

TEXTE

139/2024

Ermittlung der Datenverfügbarkeit und Bestimmung des Endenergieverbrauchs der kommunalen Hallen- und Kombibäder in Deutschland

von:

Matthias Weinfurter, Prof. Dr. Lutz Thieme, Dr. Sören Wallrodt
Hochschule Koblenz, Remagen

Herausgeber:

Umweltbundesamt

TEXTE 139/2024

Projektnummer 181160

FB001463

Ermittlung der Datenverfügbarkeit und Bestimmung des Endenergieverbrauchs der kommunalen Hallen- und Kombibäder in Deutschland

von

Matthias Weinfurter, Prof. Dr. Lutz Thieme, Dr. Sören Wallrodt
Hochschule Koblenz, Remagen

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Durchführung der Studie:

Institut für Sportmanagement und Sportmedizin der Hochschule Koblenz –
RheinAhrCampus
Joseph-Rovan-Allee 2
53424 Remagen

Abschlussdatum:

April 2024

Redaktion:

Fachgebiet V 1.4 Energieeffizienz
Ingmar Herda

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Oktober 2024

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Kurzbeschreibung: Ermittlung der Datenverfügbarkeit und Bestimmung des Endenergieverbrauchs der kommunalen Hallen- und Kombibäder in Deutschland

Im Rahmen des Projekts wurde eine umfangreiche Befragung über die Datenbank „Bäderleben“ (baederleben.de) der Hochschule Koblenz zum Energieverbrauch der darin hinterlegten $n = 1390$ kommunal betriebenen Hallen- und Kombibäder in Deutschland durchgeführt. Hierbei wurden die kommunalen Betreiber der Schwimmbäder per E-Mail zu einer Online-Befragung eingeladen. Die dabei erhobenen Energieverbrauchsdaten wurden umfangreich aufbereitet, plausibilisiert und auf alle kommunal betriebenen Hallen- und Kombibäder in Deutschland hochgerechnet, um den Endenergieverbrauch (EEV) dieser Schwimmbäder möglichst repräsentativ zu quantifizieren. Im Ergebnis wurde, angelehnt an die Energiebilanzen für Deutschland aus dem Jahr 2022 (AGEB 2023), ein EEV von 0,55-0,65% für den Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistungen, zu dem Schwimmbäder hinzugezählt werden und ein EEV von 0,08-0,09% für Deutschland festgehalten. Als Energieeffizienzindikator für den Verbrauch eines Schwimmbads wurden die Energieverbräuche pro m^2 Wasserfläche der Schwimmbäder berechnet, welche als Orientierungswerte für Betreiber dienen können. Im Zuge des Projekts konnten außerdem Erkenntnisse hinsichtlich der Datenverfügbarkeit und -qualität der Energieverbrauchsdaten aufseiten der Betreiber gesammelt werden, welche für die Durchführung zukünftiger Forschungsprojekte in diesem Bereich genutzt werden können. Zudem zeigte sich, dass Betreiber von Schwimmbädern eine hohe Bereitschaft und ein Interesse daran haben, an derartig komplexen Befragungen zum Energieverbrauch teilzunehmen. Auch die erstmalige und erfolgreiche Nutzung einer Datenbank wie „Bäderleben“ im Rahmen eines Forschungsprojektes ist als großen Fortschritt zu verzeichnen. Dieses Kurzgutachten weist auf die Relevanz des Themas „Energieverbrauch von Schwimmbädern“ hin und soll dazu beitragen, mehr Aufmerksamkeit in der Öffentlichkeit sowie bei Betreibern von Schwimmbädern auf eine Senkung des Energieverbrauchs zu lenken.

Abstract: Determination of the data availability and the final energy consumption of municipal indoor and combined swimming pools in Germany

In this project, an extensive survey on the energy consumption of the $n = 1390$ municipally operated indoor and combined pools in Germany contained in the database "Bäderleben" (baederleben.de) of the Koblenz University of Applied Sciences was conducted. Municipal pool operators were invited via email to participate in an online survey. The collected energy consumption data was extensively processed, validated, and extrapolated to all municipally operated indoor and combined pools in Germany, in order to quantify the final energy consumption (FEC) of these pools as representative as possible. The results show, in reference to the energy balance for Germany for the year 2022 (AGEB 2023), an FEC of 0.55-0.65% for the commercial, trade, and service sector, which includes swimming pools, and an FEC of 0.08-0.09% for Germany as a whole. The calculated consumption per m^2 of water surface area of the swimming pools serves as an indicator for their energy efficiency and can be used as reference values by operators. Insights were also gained regarding the availability and quality of energy consumption data on the part of operators, which can be utilized for future research projects in this field. Furthermore, it was demonstrated that swimming pool operators are highly willing and interested in participating in such complex surveys on energy consumption. The first-time and successful use of a database like "Bäderleben" a research project of this kind can also be deemed as a significant progress. This brief report emphasizes the relevance of the topic "energy consumption of swimming pools" and aims to draw more public attention as well as from swimming pool operators towards reducing energy consumption.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	8
1 Hintergrund	9
2 Methode	10
2.1 Befragung	10
2.2 Plausibilisierung und Bereinigung der Daten	11
2.3 Hochrechnungen des Energieverbrauchs für alle kommunal betriebenen Hallen- und Kombibäder in Deutschland	11
3 Ergebnisse	13
4 Zusammenfassung und Limitationen	18
5 Quellenverzeichnis	21

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: . Wärme-, Strom- und Gesamtenergieverbrauch in GWh der befragten kommunalen Hallen- und Kombibäder (n = 67).....	13
Tabelle 2: . Die Wasserfläche sowie der Wärme-, Strom- und Gesamtenergieverbrauch in kWh/m ² der befragten kommunalen Hallen- und Kombibäder (n = 67).	14
Tabelle 3: .. Die Wasserfläche der kommunal betriebenen Hallen- und Kombibäder aus der Datenbank Bäderleben (n = 526).	14
Tabelle 4: . Statistische Kennwerte für die Hochrechnungen sowie die Ergebnisse der Hochrechnungen des Wärme-, Strom- und Gesamtenergieverbrauchs in GWh für alle kommunal betriebenen Hallen- und Kombibäder in Deutschland. (n = 1390)	15
Tabelle 5: Genutzte Energieträger für das Betreiben der kommunalen Hallen- und Kombibäder (n = 67).....	17

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:Streudiagramm des Zusammenhangs des Gesamtenergieverbrauchs und der Wasserfläche der Einfachen Hochrechnung und der Modellhochrechnung.	16
--	----

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DGfdB	Deutsche Gesellschaft für das Badewesen
DST	Deutscher Städtetag
EEV	Endenergieverbrauch
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GWh	Gigawattstunden
kWh	Kilowattstunden
MW	Mittelwert
PJ	Petajoule
m ²	Quadratmeter
TWh	Terawattstunde
UBA	Umweltbundesamt
SD	Standardabweichung

1 Hintergrund

Die Preissteigerungen durch die Energiekrise, ausgelöst durch den russischen Angriffskrieg auf die Ukraine im Jahr 2022, stellen auch kommunal betriebene Schwimmbäder vor wachsende finanzielle Herausforderungen. Preissteigerungen führen zu einer zusätzlichen Belastung der kommunalen Haushalte und können Betreiber dazu veranlassen, Eintrittspreise zu erhöhen, Badewassertemperaturen zu verringern (was zu einer Reduktion der Besucherzahlen oder des Schulschwimmens führen könnte) und, in drastischen Fällen, (Teil-)Schließungen von Schwimmbädern vorzunehmen. Da Schwimmbäder eine große Bedeutung für die Lebensqualität in den Städten und Gemeinden haben, ist es auch wichtig, den Endenergieverbrauch (EEV) dieser Schwimmbäder präzise zu bestimmen. Die Quantifizierung des EEV ermöglicht eine Abschätzung der finanziellen Belastung der Kommunen durch die Schwimmbäder bzw. deren Energieverbrauch. Außerdem können perspektivisch Handlungsempfehlungen für Energieeffizienzmaßnahmen und Möglichkeiten zur Reduzierung des Ausstoßes von Kohlenstoffdioxid (CO₂) formuliert werden. Eine Aufschlüsselung des Energieverbrauchs nach Energieträgern kann außerdem Rückschlüsse auf den Fortschritt der Wärmewende und zu Möglichkeiten der Sektorenkopplung ergeben. Dabei werden über differenzierte Daten Aussagen zu CO₂-Emissionen und dem Modernisierungsbedarf der Schwimmbäder möglich. Betreibern können außerdem den Energieverbrauch ihrer Schwimmbäder einordnen, wodurch Anreize für Energieeinsparmaßnahmen erzeugt werden können.

Referenzwerte, die zur Einordnung von Energieverbräuchen von Schwimmbädern genutzt werden können, existieren nur bedingt (Rohde et al., 2022; VDI 3807 Blatt 2: 2014-11). Diese sind, u. a. aufgrund der z. T. sehr geringen Anzahl an betrachteten Schwimmbädern, der Typen der betrachteten Schwimmbäder (z. B. Hallen- und Freibäder) sowie der für die Ermittlung der Energieverbrauchsdaten genutzten Methoden unterschiedlich und basieren nicht auf einer für Deutschland repräsentativen Stichprobe. Somit existiert keine umfangreiche, differenzierte und repräsentative Datengrundlage zum EEV von kommunalen Schwimmbädern, die auch die Heterogenität der Bäderlandschaft in Deutschland abbildet.

Vor diesem Hintergrund verfolgte das Projekt die vier Ziele:

1. Beurteilung der Datenverfügbarkeit für eine nach Energieträgern differenzierte Bestimmung des EEV von kommunalen Schwimmbädern in Deutschland im Rahmen einer Vollerhebung.
2. Berechnungen des EEV der kommunalen Schwimmbäder für die Bereiche Wärme und Strom. Dabei soll der Energieverbrauch speziell für die Warmwasseraufbereitung der Schwimmbecken dargestellt werden, da anzunehmen ist, dass ein wesentlicher Teil des Energieverbrauchs eines Schwimmbads für das Beheizen der Becken aufgewendet wird.
3. Berechnung eines Energieeffizienzindikators, der zur Beurteilung der Energieeffizienz eines kommunalen Schwimmbads genutzt werden kann.
4. Einordnung des EEV der Schwimmbäder, verglichen mit den Energiebilanzen für Deutschland (AGEB, 2023), in den EEV von Deutschland sowie den EEV des Sektors Gewerbe, Handel und Dienstleistungen, zu dem Schwimmbäder hinzugezählt werden.

Hierfür wurde durch das Institut für Sportmanagement und Sportmedizin (ISS) der Hochschule Koblenz eine Online-Befragung zum Energieverbrauch der kommunal betriebenen Hallen- und Kombibäder in Deutschland durchgeführt, die in der Datenbank „Bäderleben“ (baederleben.de) der Hochschule hinterlegt sind. Die hierbei ermittelten Energieverbrauchsdaten wurden auf alle in der Datenbank enthaltenen kommunal betriebenen Hallen- und Kombibäder in Deutschland hochgerechnet, um eine Einschätzung des EEV dieser Anlagen für ganz Deutschland zu geben.

2 Methode

2.1 Befragung

Um möglichst repräsentative Daten zu erhalten, wurde eine Vollerhebung aller kommunal betriebenen Hallen- und Kombibäder,¹ die in der Datenbank Bäderleben (baederleben.de) der Hochschule Koblenz enthalten sind, angestrebt. Die Datenbank enthält sowohl umfangreiche Strukturdaten als auch die Kontaktdaten zu allen (nicht nur kommunalen) Schwimmbädern in Deutschland.² Insgesamt wurden $n = 1390$ kommunal betriebene Hallen- und Kombibäder identifiziert, welche im Anschluss über einen E-Mailverteiler zu der Online-Befragung eingeladen wurden.³ Zu kommunalen Betreibern zählten vor allem Gemeinde oder Stadt, Land, Kreis und Stadtwerke. In der Datenbank wurden zusätzlich eingetragene Genossenschaften, GmbHs, Vereine und sonstige Betreiber auf eine kommunale Trägerschaft hin einzeln überprüft und bei positiver Identifikation berücksichtigt. Der Befragungszeitraum lief vom 25.10.2023 bis zum 30.12.2023, wobei mehrere Erinnerungen an die Betreiber versendet wurden. Um einen möglichst hohen Rücklauf zu garantieren, wurde das Projekt durch die Deutsche Gesellschaft für das Badewesen (DGföB) sowie den Deutschen Städtetag (DST) unterstützt und über deren Plattformen verbreitet. Darüber hinaus wurde gemeinsam mit den Organisationen und dem Umweltbundesamt (UBA) ein Anschreiben an die Betreiber der Schwimmbäder formuliert, welches eine Beschreibung des Projekts enthielt und mit der Einladung versendet wurde.

Die Konzipierung der Befragung erfolgte in enger Abstimmung mit den beteiligten Organisationen sowie weiteren Expert*innen und Ingenieur*innen. Dabei wurde einerseits auf die fachliche Korrektheit des entworfenen Fragebogens geachtet, andererseits aber auch ein besonderer Fokus auf die Reduktion des Aufwands für die Betreiber der Schwimmbäder gesetzt, um die Hürden zur Beantwortung einer derart komplexen Befragung zu senken. Die Online-Befragung bezog sich auf die Jahre 2019 und 2022 und mittels der Software LimeSurvey auf Servern der Hochschule Koblenz durchgeführt. Die beiden Erhebungsjahre wurden gewählt, um möglichen Datenlücken in den Verbrauchsdaten vorzubeugen und Corona-Verzerrungseffekte zu vermeiden (Daten aus 2020 und 2021 wären aufgrund der behördlich angeordneten Schließungen der Schwimmbäder verzerrt).

Der Fragebogen umfasste folgende Inhalte:

- ▶ Allgemeine Fragen zur Postleitzahl, Ansprechpartner für Rückfragen, zum Vorhandensein einer für das Schwimmbad separaten Zählleinheit für Wärme und Strom
- ▶ Fragen zum Schwimmbadtyp, zum Baujahr, zur Wasserfläche der beheizten Becken, zum Vorhandensein von Saunas und Solarien, zu den Öffnungstagen in den Jahren 2019 und 2022, zu bisherigen/geplanten energetischen Sanierungsmaßnahmen
- ▶ Fragen zu den für das Betreiben des Schwimmbads genutzten Energieträgern: Strom, Gas (Erdgas, Flüssiggas), Biogas, Mineralöl, Kohle, Fernwärme, erneuerbare Energien, sonstige Energieträger

¹ Andere Badtypen wie Freibäder, Schulbäder, Freizeitbäder oder Thermen, Klinikbäder, Hotelbäder oder Naturbäder wurden nicht berücksichtigt.

² Die Datenbank wurde im Rahmen eines von Seiten des Bundesinstitut für Sportwissenschaften (BISp) geförderten Projektes erstellt, wird fortlaufend aktualisiert und wurde für die Durchführung dieses Projekts umfangreich ergänzt.

³ Hierbei ist anzumerken, dass für Deutschland von etwas mehr als 1390 kommunal betriebenen Hallen- und Kombibädern auszugehen ist. Zwar hat die Datenbank Bäderleben den Anspruch, alle Bäder in Deutschland zu enthalten, jedoch sind (derzeit) nicht für alle Bäder auch alle Daten bekannt. Insgesamt wurden zum Projektstart 1876 Hallen- und Kombibäder betrachtet, wobei von 100 Bädern kein Betreiber identifiziert werden konnte und die restlichen 386 nicht als kommunal betrieben hinterlegt waren.

- ▶ Fragen zu den Energieverbräuchen für Wärme (Gesamt), Wärme (Warmwasser) und Strom (Gesamt) für die Jahre 2019 und 2022. Es wurden jeweils die Energieverbräuche der drei Bereiche für die für das Schwimmbad genutzten Energieträger abgefragt.
- ▶ Sämtliche Angaben im Rahmen der Befragung konnten auf jeder Seite des Fragebogens in einem Freitextfeld näher erläutert werden.

Die Abfrage der Energieverbrauchsdaten erfolgte mit Blick auf die Energieverbrauchsausweise für Nicht-Wohngebäude, welche die Energieverbrauchsdaten differenziert nach Energieträgern der Schwimmbäder enthalten sollten. Dadurch wurde den Befragten ermöglicht, die Daten unmittelbar aus den Ausweisen übertragen zu können. Den Befragten wurde ebenfalls die Möglichkeit gegeben, den Energieverbrauchsausweis ihres Schwimmbads hochzuladen und das Eintippen der Verbrauchsdaten zu überspringen, um den Aufwand für das Beantworten der Befragung weiter zu reduzieren.⁴

2.2 Plausibilisierung und Bereinigung der Daten

Die erhobenen Datensätze zu jedem Schwimmbad wurden auf Ebene jedes Schwimmbads folgendermaßen plausibilisiert und bereinigt:

- ▶ Doppelte und (zum Großteil) leere Datensätze wurden identifiziert und gelöscht.
- ▶ Energieverbrauchsdaten, die an der falschen Stelle im Rahmen der Befragung eingetragen wurden, wurden nachträglich entsprechend an den richtigen Stellen eingetragen.
- ▶ Nicht nachvollziehbare, nicht vergleichbare sowie unrealistisch hohe bzw. niedrige Energieverbrauchsdaten wurden als fehlende Werte gekennzeichnet und nicht im Rahmen der Analysen berücksichtigt.
- ▶ Um starke Verzerrungen der statistischen Kennwerte (insb. Mittelwert, Standardabweichung) zu vermeiden, wurden stark vom Mittelwert abweichende Energieverbrauchsdaten ausgeschlossen.
- ▶ Final wurden ausschließlich vollständige Datensätze, die Angaben zum Wärme- und Stromverbrauch sowie zur Wasserfläche enthalten genutzt.

2.3 Hochrechnungen des Energieverbrauchs für alle kommunal betriebenen Hallen- und Kombibäder in Deutschland

Es ist nicht ausreichend, den durchschnittlichen Energieverbrauch eines Schwimmbads mit der angenommenen absoluten Zahl an Schwimmbädern in Deutschland (hier $n = 1390$ kommunal betriebene Hallen- und Kombibäder) zu multiplizieren, da anzunehmen ist, dass der Energieverbrauch maßgeblich durch die im Schwimmbad vorhandene Wasserfläche (besonders für das Beheizen der Becken) beeinflusst wird.⁵ Um den Energieverbrauch aller kommunal betriebenen Schwimmbäder in Deutschland zu quantifizieren, wurde somit der Wärme-, Strom- und Gesamtenergieverbrauch in Relation zu der im betrachteten Schwimmbad vorhandenen Wasserfläche⁶ mittels zweier Berechnungsmethoden hochgerechnet. Die Hochrechnung erfolgte sowohl über den Energieverbrauch pro Quadratmeter (m^2) Wasserfläche (im Folgenden

⁴ Das Ausfüllen der Befragung war jedoch ebenfalls möglich, wenn kein Energieverbrauchsausweis für das Schwimmbad vorlag oder für die Befragten unzugänglich war.

⁵ Dieser starke Zusammenhang zeigte sich ebenfalls in den vorliegenden Daten.

⁶ Die Wasserfläche betrachtet hierbei die Wasserfläche der beheizten Becken.

„Einfache Hochrechnung“) als auch über verschiedene Modellgleichungen (im Folgenden „Modellhochrechnung“). Die einfache Hochrechnung über den Verbrauch pro m² stellt eine grobe Schätzung des gesamten Energieverbrauchs dar. Der einfachen Hochrechnung ist ein linearer Anstieg des Energieverbrauchs mit zunehmender Wasserfläche zugrunde gelegt. Dieser lineare Zusammenhang entspricht jedoch nicht unbedingt der Realität. Vielmehr ist von einem degressiven Verlauf⁷ des Energieverbrauchs mit zunehmender Wasserfläche auszugehen, der sich in den erhobenen Daten zeigte und der somit für realitätsgetreuere Hochrechnungen beachtet werden muss. Somit wurde dem Zusammenhang zwischen dem Wärme-, Strom- und Gesamtenergieverbrauch und der Wasserfläche je eine Wurzelfunktion zugrunde gelegt, welche den Zusammenhang realitätsgetreuer abbildet. Die den Wurzelfunktionen zugrundeliegenden Funktionsgleichungen wurden für die Modellhochrechnungen der Energieverbrauchsdaten genutzt. Der Unterschied hinsichtlich der Ergebnisse zwischen den beiden Berechnungsmethoden ist in Abbildung 1 in Kapitel 3 visualisiert, wobei der degressive Verlauf deutlich wird, der sich insbesondere bei Schwimmbädern mit höheren Wasserflächen zeigt.

Beide Berechnungsmethoden (einfache Hochrechnung und Modellhochrechnung) wurden genutzt, um den Energieverbrauch von n = 526 kommunal betriebenen Bädern in der Datenbank „Bäderleben“ zu berechnen, für welche die Wasserflächen bekannt sind. Die Wasserflächen der n = 526 Bäder aus der Datenbank wurden genutzt, da anzunehmen ist, dass diese die Realität der Deutschen Bäderlandschaft besser abbilden, als die Bäder, die durch die Befragung erreicht wurden. Die Verbrauchsdaten, die für diese 526 Bäder berechnet wurden, wurden abschließend verwendet, um den Energieverbrauch für alle n = 1390 kommunal betriebenen Schwimmbäder in der Datenbank hochzurechnen und somit eine Einschätzung des EEV aller Bäder in Deutschland zu erhalten. Abschließend wurden die berechneten Verbrauchsdaten, verglichen mit den Energiebilanzen für Deutschland (AGEB 2023), in Relation zum EEV für ganz Deutschland sowie zum EEV für den Sektor Gewerbe-, Handel- und Dienstleistungen gesetzt, welcher Schwimmbäder beinhaltet.

⁷ Degressiver Verlauf meint hier eine abnehmende Steigung des Energieverbrauchs mit zunehmender Wasserfläche. Initial zeigt sich somit ein recht steiler Anstieg des Verbrauchs, der mit zunehmender Wasserfläche abnimmt. Der Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und Wasserfläche, der sich in den erhobenen Daten zeigte, ist somit besser durch eine Wurzelfunktion abgebildet, als durch eine lineare Funktion.

3 Ergebnisse

Die Online-Umfrage wurde insgesamt von n = 570 Personen aufgerufen. Davon füllten n = 387 die Befragung teilweise und n = 183 vollständig⁸ aus. Aufgrund der Notwendigkeit einer umfangreichen Plausibilisierung, Bereinigung und Aufbereitung der Daten (siehe Kapitel 2), reduzierte sich die für die nachfolgende Ergebnisdarstellung nutzbare Stichprobe auf n = 67 vollständige Datensätze. Berücksichtigt wurden ausschließlich vollständige Datensätze, die als plausibel und geeignet für die nachfolgend berichteten Hochrechnungen angesehen wurden und die vollständigen Angaben zur Wasserfläche sowie zum Wärme- und Stromverbrauch enthalten. Trotz der Reduktion der Stichprobe kann aufgrund der sorgfältigen Plausibilisierung, Bereinigung und Aufbereitung der Daten dennoch von einer plausiblen und repräsentativen Datengrundlage ausgegangen werden.

Nachfolgende Tabelle 1 stellt die Ergebnisse des Wärme-, Strom- und den Gesamtverbrauchs⁹ der Befragten n = 67 Schwimmbäder dar. Die abgefragten Daten der Jahre 2019 und 2022 wurden dabei zusammengefasst. Falls Angaben für beide Erhebungsjahre 2019 und 2022 gemacht wurden, wurde der Verbrauch von 2022 in der Auswertung betrachtet. Falls ausschließlich Angaben für eines der beiden Erhebungsjahre 2019 oder 2022 gemacht wurden, wurden die vorhandenen Angaben in der Datenauswertung berücksichtigt. Diese Zusammenfassung wurde vorgenommen, um mehr Daten für die Auswertung zur Verfügung zu haben. Nennenswerte Unterschiede in den Verbrauchsdaten zwischen 2019 und 2022 konnten zudem nicht identifiziert werden, eine jahresbezogene Auswertung ist somit nicht notwendig. Darüber hinaus konnten keine berichtenswerten Unterschiede zwischen Hallen- und Kombibädern festgestellt werden, weshalb diese im Zuge der Auswertung gemeinsam betrachtet werden.¹⁰

Tabelle 1: Wärme-, Strom- und Gesamtenergieverbrauch in GWh der befragten kommunalen Hallen- und Kombibäder (n = 67).

	Wärme (GWh)	Strom (GWh)	Gesamt (GWh)
MW	1,21	0,36	1,57
SD	0,72	0,23	0,88
Median	1,01	0,30	1,35
Min	0,17	0,07	0,24
Max	3,11	1,09	3,77

Max = Maximum; Min = Minimum; MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung

Deutlich wird dabei, dass, erwartungsgemäß, deutlich mehr Energie für die Wärmeerzeugung in Schwimmbädern genutzt wird. Im Schnitt ist der Wärmeverbrauch knapp über ein Vierfaches größer, als der Stromverbrauch.

⁸ Vollständig meint hier, dass die letzte Seite des Fragebogens erreicht, alle Pflichtfelder ausgefüllt und der Fragebogen abgeschickt wurde.

⁹ Gemeint ist hier der gesamte Verbrauch für Wärme und Strom eines Schwimmbads. Der Gesamtenergieverbrauch wurde über die Summe aus dem Wärme- und Stromverbrauch eines Schwimmbads berechnet. Aufgrund des geringen Rücklaufs war es nicht möglich, den Wärmeverbrauch für die Warmwasseraufbereitung differenziert darzustellen und zu quantifizieren.

¹⁰ Dies könnte jedoch damit zusammenhängen, dass, im Vergleich zu Hallenbädern, nur wenige Kombibäder auf die Befragung geantwortet haben.

Als Energieeffizienzindikator für die Schwimmbäder wurde der Wärme-, Strom- und Gesamtenergieverbrauch pro m² Wasserfläche der beheizten Becken berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt, wobei die Angaben zum Energieverbrauch hier in kWh/m² aufgeführt sind.

Tabelle 2: Die Wasserfläche sowie der Wärme-, Strom- und Gesamtenergieverbrauch in kWh/m² der befragten kommunalen Hallen- und Kombibäder (n = 67).

	Wasserfläche (m ²)	Wärme (kWh/m ²)	Strom (kWh/m ²)	Gesamt (kWh/m ²)
MW	604,22	2243,68	661,04	2904,72
SD	401,69	661,04	309,25	1212,42
Median	452,25	2013,60	631,23	2704,20
Min	134	513,04	185,46	792,54
Max	1814	5057,61	1927,34	5883,69

Max = Maximum; Min = Minimum; MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung

Die Verbrauchsdaten pro m² Wasserfläche wurden anschließend im Rahmen der „einfachen Hochrechnung“ genutzt, um den Energieverbrauch der n = 1390 kommunal betriebenen Hallen- und Kombibäder in der Datenbank „Bäderleben“ zu berechnen. Darüber hinaus wurden Hochrechnungen über unterschiedliche Modelle („Modellhochrechnung“) durchgeführt, welche den Zusammenhang zwischen dem Energieverbrauch und der Wasserfläche eines Schwimmbads plausibler abbilden (für eine ausführliche Erläuterung und Begründung der Methode siehe Kapitel 2.3). Die Verteilung der für die Hochrechnung genutzten n = 526 kommunal betriebenen Hallen- und Kombibäder, die Angaben zur Wasserfläche in der Datenbank Bäderleben enthalten, sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: Die Wasserfläche der kommunal betriebenen Hallen- und Kombibäder aus der Datenbank Bäderleben (n = 526).

	MW	SD	Median	Min	Max
Wasserfläche in m²	524,65	554,42	372,00	40,00	4954,40

Max = Maximum; Min = Minimum; MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung

Hervorzuheben ist, dass die Standardabweichung etwas über dem Mittelwert liegt. Dies hängt damit zusammen, dass in der Datenbank Bäderleben (und somit in Deutschland) eine gewisse Anzahl an hinsichtlich der Größe vom Mittelwert stark nach oben abweichenden Schwimmbädern existieren.¹¹ Folglich ist auch eine große Streuung der Wasserflächen vorzufinden. Im Vergleich zur Verteilung der Wasserfläche in den im Rahmen der Befragung erhobenen Daten (siehe Tabelle 2) wird deutlich, dass im Durchschnitt die Datenbank Bäderleben Schwimmbäder mit geringeren Wasserflächen enthält, die Streuung der Wasserfläche jedoch höher ausfällt.¹² Die für die Hochrechnungen genutzten Mittelwerte und die 95%-Konfidenzintervalle der berechneten Energieverbrauchsdaten sowie die Ergebnisse der

¹¹ Diese wurden im Rahmen der Hochrechnungen nicht ausgeschlossen, da es sich durchaus um reale Daten zur Wasserfläche handelt.

¹² Dies ist plausibel, da größere Bäder vermeintlich mehr Personal haben und ggf. aus diesem Grund auch mehr Kapazitäten, auf eine derart komplexe Befragung zu antworten.

Hochrechnungen, die auf den in Tabelle 3 aufgeführten Daten zur Wasserfläche basieren, sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Statistische Kennwerte für die Hochrechnungen sowie die Ergebnisse der Hochrechnungen des Wärme-, Strom- und Gesamtenergieverbrauchs in GWh für alle kommunal betriebenen Hallen- und Kombibäder in Deutschland. (n = 1390)

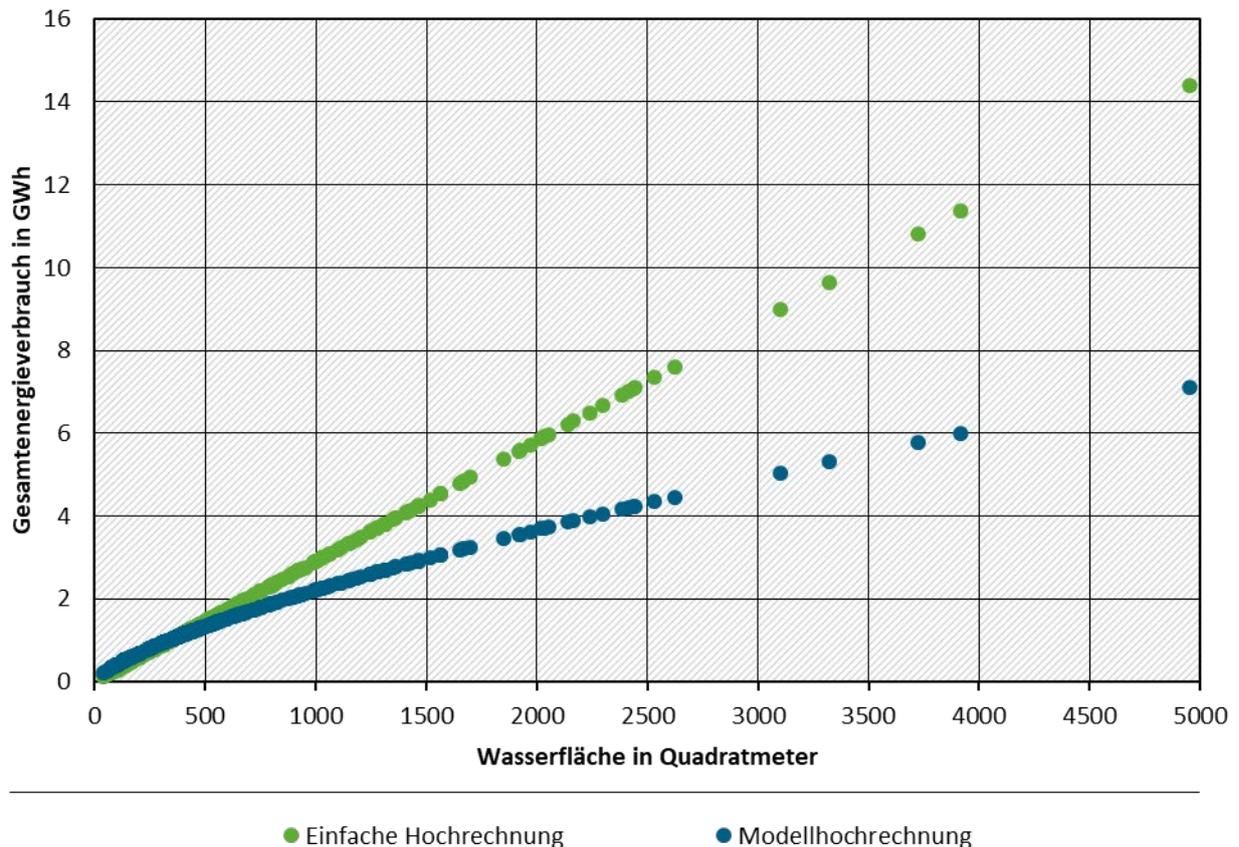
		Wärme (GWh)	Strom (GWh)	Gesamt (GWh)
	MW	1,18	0,35	1,52
	SD	1,24	0,37	1,61
95% Konfidenzintervall	UG	1,07	0,32	1,39
	OG	1,28	0,38	1,66
Ergebnis Einfache Hochrechnung		1636,22	482,07	2118,29
	MW	0,96	0,29	1,29
	SD	0,67	0,19	0,89
95% Konfidenzintervall	UG	0,91	0,27	1,21
	OG	1,02	0,30	1,37
Ergebnis Modellhochrechnung		1339,93	396,28	1791,40

MW = Mittelwert; OG = obere Grenze des 95% Konfidenzintervalls; SD = Standardabweichung; UG = untere Grenze des 95% Konfidenzintervalls; Die Ergebnisse der Hochrechnungen zeigen den Energieverbrauch aller n = 1390 kommunal betriebenen Hallen- und Kombibäder in Deutschland, die in Bäderleben hinterlegt sind. Hierfür wurden die dargestellten Mittelwerte mit 1390 multipliziert.

Die Ergebnisse zeigen, dass die durchschnittlichen und hochgerechneten Energieverbräuche der über die Modellgleichungen ermittelten Verbrauchsdaten geringer ausfallen, als die einfachen Hochrechnungen über die Verbräuche pro m² Wasserfläche. Dies bedeutet, dass über die Modellhochrechnungen ein geringerer EEV ermittelt wird, als über die einfache Hochrechnung. Dies ist darin zu begründen, dass die Modellhochrechnungen den plausibel anzunehmenden degressiven Verlauf des Energieverbrauchs mit zunehmender Wasserfläche miteinbeziehen und dadurch in Summe ein geringerer Wärme-, Strom- und Gesamtverbrauch für alle n = 1390 kommunal betriebenen Hallen- und Kombibäder geschätzt wird. Dies wird in Abbildung 1 hervorgehoben.¹³

¹³ Dargestellt ist hierbei lediglich der Zusammenhang zwischen der Wasserfläche und dem Gesamtenergieverbrauch. Der Verlauf der Hochrechnungen für den Wärme- und Stromenergieverbrauch ist jedoch identisch.

Abbildung 1: Streudiagramm des Zusammenhangs des Gesamtenergieverbrauchs und der Wasserfläche der Einfachen Hochrechnung und der Modellhochrechnung.



Insbesondere für Schwimmbäder mit größeren Wasserflächen sind die Ergebnisse der Modellhochrechnungen zum Energieverbrauch deutlich geringer, als unter Annahme eines linearen Anstiegs des Verbrauchs mit zunehmender Wasserfläche. Im Rahmen des Projekts wird ein Verbrauch im Bereich zwischen den Ergebnissen der beiden Hochrechnungen für den Gesamtverbrauch (siehe Tabelle 4) als Schätzung für den EEV aller kommunal betriebenen Hallen- und Kombibäder in Deutschland herangezogen. Im Ergebnis bedeutet dies, dass die $n = 1390$ kommunal betriebenen Hallen- und Kombibäder in Deutschland

- ▶ 0,55-0,65% des EEV im Sektor Gewerbe-, Handel- und Dienstleistungen in Deutschland (dieser beträgt $1168 \text{ PJ} = 324,44 \text{ TWh}$ für das Jahr 2022, siehe AGE, 2023), und
- ▶ 0,08-0,09% des EEV für Deutschland über alle Sektoren (dieser beträgt $8525 \text{ PJ} = 2368,06 \text{ TWh}$ für das Jahr 2022, siehe AGE, 2023) ausmachen.

Zusätzlich kann konstatiert werden, dass der Großteil der $n = 67$ betrachteten Schwimmbäder Erd-/Flüssiggas (53,7%) und Fernwärme (44,8%) für das Betreiben nutzt (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Genutzte Energieträger für das Betreiben der kommunalen Hallen- und Kombibäder (n = 67).

Energieträger	Antworten	% der Schwimmbäder
Gas (Erdgas, Flüssiggas)	36	53,7%
Fernwärme	30	44,8%
Erneuerbare Energien	5	7,5%
Biogas	2	3,0%
Kohle	-	-
Mineralöl	-	-

Lediglich 7,5% der betrachteten Schwimmbäder gaben an, erneuerbare Energien zu nutzen; dies erscheint vor dem Hintergrund der aktuellen Relevanz dieser Thematik sehr niedrig. Interessant ist jedoch, dass 76,2% von n = 21 der Schwimmbäder (Ergebnis nicht dargestellt in Tabelle 5), die damit planen, in Zukunft auf einen neuen Energieträger umzusteigen, Erneuerbare Energien angaben. Die Bereitschaft zu einer Nutzung Erneuerbarer Energien ist somit bei den Betreibern durchaus vorhanden. Angaben zur Nutzung von Biogas wurden von 3,0% der Befragten gemacht und keine Befragten der betrachteten Stichprobe gaben an, Kohle oder Mineralöl zu nutzen.

4 Zusammenfassung und Limitationen

Im Rahmen des Projekts konnte erstmalig eine umfangreiche Befragung der kommunal betriebenen Hallen- und Kombibäder in Deutschland zum Thema Energieverbrauch initiiert werden, ermöglicht durch die Datenbank „Bäderleben“ der Hochschule Koblenz.¹⁴ Projektziele 3 und 4 konnten vollumfänglich erreicht werden. Die Hochrechnungen des EEV aus der im Rahmen des Projekts betrachteten Stichprobe auf alle $n = 1390$ kommunal betriebenen Hallen- und Kombibäder ergaben hinsichtlich des EEV für Deutschland, angelehnt an die Energiebilanzen für Deutschland aus dem Jahr 2022 (AGEB, 2023), einen Anteil zwischen 0,08 und 0,09%; speziell für den Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen von 0,55-0,65%. Zudem können die ermittelten Energieverbrauchsdaten pro m^2 Wasserfläche als Energieeffizienzindikator für den Verbrauch eines durchschnittlichen Schwimmbads genutzt werden und als Orientierungswerte für Betreiber dienen.

Anzumerken ist, dass keine Vollerhebung aller kommunalen Bäder realisiert und nicht alle Projektziele vollumfänglich erreicht werden konnten. So ist es nicht gelungen, eine präzise Differenzierung und Quantifizierung des EEV nach Energieträgern vorzunehmen (Projektziel 1). Zudem ist es nicht gelungen, den EEV speziell für Warmwasser darzustellen (Projektziel 2). Daten zum Gesamtwärmeverbrauch konnten ausgewertet werden, dieser kann jedoch auch z. B. das Beheizen der Raumluft umfassen. Dennoch konnte ein starker und signifikanter Zusammenhang zwischen der Wasserfläche der beheizten Becken und dem Wärmeenergieverbrauch (sowie dem Stromverbrauch) ermittelt werden, weshalb der Gesamtwärmeverbrauch als Indikator für die Einschätzung der Energiebelastung für die Warmwasseraufbereitung geeignet ist. Die geringe Anzahl an Angaben für den Verbrauch differenziert nach Energieträgern sowie für Warmwasser könnte damit zusammenhängen, dass die Befragten zum Großteil keine Aussagen hierzu treffen konnten, da die notwendigen Daten überhaupt nicht oder nicht unmittelbar zur Verfügung gestellt werden konnten.

Im Rahmen des Projekts hat sich ebenfalls gezeigt, dass Energieausweise für Nicht-Wohngebäude nicht flächendeckend von Schwimmbädern bzw. deren Betreibern genutzt werden und die Energieverbrauchsdaten zum Großteil aus anderen Unterlagen entnommen wurden. Eine flächendeckende Nutzung dieser Ausweise könnte diese Datenlücken schließen, was zusätzlich förderlich für zukünftige Forschungsprojekte wäre, die derartig groß angelegte Befragungen zum Thema Energieverbrauch durchführen möchten. Energieausweise für Nicht-Wohngebäude müssen in Deutschland bei der zentralen GEG-Registrierstelle des Deutschen Instituts für Bautechnik in Berlin (DIBt, o. D.) registriert werden. Eine Anfrage zu den Daten der Energieausweise seitens der Hochschule Koblenz zeigte jedoch, dass zwar ausgestellte Energieausweise angemeldet und mit einer Registriernummer versehen werden, dabei aber keine Energieverbrauchsdaten oder z. B. Informationen zu Energieträgern übermittelt werden, sondern ausschließlich die Daten gemäß § 98 GEG (Gebäudeenergiegesetz). Eine Nutzung der Daten für Forschungsprojekte dieser Art ist ebenfalls nicht vorgesehen. Eine zentrale Datenbank für Deutschland, die, möglicherweise auch anonymisiert, ebenfalls relevante Energiedaten der Ausweise erfasst, könnte die bestehenden Datenlücken somit über einem anderen Weg schließen und die Forschung in diesem Bereich maßgeblich vorantreiben, da nicht zwangsläufig umfangreiche und komplex auszufüllende Befragungen durchgeführt werden müssten.

Die Limitationen der berichtet Ergebnisse des Projekts, welche bei der Interpretation zu berücksichtigen sind, lassen sich in drei zentralen Punkten zusammenfassen:

¹⁴ Obgleich die Datenbank (noch) nicht vollständig ist, konnte erstmalig eine umfangreiche Befragung der kommunal betriebenen Hallen- und Kombibäder in Deutschland zum Thema Energieverbrauch durchgeführt werden, was aus Sicht der Hochschule Koblenz als sehr positiv zu bewerten ist.

1. Limitationen hinsichtlich der Plausibilität in den erhobenen Rohdaten:

Zunächst gilt es mögliche Limitationen in den erhobenen Energieverbrauchsdaten in Betracht zu ziehen, welche zu Verzerrungen in den Daten führen könnten, post hoc jedoch nicht feststellbar sind. Zwar wurde diesen aus wissenschaftlicher Sicht mit einer sehr umfangreichen Datenplausibilisierung und -bereinigung auf Ebene der einzelnen Schwimmbäder, unter Hinzunahme der erhobenen Hilfsmerkmale (z. B. Wasserflächen, Öffnungstage, aber auch Angaben in den Freitextfeldern), begegnet (siehe Kapitel 2), dennoch kann die Vergleichbarkeit nicht vollständig garantiert werden. So ist es z. B. möglich, dass einzelne Befragte nicht den Energieverbrauch für das gesamte abgefragte Kalenderjahr angegeben haben, da die vorliegenden Unterlagen nur einen Teil des Zeitraums abdeckten. Darüber hinaus wurden im Rahmen der Befragung keine präzisen Indikatoren zur Betriebsdauer der beheizten Becken oder sonstigen Indikatoren zum Nutzungsverhalten (z. B. Besucherzahlen) in den abgefragten Jahren erhoben. Zudem wurden keine Beckentypen berücksichtigt, sondern lediglich die Wasserfläche der beheizten Becken abgefragt. Da Beckentemperaturen je nach Beckentyp variieren (Schwimmerbecken sind bspw. deutlich kälter, als Warmsprudelbecken), ist es möglich, dass, hinsichtlich der Wasserfläche gleich große Schwimmbäder, deutliche Unterschiede im Wärmeverbrauch aufweisen. Grundsätzlich besteht eine Limitation darin, dass die befragten Bäder nicht explizit mit den Angaben in der Datenbank Bäderleben gematcht werden konnten, da es sich um eine anonyme Befragung handelte. Eine Identifikation der Bäder und somit eine Betrachtung der anderen Strukturmerkmale, die in Bäderleben zu jedem Bad hinterlegt sind, hätte ggf. zu aufschlussreicheren Ergebnissen führen können. Etwa hätte eine umfangreichere Validierung der Berechnungsmethoden für die Hochrechnungen durchgeführt werden können, da Vergleiche zwischen berechneten und empirisch erhobenen Werten hätte erfolgen können. Die unter Punkt 1. aufgeführten Limitationen sind maßgeblich auf die Komplexitätsreduktion im Rahmen der Erstellung des Fragebogens zurückzuführen, wodurch die Hürden zum Beantworten der Befragung reduziert und ein möglichst hoher Rücklauf garantieren werden sollte.

2. Unsicherheiten hinsichtlich der für die Hochrechnungen genutzten Funktionsgleichungen:

Zu beachten gilt es, dass die im Rahmen der Hochrechnungen genutzten Funktionsgleichungen auf den erhobenen Rohdaten basieren und insofern mögliche Verzerrungen in den Ursprungsdaten auch in den hochgerechneten Daten zu finden wären. Dennoch kann konstatiert werden, dass die genutzten Modelle aus wissenschaftlicher Perspektive den Zusammenhang zwischen der Wasserfläche und den erhobenen Energieverbrauchsdaten plausibel abbilden und für die hier durchgeführten Hochrechnungen, bei denen es insbesondere um die Berücksichtigung des degressiven Verlaufs des Energieverbrauchs mit zunehmender Wasserfläche ging, geeignet sind.

3. Die möglichen Verzerrungen der Hochrechnung der Energieverbrauchsdaten für die n = 864 kommunalen Hallen- und Kombibäder, für die über die Datenbank Bäderleben keine Wasserfläche ermittelt werden konnte:

Es konnten lediglich für n = 526 kommunale Hallen- und Kombibäder in der Datenbank Bäderleben der Energieverbrauch berechnet werden, da nur für diese auch die Wasserfläche bekannt war. Somit besteht eine weitere Unsicherheit in der Hochrechnung des Energieverbrauchs für die Bäder mit unbekannter Wasserfläche. Dennoch kann angenommen werden, dass die n = 864 Bäder eine ähnliche Verteilung der Wasserfläche aufweisen, wie die der bekannten Stichprobe, da die Beckenanzahl beider Stichproben, welche für n = 1388 von 1390 Bäder vorliegen, im Durchschnitt fast identisch ist. Insofern ist es plausibel, die

Wasserflächen der n = 526 bekannten Bäder als repräsentativ für die auf den Wasserflächen basierenden Schätzungen des EEV für alle kommunal betriebenen Schwimmbäder anzunehmen.

Abschließend ist anzumerken, dass für die Beantwortung einer komplexen Befragung dieser Art die notwendigen personellen Ressourcen sowie eine gewisse Expertise auf Seiten der Befragten vorhanden sein muss. Das Projekt hat gezeigt, dass Betreiber durchaus dazu bereit sind und auch das Interesse und die Motivation dazu besitzen, an derartigen Befragungen teilzunehmen.¹⁵ Auch die erstmalige und erfolgreiche Nutzung einer Datenbank wie „Bäderleben“ im Rahmen des Projekts ist hinsichtlich der zukünftigen Forschung in diesem Bereich als sehr positiv zu bewerten. Dieses Kurzgutachten lenkt den Blick noch einmal nachdrücklich auf die Relevanz des Themas „Energieverbrauch von Schwimmbädern“ und soll dazu beitragen, die für eine Senkung des Energieverbrauchs notwendige öffentliche Aufmerksamkeit zu erzeugen.

¹⁵ Dies zeigte sich ebenfalls in den Rückmeldungen und Rückfragen der Befragten während des Befragungszeitraums.

5 Quellenverzeichnis

AGEB. (2023): Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland: Daten für die Jahre von 1990 bis 2022. https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2023/10/awt_2022_deutsch.pdf (28.02.2024)

DIBt. (o.D.). GEG-Registrierstelle. <https://www.dibt.de/de/wir-bieten/geg-registrierstelle> (22.03.2024)

Rohde, C., Arnold-Keifer, S., Hirzel, S., Schlomann, B., Brugger, H. & Reinfandt, N. (2022): Erhebung des Endenergieverbrauchs im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD).: Endbericht mit Sonderauswertung Digitalisierung. <https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2023/06/Endbericht-Energieverbrauch-GHD-Befragung-2019.pdf> (28.02.2024)

VDI 3807 Blatt 2: 2014-11. Verbrauchskennwerte für Gebäude: Verbrauchskennwerte für Heizenergie, Strom und Wasser (Characteristic consumption values for buildings: Characteristic heating-energy, electrical-energy and water consumption values). Berlin: Beuth Verlag.