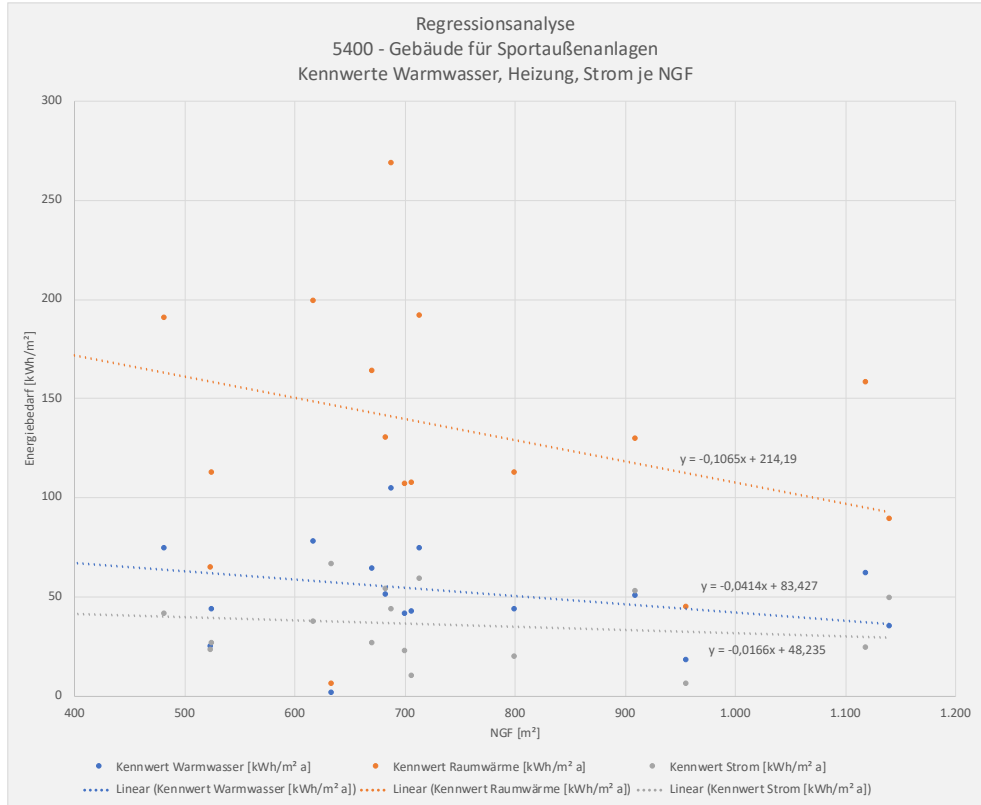
### Anhang C: 15 - Regressionsanalyse - 5130 Mehrfeldhallen



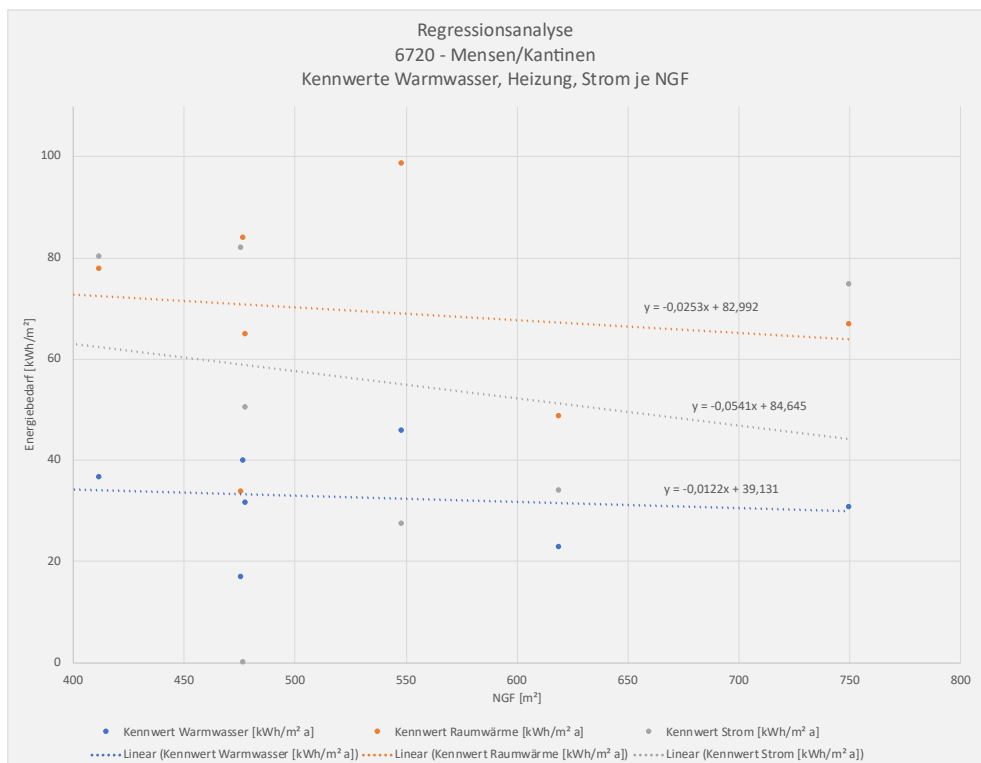
### Anhang C: 16 - Regressionsanalyse - 5200 Schwimmhallen



**Anhang C: 17 - Regressionsanalyse 5400 – Gebäude für Sportaußenanlagen**

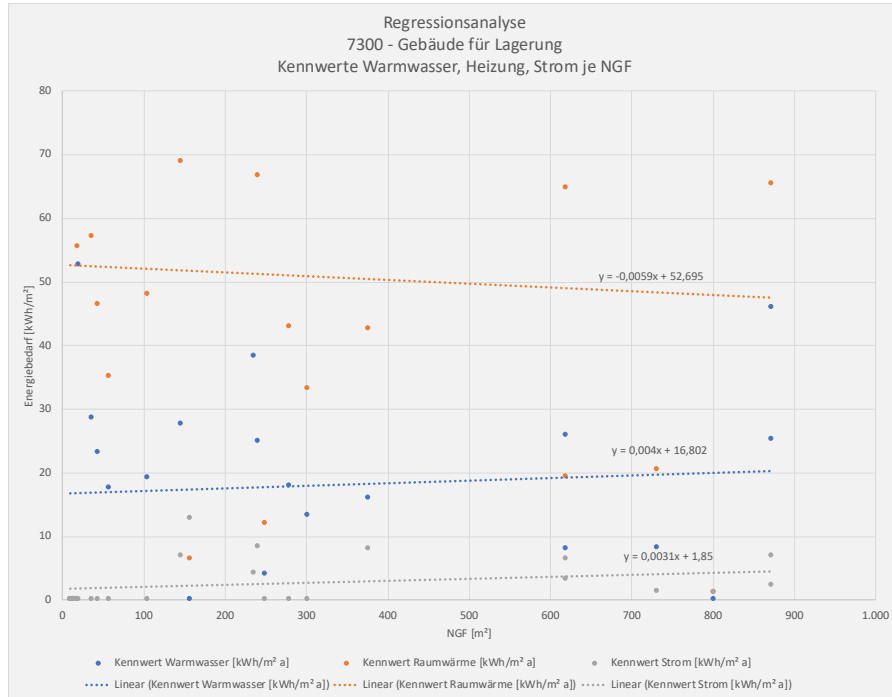


**Anhang C: 18 - Regressionsanalyse 6720 - Mensen/ Kantinen**

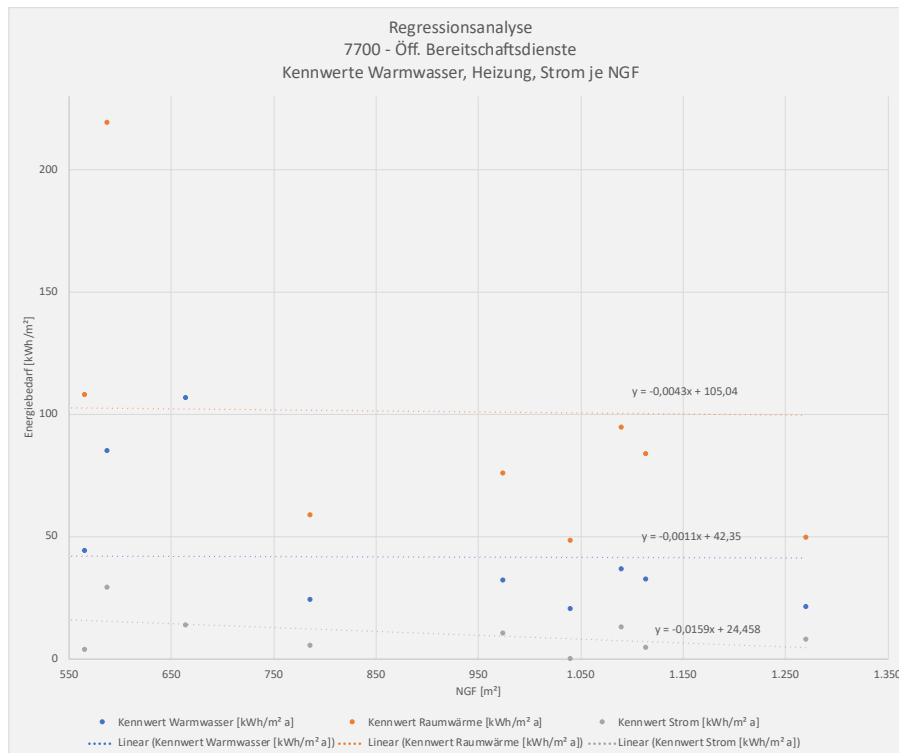




**Anhang C: 19 - Regressionsanalyse 7300 - Gebäude für Lagerung**



**Anhang C: 20 - Regressionsanalyse 7700 - Öffentliche Bereitschaftsdienste**



# Anhang D

**Anhang D: 1 - Tabellarische Regressionsergebnisse - Verwaltungsgebäude**

Regression Art	Bezeichnung	BWZ	Ø NGF* [m²]	Regression Formel	Einheit	Ø NGF					
						25%	50%	100%	150%	200%	300%
Raumwärme	Verwaltungsgebäude (n = 31)	1300	3.892	$y = 0,0014x + 58,04$	kWh/m²a	59	61	63	66	69	74
					%*	-6%	-4%	0%	4%	9%	17%
Warmwasser	Verwaltungsgebäude (n = 31)	1300	3.892	$y = -0,0007x + 16,06$	kWh/m²a	15	15	13	12	11	8
					%*	15%	10%	0%	-10%	-20%	-41%
Strom	Verwaltungsgebäude (n = 31)	1300	3.892	$y = 0,0047x + 13,428$	kWh/m²a	18	23	32	41	50	68
					%*	-43%	-29%	0%	29%	58%	115%

\* ohne Ausreißer

**Anhang D: 2 - Tabellarische Regressionsergebnisse - Schulen**

Regression Art	Bezeichnung	BWZ	Ø NGF* [m²]	Regression Formel	Einheit	Ø NGF					
						25%	50%	100%	150%	200%	300%
Raumwärme	Grundschulen (n = 158)	4112	3.798	$y = -0,0027x + 79,131$	kWh/m²a	77	74	69	64	59	48
					%*	11%	7%	0%	-7%	-15%	-30%
Raumwärme	Mittelschulen (n = 49)	4113	2.567	$y = -0,0033x + 111,32$	kWh/m²a	109	107	103	99	94	86
					%*	6%	4%	0%	-4%	-8%	-16%
Raumwärme	Realschulen (n = 25)	4114	3.478	$y = -0,0026x + 90,01$	kWh/m²a	88	85	81	76	72	63
					%*	8%	6%	0%	-6%	-11%	-22%
Raumwärme	Gymnasien (n = 42)	4115	5.068	$y = 8E-05x + 57,881$	kWh/m²a	58	58	58	58	59	59
					%*	-1%	0%	0%	0%	1%	1%
Raumwärme	Berufsbildende Schule (n = 29)	4200	7.013	$y = 0,0003x + 41,316$	kWh/m²a	42	42	43	44	46	48
					%*	-4%	-2%	0%	2%	5%	10%
Raumwärme	Mittlere Regression (gewichtet)				%*	7%	5%	0%	-5%	-9%	-19%
Warmwasser	Grundschulen (n = 158)	4112	3.798	$y = -0,0007x + 20,953$	kWh/m²a	20	20	18	17	16	13
					%*	11%	7%	0%	-7%	-15%	-29%
Warmwasser	Mittelschulen (n = 49)	4113	2.567	$y = -0,0009x + 26,551$	kWh/m²a	26	25	24	23	22	20
					%*	7%	5%	0%	-5%	-10%	-19%
Warmwasser	Realschulen (n = 25)	4114	3.478	$y = -0,0007x + 21,591$	kWh/m²a	21	20	19	18	17	14
					%*	10%	6%	0%	-6%	-13%	-25%
Warmwasser	Gymnasien (n = 42)	4115	5.068	$y = 0,0002x + 19,551$	kWh/m²a	20	20	21	21	22	23
					%*	-4%	-2%	0%	2%	5%	10%
Warmwasser	Berufsbildende Schule (n = 29)	4200	7.013	$y = -0,0004x + 22,055$	kWh/m²a	21	21	19	18	16	14
					%*	11%	7%	0%	-7%	-15%	-29%
Warmwasser	Mittlere Regression (gewichtet)				%*	8%	5%	0%	-5%	-11%	-22%
Strom	Grundschulen (n = 158)	4112	3.798	$y = -0,0001x + 16,117$	kWh/m²a	16	16	16	16	15	15
					%*	2%	1%	0%	-1%	-2%	-5%
Strom	Mittelschulen (n = 49)	4113	2.567	$y = -0,0007x + 17,012$	kWh/m²a	17	16	15	14	13	12
					%*	9%	6%	0%	-6%	-12%	-24%
Strom	Realschulen (n = 25)	4114	3.478	$y = -0,0008x + 20,026$	kWh/m²a	19	19	17	16	14	12
					%*	12%	8%	0%	-8%	-16%	-32%
Strom	Gymnasien (n = 42)	4115	5.068	$y = 0,0001x + 13,928$	kWh/m²a	14	14	14	15	15	15
					%*	-3%	-2%	0%	2%	4%	7%
Strom	Berufsbildende Schule (n = 29)	4200	7.013	$y = 1E-04x + 15,285$	kWh/m²a	15	16	16	16	17	17
					%*	-3%	-2%	0%	2%	4%	9%
Strom	Mittlere Regression (gewichtet)				%*	3%	2%	0%	-2%	-4%	-7%

\* ohne Ausreißer

### Anhang D: 3 - Tabellarische Regressionsergebnisse - Kinderbetreuung

Regression Art	Bezeichnung	BWZ	Ø NGF* [m²]	Regression Formel	Einheit	Ø NGF					
						25%	50%	100%	150%	200%	300%
Raumwärme	Kinderbetreuungseinrichtung (n = 41)	4400	682	$y = -0,0352x + 111,41$	kWh/m²a	105	99	87	75	63	39
					%*	21%	14%	0%	-14%	-27%	-55%
Raumwärme	Kindertagesstätten (n = 35)	4410	598	$y = -0,0142x + 86,005$	kWh/m²a	84	82	78	73	69	61
					%*	8%	5%	0%	-5%	-11%	-22%
Raumwärme	Kindergärten 3-6 Jahre (n = 110)	4412	497	$y = -0,0588x + 123,54$	kWh/m²a	116	109	94	80	65	36
					%*	23%	15%	0%	-15%	-31%	-62%
Raumwärme	Kinderhorte älter als 6 Jahre (n = 29)	4413	512	$y = -0,0713x + 129,06$	kWh/m²a	120	111	93	74	56	20
					%*	30%	20%	0%	-20%	-39%	-79%
Raumwärme	Kinderkrippen 0-3 Jahre (n = 37)	4414	696	$y = -0,0146x + 74,803$	kWh/m²a	72	70	65	60	54	44
					%*	12%	8%	0%	-8%	-16%	-31%
Raumwärme	Haus f. Kinder HfK/0-6 Jahre (n = 84)	4415	890	$y = -0,0383x + 107,91$	kWh/m²a	99	91	74	57	40	6
					%*	35%	23%	0%	-23%	-46%	-92%
Raumwärme	Mittlere Regression (gewichtet)				%*	23%	16%	0%	-16%	-31%	-63%
Warmwasser	Kinderbetreuungseinrichtung (n = 41)	4400	682	$y = -0,0129x + 36,224$	kWh/m²a	34	32	27	23	19	10
					%*	24%	16%	0%	-16%	-32%	-64%
Warmwasser	Kindertagesstätten (n = 35)	4410	598	$y = -0,0026x + 25,656$	kWh/m²a	25	25	24	23	23	21
					%*	5%	3%	0%	-3%	-6%	-13%
Warmwasser	Kindergärten 3-6 Jahre (n = 110)	4412	497	$y = -0,016x + 33,577$	kWh/m²a	32	30	26	22	18	10
					%*	23%	16%	0%	-16%	-31%	-62%
Warmwasser	Kinderhorte älter als 6 Jahre (n = 29)	4413	512	$y = -0,0188x + 35,09$	kWh/m²a	33	30	25	21	16	6
					%*	28%	19%	0%	-19%	-38%	-76%
Warmwasser	Kinderkrippen 0-3 Jahre (n = 37)	4414	696	$y = -0,0042x + 23,399$	kWh/m²a	23	22	20	19	18	15
					%*	11%	7%	0%	-7%	-14%	-29%
Warmwasser	Haus f. Kinder HfK/0-6 Jahre (n = 84)	4415	890	$y = -0,0105x + 29,24$	kWh/m²a	27	25	20	15	11	1
					%*	35%	23%	0%	-23%	-47%	-94%
Warmwasser	Mittlere Regression (gewichtet)				%*	23%	16%	0%	-16%	-31%	-63%
Strom	Kinderbetreuungseinrichtung (n = 41)	4400	682	$y = 0,0035x + 22,876$	kWh/m²a	23	24	25	26	28	30
					%*	-7%	-5%	0%	5%	9%	19%
Strom	Kindertagesstätten (n = 35)	4410	598	$y = -0,0011x + 30,52$	kWh/m²a	30	30	30	30	29	29
					%*	2%	1%	0%	-1%	-2%	-4%
Strom	Kindergärten 3-6 Jahre (n = 110)	4412	497	$y = -0,0392x + 60,614$	kWh/m²a	56	51	41	31	22	2
					%*	36%	24%	0%	-24%	-47%	-95%
Strom	Kinderhorte älter als 6 Jahre (n = 29)	4413	512	$y = -0,0211x + 49,126$	kWh/m²a	46	44	38	33	28	17
					%*	21%	14%	0%	-14%	-28%	-56%
Strom	Kinderkrippen 0-3 Jahre (n = 37)	4414	696	$y = -0,0024x + 18,43$	kWh/m²a	18	18	17	16	15	13
					%*	7%	5%	0%	-5%	-10%	-20%
Strom	Haus f. Kinder HfK/0-6 Jahre (n = 84)	4415	890	$y = -0,0144x + 39,115$	kWh/m²a	36	33	26	20	13	1
					%*	37%	24%	0%	-24%	-49%	-97%
Strom	Mittlere Regression (gewichtet)				%*	23%	15%	0%	-15%	-30%	-61%

\* ohne Ausreißer

**Anhang D: 4 - Tabellarische Regressionsergebnisse - Hallen/ Sport**

Regression Art	Bezeichnung	BWZ	Ø NGF* [m²]	Regression Formel	Einheit	Ø NGF					
						25%	50%	100%	150%	200%	300%
Raumwärme	Sporthallen (n = 85)	5100	1.070	$y = 0,002x + 74,448$	kWh/m²a	75	76	77	78	79	81
					%*	-2%	-1%	0%	1%	3%	6%
Raumwärme	Ein- und Mehrfeldhallen (n = 10)	5110	1.809	$y = 0,0014x + 121,24$	kWh/m²a	122	123	124	125	126	129
					%*	-2%	-1%	0%	1%	2%	4%
Raumwärme	Mehrzweckhallen (n = 9)	5130	1.029	$y = 0,0217x + 96,251$	kWh/m²a	102	107	119	130	141	163
					%*	-14%	-9%	0%	9%	19%	38%
Raumwärme	Schwimmhallen (n = 8)	5200	1.756	$y = -0,0072x + 93,452$	kWh/m²a	90	87	81	74	68	56
					%*	12%	8%	0%	-8%	-16%	-31%
Raumwärme	Gebäude für Sportaußenanlagen (n = 19)	5400	671	$y = -0,1065x + 214,19$	kWh/m²a	196	178	143	107	71	0
					%*	38%	25%	0%	-25%	-50%	-100%
Raumwärme	Mittlere Regression (gewichtet)				%*	4%	2%	0%	-2%	-5%	-10%
Warmwasser	Sporthallen (n = 85)	5100	1.070	$y = 0,0012x + 38,252$	kWh/m²a	39	39	40	40	41	42
					%*	-2%	-2%	0%	2%	3%	6%
Warmwasser	Ein- und Mehrfeldhallen (n = 10)	5110	1.809	$y = 0,0003x + 32,456$	kWh/m²a	33	33	33	33	34	34
					%*	-1%	-1%	0%	1%	2%	3%
Warmwasser	Mehrzweckhallen (n = 9)	5130	1.029	$y = 0,0104x + 36,752$	kWh/m²a	39	42	47	53	58	69
					%*	-17%	-11%	0%	11%	23%	45%
Warmwasser	Schwimmhallen (n = 8)	5200	1.756	$y = -0,0049x + 50,477$	kWh/m²a	48	46	42	38	33	25
					%*	15%	10%	0%	-10%	-21%	-41%
Warmwasser	Gebäude für Sportaußenanlagen (n = 19)	5400	671	$y = -0,0414x + 83,427$	kWh/m²a	76	70	56	42	28	0
					%*	37%	25%	0%	-25%	-50%	-100%
Warmwasser	Mittlere Regression (gewichtet)				%*	4%	2%	0%	-2%	-5%	-9%
Strom	Sporthallen (n = 85)	5100	1.070	$y = 0,0002x + 21,221$	kWh/m²a	21	21	21	22	22	22
					%*	-1%	0%	0%	0%	1%	2%
Strom	Ein- und Mehrfeldhallen (n = 10)	5110	1.809	$y = 0,0034x + 30,791$	kWh/m²a	32	34	37	40	43	49
					%*	-12%	-8%	0%	8%	17%	33%
Strom	Mehrzweckhallen (n = 9)	5130	1.029	$y = -0,0025x + 46,252$	kWh/m²a	46	45	44	42	41	39
					%*	4%	3%	0%	-3%	-6%	-12%
Strom	Schwimmhallen (n = 8)	5200	1.756	$y = -0,0044x + 44,728$	kWh/m²a	43	41	37	33	29	22
					%*	16%	10%	0%	-10%	-21%	-42%
Strom	Gebäude für Sportaußenanlagen (n = 19)	5400	671	$y = -0,0166x + 48,235$	kWh/m²a	45	43	37	32	26	15
					%*	23%	15%	0%	-15%	-30%	-60%
Strom	Mittlere Regression (gewichtet)				%*	4%	2%	0%	-2%	-5%	-10%

\* ohne Ausreißer

**Anhang D: 5 - Tabellarische Regressionsergebnisse - Mensen/ Kantinen**

Regression Art	Bezeichnung	BWZ	Ø NGF* [m²]	Regression Formel	Einheit	Ø NGF					
						25%	50%	100%	150%	200%	300%
Raumwärme	Mensen/Kantinen (n = 13)	6720	415	$y = -0,0253x + 82,992$	kWh/m²a	80	78	72	67	62	51
					%*	11%	7%	0%	-7%	-14%	-29%
Warmwasser	Mensen/Kantinen (n = 13)	6720	415	$y = -0,0122x + 39,131$	kWh/m²a	38	37	34	32	29	24
					%*	11%	7%	0%	-7%	-15%	-30%
Strom	Mensen/Kantinen (n = 13)	6720	415	$y = -0,0541x + 84,645$	kWh/m²a	79	73	62	51	40	17
					%*	27%	18%	0%	-18%	-36%	-72%

\* ohne Ausreißer

**Anhang D: 6 - Tabellarische Regressionsergebnisse – Lager/ Öffentliche Bereitschaftsdienste**

Regression Art	Bezeichnung	BWZ	Ø NGF* [m²]	Regression Formel	Einheit	Ø NGF					
						25%	50%	100%	150%	200%	300%
Raumwärme	Gebäude für Lagerung (n = 22)	7300	309	$y = 0,0059x + 52,695$	kWh/m²a	52	52	51	50	49	47
					%*	3%	2%	0%	-2%	-4%	-7%
Raumwärme	Öff. Bereitschaftsdienste (n = 20)	7700	595	$y = -0,0043x + 105,04$	kWh/m²a	104	104	102	101	100	97
					%*	2%	1%	0%	-1%	-2%	-5%
Raumwärme	Mittlere Regression (gewichtet)				%*	2%	2%	0%	-2%	-3%	-6%
Warmwasser	Gebäude für Lagerung (n = 22)	7300	309	$y = 0,004x + 16,802$	kWh/m²a	17	17	18	19	19	21
					%*	-5%	-3%	0%	3%	7%	14%
Warmwasser	Öff. Bereitschaftsdienste (n = 20)	7700	595	$y = -0,0011x + 42,35$	kWh/m²a	42	42	42	41	41	40
					%*	1%	1%	0%	-1%	-2%	-3%
Warmwasser	Mittlere Regression (gewichtet)				%*	-2%	-1%	0%	1%	3%	6%
Strom	Gebäude für Lagerung (n = 22)	7300	309	$y = 0,0031x + 1,85$	kWh/m²a	2	2	3	3	4	5
					%*	-26%	-17%	0%	17%	34%	68%
Strom	Öff. Bereitschaftsdienste (n = 20)	7700	595	$y = -0,0159x + 24,458$	kWh/m²a	22	20	15	10	6	-4
					%*	47%	32%	0%	-32%	-63%	-126%
Strom	Mittlere Regression (gewichtet)				%*	9%	6%	0%	-6%	-12%	-24%

\* ohne Ausreißer