

Vom Sanierungsstau zur Offensive: Die Sanierung von Sporthallen als Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele in Deutschland

Simone Antonia Magdolen

Vollständiger Abdruck der von der TUM School of Engineering and Design
der Technischen Universität München zur Erlangung einer
Doktorin der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)
genehmigten Dissertation.

Vorsitz: Prof. Dipl.-Ing. Thomas Auer

Prüfende der Dissertation:

1. Prof. Dr.-Ing. Werner Lang
2. Prof. Dr.-Ing. Natalie Eßig

Die Dissertation wurde am 20.01.2025 bei der Technischen Universität München eingereicht
und durch die TUM School of Engineering and Design am 13.05.2025 angenommen.

Kurzfassung

Der Sport nimmt eine bedeutende Rolle in unserer Gesellschaft ein und beeinflusst zahlreiche Bereiche des sozialen Lebens. Dabei ist das Ausüben von sportlicher Aktivität weitgehend an Sportstätten gebunden. Als zentrale Einrichtungen der Daseinsfürsorge bieten Sportstätten Menschen jeden Alters die Möglichkeit, sich sportlich zu betätigen und ihre Gesundheit zu fördern. Allerdings ist ihr Betrieb mit erheblichen Umweltbelastungen verbunden. Sporthallen, die zu den gedeckten, regelgerechten Sportanlagen zählen, sind die in Deutschland am häufigsten vorkommende Sportstätte und stehen im Fokus der vorliegenden Arbeit. Über die Hälfte der Sporthallen in Deutschland ist mittlerweile über 50 Jahre alt und weist einen erheblichen Sanierungsbedarf auf. Gleichzeitig ist im Bereich der Sportstätten ein akuter Sanierungsstau zu verzeichnen, den es durch geeignete Sanierungsmaßnahmen abzubauen gilt.

Vor diesem Hintergrund analysiert die vorliegende Arbeit den Gebäudebestand an Sporthallen in Deutschland und deren Potenziale zur Energieeinsparung im Rahmen der Sanierung. Der Fokus liegt auf Fallbeispielen der Landeshauptstadt München. Wesentliches Ziel der Arbeit ist es, den energetischen Zustand des Sporthallenbestands in Deutschland zu beschreiben und darauf aufbauend den Beitrag der Sanierung der Sporthallen zur Erreichung der deutschen Klimaziele zu verdeutlichen.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird zum einen eine Clusterung von Sporthallen nach Baualtersklassen entwickelt, die den Sporthallenbestand in Deutschland beschreibt. Basis hierfür sind Eigenschaften von Sporthallen in Abhängigkeit des Baualters, insbesondere energetische. Zum anderen zielt die Arbeit darauf ab, das Sanierungspotenzial von Sporthallen verschiedener Baualtersklassen aufzuzeigen. Anhand der Analyse von sechs konkreten Fallbeispielen werden die ökologischen Auswirkungen der Sanierung durch eine Ökobilanzierung ermittelt und diese denen eines Ersatzneubaus gegenübergestellt.

Die Ergebnisse weisen ein hohes Sanierungspotenzial im Bereich des Sporthallenbestands nach. Mit der energetischen Sanierung lassen sich die Treibhausgasemissionen, die der Betrieb der Sporthallen verursacht, erheblich reduzieren, selbst unter Berücksichtigung des Ressourcenaufwands für die Herstellung der für die Sanierung aufzubringenden Bauteile. Zudem ist aus ökologischer Sicht eine energetische Sanierung einem Gebäudeabriss mit Ersatzneubau vorzuziehen.

Abstract

Sport plays a significant role in our society and influences many areas of social life. Engaging in physical activity is largely tied to sports facilities. As central institutions in public services, sports facilities provide people of all ages with the opportunity to participate in sports and promote their health. However, their operation is associated with substantial environmental impacts. Sports halls, which belong to the category of covered, regulation-compliant sports facilities, represent the most common type of sports venue in Germany and are the focus of this study. Over half of the sports halls in Germany are over 50 years old and have a significant need for renovation. Currently, there is an accumulated and acute backlog of necessary renovations in the sports facilities sector, which must be addressed through appropriate measures.

In this context, the study analyses the stock of sports halls in Germany and their potential for energy savings through renovation, with a focus on case studies from the city of Munich. The aim of the study is to evaluate the energy performance of sports halls in Germany and demonstrate how renovations of these halls can contribute to achieving Germany's climate goals.

First, a classification of sports halls by defined construction age classes is developed to describe the sports hall stock in Germany. The basis for this classification is the characteristics of sports halls, particularly energy-related aspects, depending on the year of construction. Second, the study explores the renovation potential of sports halls from different construction age classes. Through the analysis of six specific case studies, the ecological impacts of renovations are assessed via a life cycle assessment and compared with those of complete demolition and new construction.

The results show a high potential for renovation within Germany's sports halls. Energy-related renovations can significantly reduce greenhouse gas emissions caused by the operation of sports halls, even when considering the resource consumption required for producing the building components needed for the renovation. Moreover, from an ecological perspective, an energy-efficient renovation is preferable to demolishing a building and constructing a new one.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin der Hochschule München am Fachgebiet Baukonstruktion und Bauklimatik der Fakultät Architektur und kooperativen Graduiertenkolleg Gebäudetechnik & Energieeffizienz (KGK.), fortgeführt durch das Forschungsinstitut für energieeffiziente Gebäude und Quartiere (CENERGIE). Ab 2019 wurde die Arbeit neben meiner Tätigkeit als Klimaschutzmanagerin am Referat für Bildung und Sport der Landeshauptstadt München weitergeführt.

Mein Dank gilt all den Personen, die mich über die Jahre beim Verfassen dieser Dissertation fachlich, organisatorisch und moralisch unterstützt haben.

Allen voran möchte ich mich bei meinen Betreuer*innen bedanken. Mein Dank gilt besonders Prof. Dr. Natalie Eßig, die meine Arbeit seitens der Hochschule München begleitet hat. Sie gab mir immer wieder wertvolle Denkanstöße, stand beratend zur Seite und ließ mich an ihrem breiten Netzwerk im Bereich Sportstätteninfrastruktur teilhaben. Herzlicher Dank gilt auch meinem Doktorvater Prof. Dr. Werner Lang, der die Erstbetreuung an der Technischen Universität übernommen hat. Der Austausch und die lebhaften Diskussionen mit ihm ebenso wie mit den Mitarbeiter*innen des Lehrstuhls für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen im Rahmen der Doktorandenseminare war für meine Arbeit sehr bereichernd. Auch gilt mein Dank Karin Schwarz-Viechtbauer, die mich als Mentorin mit Ihrem breiten Erfahrungsschatz im Sportstättenbau unterstützt hat.

Darüber hinaus möchte ich meinen ehemaligen Kommiliton*innen und Kolleg*innen an der Hochschule München und Technischen Universität München meinen Dank aussprechen. Ein besonderes Dankeschön geht an Caroline Martner, Dr. Sara Lindner und Franziska Pichlmeier. Unser kontinuierlicher fachlicher Austausch hat mir geholfen, meine Gedankenstränge zu sortieren und mich immer wieder aufs Neue motiviert.

Bedanken möchte ich mich auch bei der Landeshauptstadt München für die Möglichkeit, Gebäudedaten aus der Praxis für die Arbeit zu nutzen. Dank gilt den Kolleg*innen, die für Austausch zur Verfügung standen und auch bei der Datenrecherche behilflich waren. Auch die Möglichkeit, meine Arbeitszeit bei der Landeshauptstadt München flexibel zu planen, hat zur erfolgreichen Fertigstellung vorliegender Arbeit beigetragen.

Nicht genug danken kann ich meinen Freund*innen und meiner Familie, die mir während der Dissertation den nötigen Halt gegeben haben. Ohne deren Verständnis, Motivation und Wertschätzung hätte ich es nicht so weit gebracht. Hervorzuheben sind auch die fleißigen Korrekturleser*innen, die auf der Zielgeraden eine große Unterstützung waren.

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG	1
1.1. Bedeutung von Sportstätten.....	1
1.2. Forschungsgegenstand und Begriffsklärung	3
1.3. Ausgangsbedingungen und Potenziale	8
1.4. Zielsetzung der Arbeit.....	11
1.5. Forschungsthesisen und Fragestellungen	12
1.6. Stand der Praxis und der Forschung.....	12
1.7. Methodik und Vorgehensweise	14
1.8. Abgrenzung der Arbeit.....	17
2. ENTWICKLUNG EINER SPORTHALLENTYPOLOGIE NACH BAUALTER.....	18
2.1. Bautypologische Clusterung	18
2.1.1. Bestehende Gebäudetypologien und Entwicklung der Anforderungen an den Wärmeschutz	18
2.1.2. Ableitung einer bautypologischen Clusterung	21
2.2. Sporthallenspezifische Merkmale	22
2.2.1. Verteilung nach Baujahr und Zustand	24
2.2.2. Größe	29
2.2.3. Eigentümerstruktur	33
2.2.4. Auslastung und Nutzungszeiten	34
2.2.5. Sportarten	36
2.2.6. Raumprogramm.....	37
2.2.7. Kubatur	40
2.2.8. Weitere energetische Charakteristika.....	43
2.2.9. Sportfunktionale Einbauten	47
2.3. Zusammenfassung und Ergänzung der bautypologischen Clusterung von Sporthallen mit sporthallenspezifischen Merkmale	49
3. UNTERSUCHUNG DES SANIERUNGSPOTENZIALS VON SPORTHALLEN ANHAND EINER FALLSTUDIE	52
3.1. Datengrundlage und Methodik	52

3.1.1.	Fallbeispiele	52
3.1.2.	Bestandsaufnahme	55
3.1.3.	Energetische Bilanzierung nach DIN 18599	57
3.1.4.	Ökobilanzierung	58
3.1.5.	Sanierung	64
3.1.6.	Neubau	68
3.1.7.	Sportfunktionale Einbauten	69
3.1.8.	Beobachtungen und Einordnung der Methodik	72
3.2.	Ergebnisse der Fallstudie	75
3.2.1.	Allgemein	75
3.2.2.	Betrieb	75
3.2.3.	Baukonstruktion und TGA-Ausstattung	79
3.2.4.	Sportfunktionale Einbauten	86
3.2.5.	Gesamtbetrachtung	88
3.2.6.	Vergleich Sanierung und Neubau	90
3.3.	Ergebnisvergleich mit anderen Publikationen	94
3.4.	Ergänzung der bautypologischen Clusterung von Sporthallen mit Ergebnissen der Fallstudie	96
3.5.	Diskussion und Zusammenfassung der Ergebnisse der Fallstudie	100
4.	ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNG	104
4.1.	Verifizierung der Forschungsthese	104
4.1.1.	Bautypologische Clusterung zur energetischen Bewertung des Sporthallenbestands in Deutschland (Ableitung These 1)	104
4.1.2.	Sanierung von Sporthallen als wichtiger Beitrag zu einem klimaneutralen Gebäudebestand in Deutschland (Ableitung These 2)	106
4.1.3.	Sanierung statt Abriss und Neubau aufgrund niedrigerer ökologischer Auswirkungen (Ableitung These 3)	109
4.2.	Empfehlungen für die Praxis	110
4.3.	Empfehlungen für die Politik	111
4.4.	Empfehlungen für Kommunen	112
4.5.	Relevanz und weiterführender Forschungsbedarf	114
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	117
	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	121

TABELLENVERZEICHNIS	123
LITERATURVERZEICHNIS	125
ANHANG.....	134
A.1 Gebäudesteckbriefe der Fallbeispiele	134
A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante	152
A.3 Sportfunktionale Einbauten.....	221

1. Einleitung

1.1. Bedeutung von Sportstätten

Der Sport nimmt eine bedeutende Rolle in unserer Gesellschaft ein und beeinflusst zahlreiche Bereiche des sozialen Lebens. Sportliche Betätigung zählt zum einen zu den wichtigsten Möglichkeiten, das Immunsystem zu stärken und Krankheiten vorzubeugen. Zum anderen hilft regelmäßiges Sporttreiben auch dabei, Stress abzubauen und das allgemeine Wohlbefinden generell zu steigern. Sport ist daher für viele Menschen ein zentrales Element ihres täglichen Alltags. Durch mehr Freizeit und den Anstieg von Berufen, die überwiegend sitzend ausgeübt werden, wird künftig die Bedeutung des Sports weiter zunehmen (an der Heiden et al., 2012).

Darüber hinaus kommt dem Sport neben dem Selbstzweck der eigenmotorischen Aktivität und Gesundheitsförderung auch besondere Bedeutung bei der Pflege und Förderung von Gemeinschaft und sozialem Miteinander zu (Jägemann & Wohltmann, 2006). In Sportstätten treffen sich Menschen mit unterschiedlichen sozialen und kulturellen Hintergründen, um gemeinsam Sport zu treiben. Dies fördert den Teamgeist, die soziale Integration und das Zusammengehörigkeitsgefühl. Vor dem Hintergrund der COVID-19-Pandemie und dem russischen Angriff auf die Ukraine gaben beispielsweise nach einer Umfrage des Südwestrundfunks aus dem Jahr 2022 76 Prozent der Befragten als wichtigsten Ort für den gesellschaftlichen Zusammenhalt in Deutschland Sportvereine, Kultur- und Freizeiteinrichtungen an (Südwestrundfunk, 2022). Zudem ermöglicht der Sport das Erlernen von sozialen Kompetenzen.

Das Ausüben von sportlicher Aktivität selbst ist weitgehend an Sportstätten (z. B. eine Sporthalle, ein Schwimmbad, ein Tennisplatz, Skilift oder ausgewiesene Wander-, Reit- oder Fahrradwege) gebunden (BMW, 2012). Daher spielen diese Räume, in denen Sport betrieben wird, eine wichtige Rolle sowohl in gesellschaftlicher, wirtschaftlicher als auch ökologischer Hinsicht (Eßig et al., 2015). Sportstätten wie Sporthallen, Sportplätze oder Schwimmbäder werden als Sportstätteninfrastruktur bezeichnet und sind eine der zentralen Ressourcen des Sports. In Deutschland umfasst diese Infrastruktur etwa 225.000 Sportanlagen und rund 310.000 km in Wegeform. Darunter sind Sporthallen mit einer Anzahl von 35.000 bis 40.000 die am häufigsten vorkommende Sportstätte (Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport et al., 2002; Repenning et al., 2023). Die Verteilung der Sportstätten in Deutschland nach deren Anzahl gemäß der letzten Sportstättenstatistik aus dem Jahre 2000 sowie die Ergebnisse einer Befragung von Kommunen aus dem Jahre 2022 ist in Abbildung 1 ersichtlich.

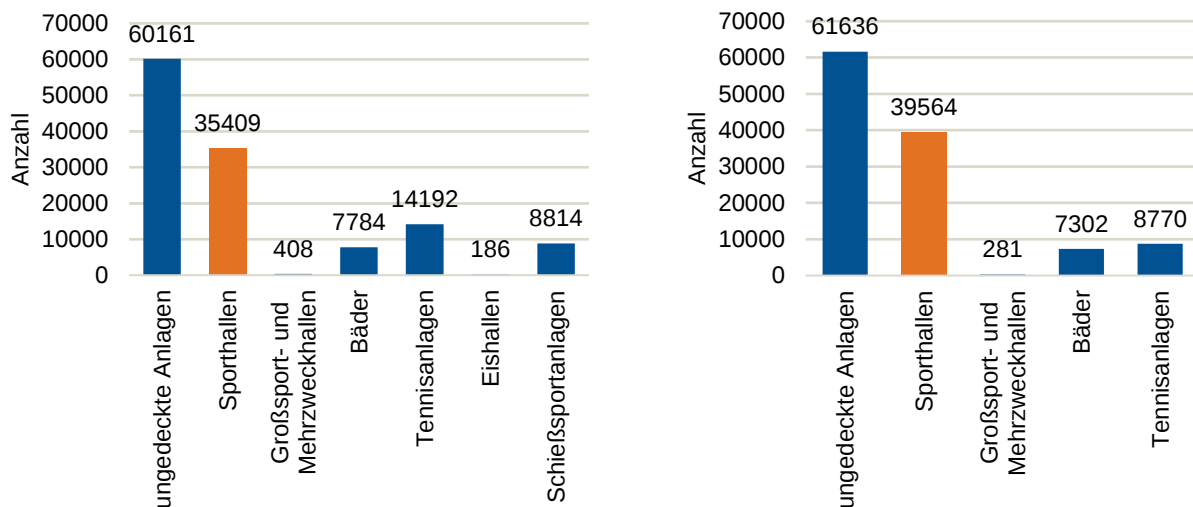


Abbildung 1: Anzahl der erhobenen Sporthallen aus dem Jahr 2000 und 2022 (Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport et al., 2002; Repenning et al., 2023) (eigene Darstellung)

Das Betreiben, Anpassen und bei Bedarf Erweitern der vorhandenen Infrastruktur ist „für jedes Bundesland, jede Kommune, jeden Verein und jeden privaten Träger“ eine wichtige Aufgabe (an der Heiden et al., 2012). Für den Betrieb und die Instandhaltung der Sportstätteninfrastruktur fallen nach Repenning et al., 2023 jährlich 11,3 Milliarden Euro an. Dem Ökoinstitut nach verursacht der Betrieb der Sportstätten in Deutschland für Heizung, Warmwasser und Beleuchtung jährlich Emissionen von rund 7,4 Millionen Tonnen an Treibhausgasen (Bleher, 2016). Das entspricht ca. 1 Prozent der jährlichen CO₂-Emissionen¹ Deutschlands (bezogen auf das Jahr 2022, Umweltbundesamt, 2024b) bzw. ca. 7 Prozent (Umweltbundesamt, 2024a) der Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor (bezogen auf das Jahr 2022, Umweltbundesamt, 2024a). Nach der Studie des Ökoinstituts verteilen sich diese wie in Abbildung 2 dargestellt auf die unterschiedlichen Sportstättentypologien.

¹ Der Begriff beschreibt in der vorliegenden Arbeit neben dem CO₂ auch andere Treibhausgase, die zum sogenannten Treibhauseffekt beitragen und kann mit dem Begriff Treibhausgasemissionen gleichgesetzt werden.

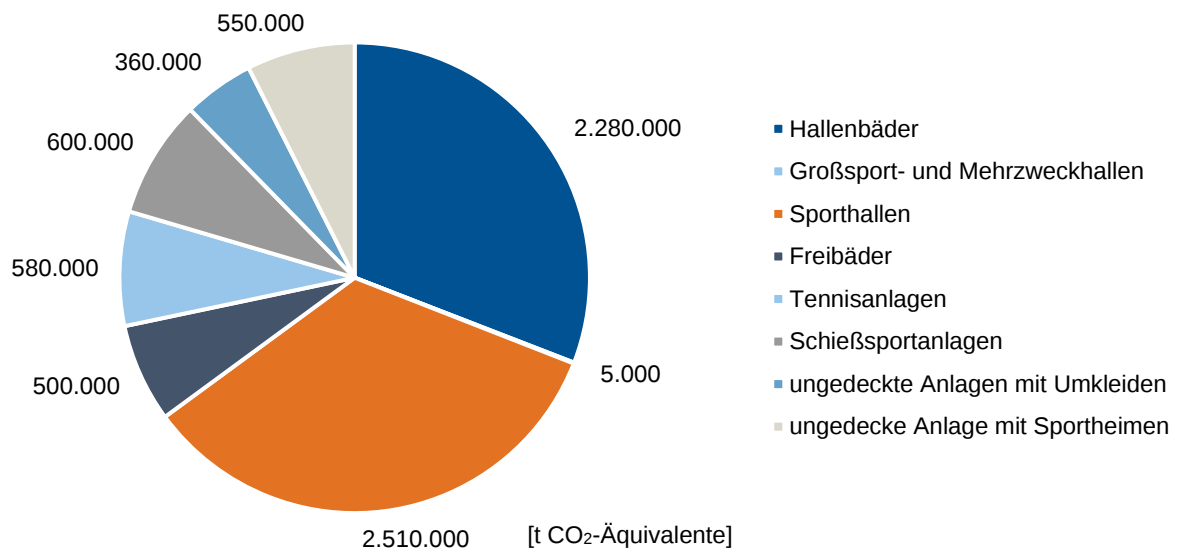


Abbildung 2: Jährliche Treibhausgasemissionen durch den Betrieb deutscher Sportstätten (Darstellung nach Bleher, 2016)

Darüber hinaus kommt der Sportinfrastruktur eine wichtige Vorbildfunktion zu. Sportstätten werden von sämtlichen Altersgruppen genutzt und sind nahezu in jeder Nachbarschaft zu finden. So sollten Sportstätten, die vorwiegend im Eigentum der öffentlichen Hand liegen, ebenso wie sämtliche öffentliche Gebäude als Leuchtturmgebäude für Klimaschutz, Energieeffizienz und erneuerbare Energien dienen und Vorbild sein (vgl. Kenkmann et al., 2017).

Sportstätten erfüllen also nicht nur wichtige gesellschaftliche Funktionen in den Bereichen Gesundheit, Integration und sozialer Zusammenhalt, sie bieten gleichzeitig erhebliches Potenzial für den Klimaschutz.

1.2. Forschungsgegenstand und Begriffsklärung

Sportstätte

Gebäude können nach unterschiedlichen Merkmalen kategorisiert werden. Verschiedene Kriterien hierfür sind zum Beispiel Standort, Größe, Bauform, Baustil, Konstruktion, verwendete Baustoffe, Eigentümer*in, Architekt*in oder auch die Funktion. So sind beispielweise Gebäude mit der Funktion Wohnen den Wohngebäuden oder mit der Funktion Arbeiten den Bürogebäuden zuzuordnen. Vor diesem Hintergrund ist die Sportstätte eine Gebäudeart, der die Funktion Sport zuzuweisen ist. Im Mittelpunkt einer jeden Sportstätte steht das Sporttreiben. Oftmals werden die Anlagen zur sportlichen Betätigung durch Tribünen für Zuschauer*innen ergänzt.

In den Sportwissenschaften ist die Typologisierung von Sportstätten nach Bach weit verbreitet (siehe Abbildung 3), wonach eine Sportstätte sämtliche Räume bzw. Flächen umfasst, in denen

Sport ausgeübt werden kann. In erster Stufe wird zwischen ungedeckten und gedeckten Sportanlagen unterschieden, des Weiteren zwischen explizit für den Sport geschaffenen Sportanlagen sowie Sportgelegenheiten. Zweitere umfassen für andere Zwecke geschaffene oder bestehende Räume bzw. Flächen, die unter anderem auch für den Sport genutzt werden können (z. B. Fabrikhalle, Badensee etc.). Oftmals werden für dieses Unterscheidungsmerkmal auch die Begrifflichkeiten „Sportstätte im engeren Sinn“ und „Sportstätte im weiteren Sinn“ verwendet (Rittner et al., 1989). In dritter Stufe wird zwischen regelgerechten Sportanlagen (z. B. Dreifachturnhalle oder Tennisplatz) und nicht regelgerechten Sportanlagen (z. B. Übungsraum oder Bolzplatz) unterschieden.

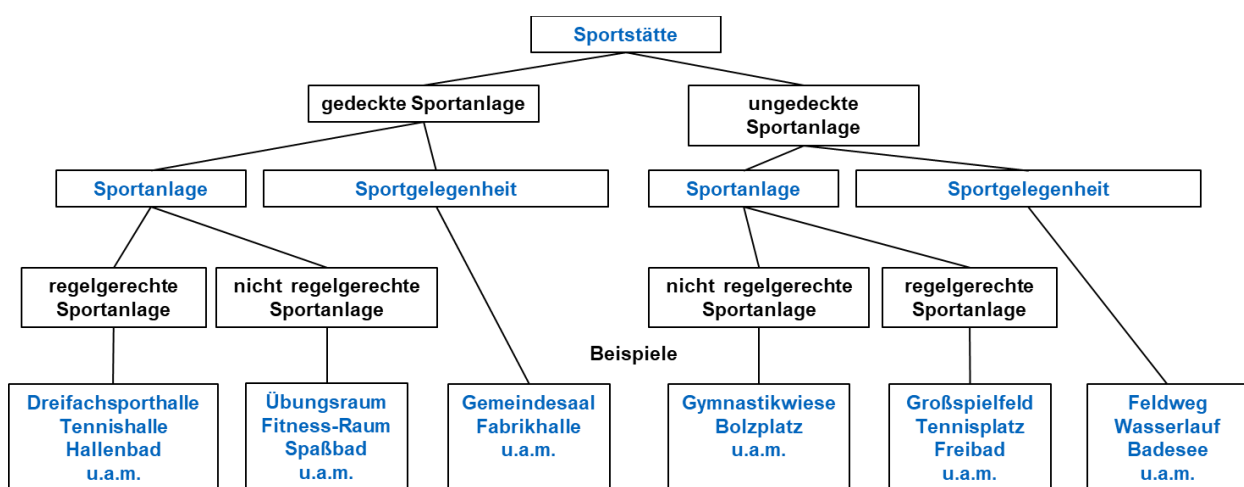


Abbildung 3: Sportstättendefinition nach Bach (Bach & Ziemainz, 2004)

Sporthalle

Den Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit bildet der Gebäudetyp Sporthalle. Die Sporthalle ist ein Bau, der für sportliche Aktivitäten genutzt wird. Dazu zählen Freizeit-, Erholungs- und Profisport sowie Wettkampfbetrieb. Darüber hinaus erfolgt gegebenenfalls auch eine Nutzung für andere Zwecke wie beispielsweise Theater. Dabei zeichnet sich eine Sporthalle durch einen sehr großen Raum aus, der das Zentrum des Gebäudes bildet (Seidl, 2006). Sporthallen sind nach Bach und Ziemainz (2004) den gedeckten, regelgerechten Sportanlagen zugeordnet.

Das zentrale, normative Regelwerk für die Planung von Sporthallen stellt die DIN 18032 „Sporthallen“ dar, zuletzt aktualisiert im Jahr 2014 (DIN 18032-1:2014-11). Nach dieser wird zwischen folgenden drei Typen von Sporthallen unterschieden (DIN 18032-1:2014-11):

- Sporthalle, in der Regel bestehend aus der Halle als größtem Raum, kombiniert mit Sporträumen und Nebenräumen

- Sporthalle mit Mehrzwecknutzung, die durch zusätzliche Ausstattung, zusätzlichen Ausbau und / oder zusätzliche Räume auch für außersportliche Nutzung geeignet ist
- Turnhalle, deren Maße, Ausbau und Ausstattung in Abhängigkeit von den jeweiligen Nutzungsschwerpunkten im Bereich Turnen, Spiele und Gymnastik liegen

Weitere Unterscheidungsmerkmale von Sporthallen sind beispielsweise die Eigentumsverhältnisse und vorwiegende Nutzung. Die Mehrheit der Hallen in Deutschland befindet sich in öffentlicher Hand, meist stehen diese in unmittelbarer Verbindung zu Schulen und sind vorwiegend auf den Schulsport ausgerichtet. Im Vergleich dazu sind durch Vereine betriebene Sporthallen in der Regel stärker auf den organisierten Sport von Vereinen ausgerichtet.

Sporthallen dienen als Raum für eine Vielzahl von Sportarten, von klassischen Disziplinen wie Basketball, Volleyball und Handball bis hin zu variierenden Fitnessangeboten sowohl für das Training als auch für die Durchführung von Wettkämpfen des Breiten- und Spitzensports.

Für die zukünftige Entwicklung von Sportanlagen hat das Bundesinstitut für Sportwissenschaft (BISp) im Rahmen des Forschungsprojekts „Grundlagen zur Weiterentwicklung von Sportanlagen“ elf Thesen veröffentlicht. Nach Bach et al., 2018 ist davon auszugehen, dass die Anzahl an Sportanlagen gleichbleiben wird, bei qualitativen Veränderungen und Erweiterungen durch Sanierung, Modernisierung und Ersatzbauten. Regelkonforme Sportanlagen, zu denen auch der Großteil der Sporthallen zählt, bleiben bedeutsam, sind jedoch durch zusätzliche regeloffene Sportanlagen zu ergänzen. Damit wird auf die Entwicklungen im Sport und Bewegungsverhalten der letzten Jahre eingegangen.

Sporthallen werden unter Nichtwohngebäuden meist als separate Untertypologie aufgeführt. Im Rahmen des Projekts „Systematische Datenanalyse im Bereich der Nichtwohngebäude“ sind Nichtwohngebäude beispielweise in acht Nutzungsklassen unterteilt, wonach eine dem Sport zugeordnet ist. In zweiter Ordnung untergliedert sich diese in Sporthallen und Schwimmbäder (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung [BMVBS], 2013).

Der Anteil an beheizten Nichtwohngebäuden in Deutschland, die in den Anwendungsbereich des GEG (Gebäudeenergiegesetz) fallen, ist in Abbildung 4 ersichtlich, und entspricht ca. 1,98 Millionen Gebäuden. Damit liegt die Anzahl beheizter Nichtwohngebäude weit unter der von Wohngebäuden, dennoch sind sie mit ca. 36 Prozent für über ein Drittel des endenergiebezogenen Gesamtenergieverbrauchs des Gebäudesektors verantwortlich. Dies ist u. a. auf die große Fläche je Gebäude und die hohen quadratmeterbezogenen Verbräuche zurückzuführen (Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 2019). Mit ca. 78.000 Gebäuden haben Sportgebäude einen

anzahlmäßigen Anteil daran von etwa 4 Prozent (Institut Wohnen und Umwelt GmbH [IWU] et al., 2021, S. 322).

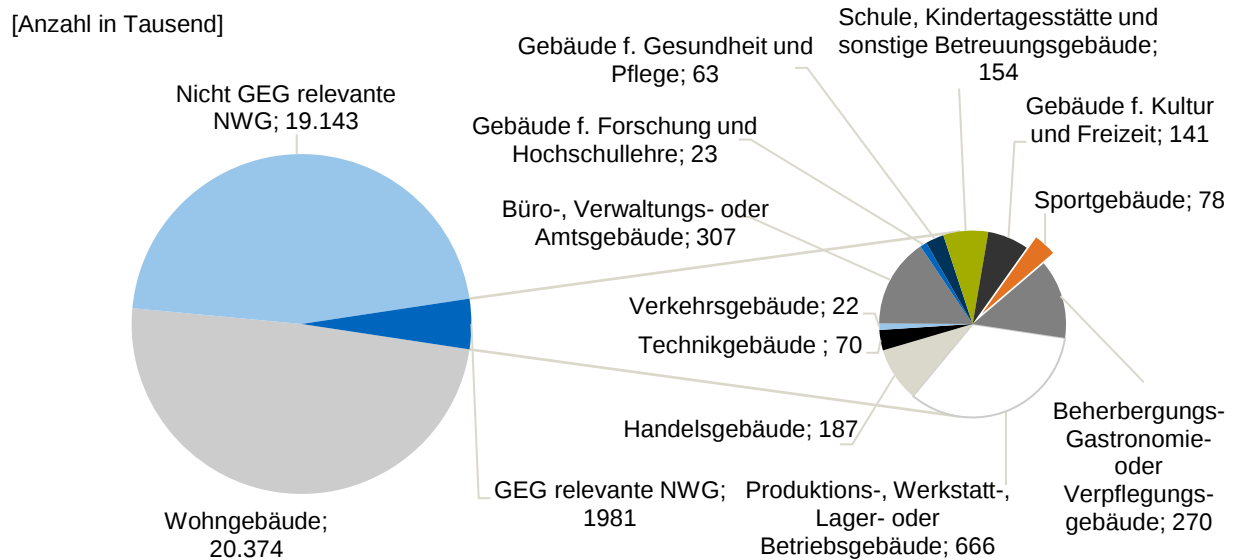


Abbildung 4: Anteil von Sportgebäuden im Gebäudesektor (IWU et al., 2022) (eigene Darstellung)

Sporthallen sind in Deutschland, bedingt durch die große Anzahl (siehe Kapitel 1.1), die kostenintensivsten Sportstätten mit jährlichen Gesamtausgaben in Höhe von ca. 5,3 Milliarden Euro für Bau, Modernisierung, Pflege und Betrieb (siehe Abbildung 5) (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [BMWi], 2018). Die Bereitstellung von Sportraum für den Schulsport zählt als Pflichtaufgabe der Gemeinde, der Bau und Unterhalt sowie die Bezuschussung vereinseigener Anlagen zählen zur freiwilligen kommunalen Sportförderung.

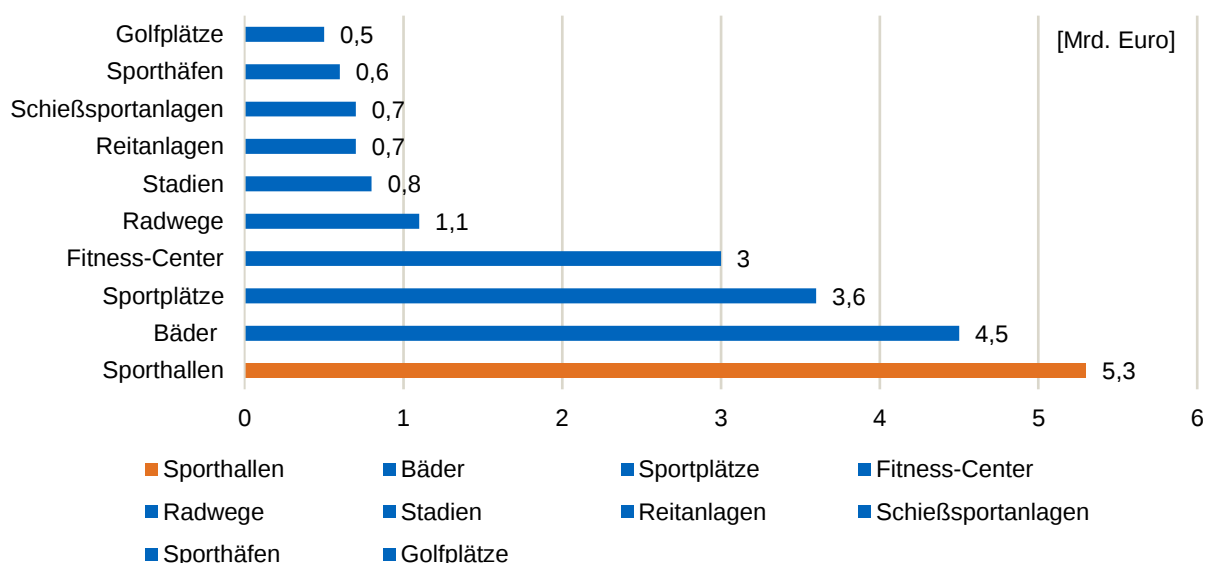


Abbildung 5: Gesamtausgaben für Sportstättenbau, Modernisierung, Pflege und Betrieb (Top 10) (BMW, 2018)

Nach dem öffentlichen Raum und Fitnesscentern sind Sporthallen (inkl. Sporträume in Sporthallen) die meist genutzten Sportstätten von Sporttreibenden (siehe Abbildung 6) (an der Heiden et al., 2014).

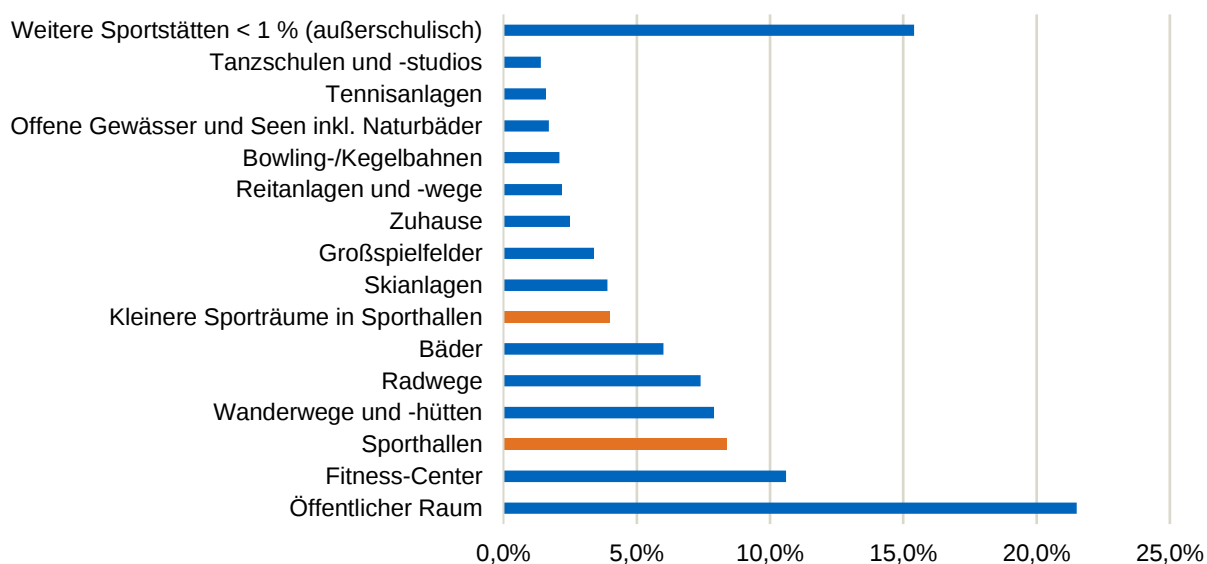


Abbildung 6: Sportstätten nach Sportstundenvolumen im Jahr 2010 (Darstellung nach an der Heiden et al., 2014)

Im Fokus der Arbeit stehen kommunal betriebene Sporthallen, im Speziellen Schulsporthallen mit Vereinsnutzung. Die Erkenntnisse lassen sich größtenteils auf weitere Sporthallentypen (z. B. Vereinssporthallen, Mehrzweckhallen) übertragen, diese sind jedoch nicht Untersuchungsgegenstand.

1.3. Ausgangsbedingungen und Potenziale

Im Folgenden werden die Ausgangsbedingungen, auf denen die Arbeit basiert, dargestellt.

Akuter Sanierungsstau von Sportanlagen

Ein Großteil der Sporthallen in Deutschland (66 Prozent) wurde jedoch vor 1978 (siehe Abbildung 7), und damit vor Inkrafttreten der ersten Wärmeschutzverordnung errichtet. Ebendiese Hallen haben mit über 50 Jahren Standzeit das Ende des ersten Lebenszyklus überschritten bzw. stehen kurz davor, diesen zu erreichen. Damit weisen die Hallen einen akuten Sanierungsbedarf auf. Der Deutsche-Olympische-Sportbund berichtet, dass „alleine bei den Sporthallen, die zwischen 1950 und 1965 gebaut wurden, [...] sich der Energieverbrauch [mit Sanierungsmaßnahmen] um mehr als 60 Prozent senken“ ließe (Deutscher Olympischer Sportbund e.V. [DOSB], o.J.).

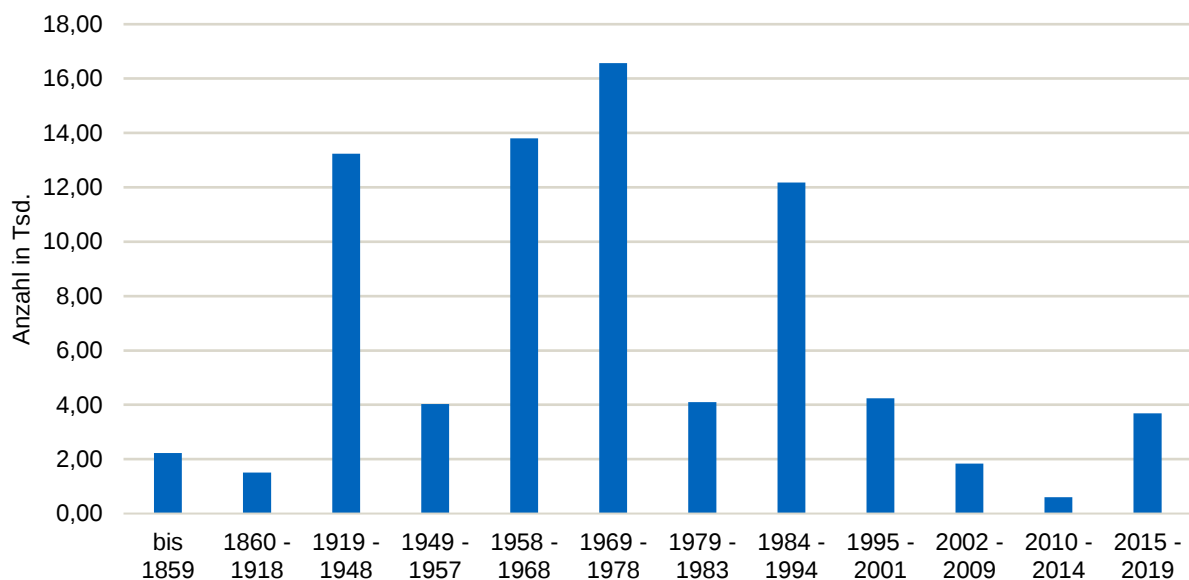


Abbildung 7: Sportgebäude in Deutschland nach Baualtersklasse (IWU et al., 2022) (eigene Darstellung)

Seit Jahren wird von Sportverbänden auf den vorliegenden bundesweiten Sanierungs- und Modernisierungsstau hingewiesen. Dieser beeinträchtigt sowohl den Breiten- und Vereinssport als auch den Schul- und Hochschulsport und ist auf die hohen Ausbau- und Erweiterungsaktivitäten seit Mitte der 1960er bis 1980er bzw. 1990er Jahre zurückzuführen (siehe Kapitel 2.2.1). Nach der Erhebung der Sportstättenstatistik der Länder von 2000 wurde der Sanierungsbedarf für Sportstätten deutschlandweit auf 41,8 Prozent geschätzt, wonach jede zweite bis dritte Sportstätte als sanierungsbedürftig bezeichnet wurde (Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport et al., 2002). Die Schätzungen des gesamten Investitionsbedarfs für deutsche Sportstätten gehen weit auseinander (von mindestens 10 Mrd. Euro bis über 42 Mrd. Euro), nichtsdestotrotz kann von einem milliarden schweren Problemdruck ausgegangen werden (Bach et al., 2018). Im

Rahmen der aktuellen Analysen des Kommunalpanels der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) wird von über der Hälfte der Kommunen weiterhin ein Investitionsrückstand im Bereich der Sportstätten nachgewiesen (Raffer & Dr. Scheller, 2022, 2023), den es durch geeignete Sanierungsmaßnahmen abzubauen gilt. Mit einer aktuellen durch die Internationale Vereinigung Sport- und Freizeiteinrichtungen (IAKS) ins Leben gerufenen Petition „gegen den Zerfall der Sportstätten“ soll die Politik abermals zum Handeln bewegt werden, um den Sanierungsstau abzubauen (Internationale Vereinigung Sport- und Freizeiteinrichtungen [IAKS], 2024).

Der nicht behobene Sanierungsstau der Sportstätten in Deutschland kann die allgemeine Bewegungsfreude der Bevölkerung verringern und langfristig negative gesundheitliche Auswirkungen zur Folge haben. Neben einer Beeinträchtigung von Trainings- und Wettkampfmöglichkeiten für den Breiten- und Spitzensport hat eine defizitäre Sportinfrastruktur auch negative Auswirkungen auf Vereinsaktivitäten und das soziale Miteinander, das durch den Sport stark geprägt wird.

Fehlende Investitionen und Förderungen

Vor dem Hintergrund des hohen Sanierungsstaus werden von Sportverbänden wiederholt mehr Investitionen von Ländern und Kommunen sowie mehr Förderung durch den Bund gefordert. Zwar wurden in der Vergangenheit bereits Förderprogramme zur Sanierung von Sportstätten verabschiedet, diese waren jedoch nicht ausreichend. Beispielhaft sind das Konjunkturprogramm II des Bundes (2009), das Programm des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung zur Sanierung kommunaler Einrichtungen in den Bereichen Sport, Jugend und Kultur (2022) sowie das Bund-Länder-Programm Investitionspakt Sportstätten (2020 bis 2022) zu nennen. Viele Interessensbekundungen und die Überzeichnung der zur Verfügung stehenden Fördermittel des Investitionspakts Sportstätten unterstreicht den dringend notwendigen Bedarf an finanziellen Mitteln zur Sanierung von Sportstätten (Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen [BMVBS]. Aktuell besteht mit der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) zwar die Möglichkeit einer anteiligen Finanzierung energetischer und Nachhaltigkeitsmaßnahmen (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle [BAFA], 2024), vor dem Hintergrund des hohen Sanierungsstaus von Sportstätten ist das Förderprogramm jedoch nicht ausreichend.

Folgende Potenziale ergeben sich auf Grundlage der beschriebenen Ausgangsbedingungen:

Beitrag von Sportstätten im Bestand zur Zielerreichung der Treibhausgasneutralität

Im Hinblick auf die Klimaschutzziele der Bundesregierung, bis 2045 die Treibhausgasneutralität zu erreichen und Treibhausgasemissionen bereits bis 2030 gegenüber 1990 um 65 Prozent zu senken (Bundesregierung, 2022), kommt dem Gebäudebestand eine wichtige Rolle zu. Mit einem Anteil von 14,6 Prozent CO₂-Emissionen hat dieser nach der Energiewirtschaft, der

Industrie und dem Verkehr den viertgrößten Anteil an den deutschen Gesamtemissionen (Bundesregierung, 2019).

Hierzu zählt auch der Gebäudebestand an Sportstätten mit jährlich ca. 7,4 Mio.t Treibhausgasemissionen, der entsprechend nachhaltig zu gestalten ist. Der Beirat „Umwelt und Sport“ als Beratungsgremium der Bundesregierung attestiert, dass die Erreichung der Klimaschutzziele nur „mittels einer weitgehenden Dekarbonisierung der rund 230.000 Sportanlagen zu erreichen“ ist. Nach diesem sind „die Treibhausgasemissionen von Sportstätten und Funktionsgebäuden in Deutschland bis spätestens 2045 auf Netto-Null zu reduzieren“. (Beirat Umwelt und Sport, 2022)

Förderung lebenszyklusoptimierter Planung, Bau und Betrieb von Sportstätten

Bisher wurden Lebenszyklusbetrachtungen im Sportstättenbau nur selten angewendet und die graue Energie im Gebäudebestand wenig berücksichtigt. Dies zeigt sich unter anderem daran, dass in der Landeshauptstadt München mehr Sporthallen abgerissen und neu gebaut als saniert werden (siehe Kapitel 2.2.1). Auch ist die Verwendung von nachhaltigen Produkten bei sport-spezifischen Bauteilen wie Sporteinbauten und -geräten noch kein gängiger Standard.

Um zukunftsfähige Sportstätten mit hoher ökologischer, ökonomischer und sozialer Qualität zu schaffen, müssen Nachhaltigkeitskriterien über den gesamten Lebenszyklus – von der Planung, dem Bau und Betrieb bis zum Abriss bzw. Wiederverwendung – berücksichtigt werden. Mit der Einführung des Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude (QNG) im Jahre 2021 wird die Umsetzung nachhaltiger Gebäude erstmalig durch den Bund in der Breite gefördert (BMVBS, 2024).

Kommunen als Treiber nachhaltiger Entwicklung

Gemeinden und Kommunen kommt eine wichtige Rolle als Treiber nachhaltiger Entwicklung zu. Sie sollen als Vorbilder vorangehen und sowohl ihre Funktion als Change Agents, Motivatoren, Moderatoren, Organisatoren und Inspiratoren in Sachen Klimaschutz ausbauen als auch Vorreiter in der Umsetzung eigener Klimaschutzmaßnahmen sein (Kenkmann et al., 2017).

Nachdem der Großteil der Sporthallen in kommunaler Hand ist, haben die Kommunen direkten Einfluss auf deren nachhaltige Gestaltung. So wird nicht nur die Sportstätte klimafreundlicher, die Kommune kann auch wichtige Impulse für eine nachhaltige Stadtentwicklung setzen.

1.4. Zielsetzung der Arbeit

Wesentliches Ziel der vorliegenden Dissertation ist es, den energetischen Zustand des Sporthallenbestands in Deutschland zu beschreiben und darauf aufbauend den Beitrag der Sanierung der Sporthallen zur Erreichung der deutschen Klimaziele sichtbar zu machen. Damit soll Kommunen sowie anderen Eigentümer*innen der Sanierungsbedarf für einen klimaneutralen Sporthallenbestand aufgezeigt werden.

Basierend auf der beschriebenen Ausgangslage umfasst die vorliegende Dissertation zwei wesentliche Arbeitsschwerpunkte.

Zum einen wird eine Clusterung von Sporthallen nach Baualtersklassen (BAK) entwickelt. Basis hierfür sind die Entwicklung der Anforderungen an den Wärmeschutz sowie weitere Eigenschaften von Sporthallen in Abhängigkeit des Baujahres. Dafür werden beispielhaft die Sporthallen der Landeshauptstadt München untersucht. Im Rahmen der Clusterung soll der energetische Zustand des Sporthallenbestands abgebildet werden. Diese Grundlage ermöglicht es Eigentümer*innen von Sporthallen, Sanierungsbedarfe in Abhängigkeit vom jeweiligen Baujahr zu erkennen und so insbesondere bei großen Gebäudebeständen Maßnahmen zielgerichteter zu priorisieren.

Zum anderen zielt die Arbeit darauf ab, das Sanierungspotenzial der Sporthallen verschiedener Baualtersklassen und die notwendigen Handlungsschritte aufzuzeigen. Anhand der Analyse von konkreten Fallbeispielen werden die ökologischen Auswirkungen der Sanierung durch eine Ökobilanzierung ermittelt und diese denen eines Ersatzneubaus gegenübergestellt. Dabei werden die folgenden beiden wesentlichen Umweltindikatoren untersucht:

Das Treibhausgaspotenzial (GWP) als Parameter für Emissionen (in kg CO₂-Äquivalente) sowie der Aufwand der gesamten nicht erneuerbaren Primärenergie (PENRT) als Parameter für den Einsatz an Ressourcen (in kWh).

Mit den Ergebnissen soll die Notwendigkeit zum Handeln unterstrichen und die Potenziale für Treibhausgaseinsparungen im Bereich von Sporthallen durch die Sanierung dargelegt werden. Die Erkenntnisse sollen Kommunen und Gemeinden sowie Vereine bei der Bewertung des Sporthallenbestands sowie der Planung und Priorisierung von Sanierungstätigkeiten unterstützen.

1.5. Forschungsthemen und Fragestellungen

Die Thesen und Fragestellungen, die dieser Arbeit zugrunde liegen, werden im Folgenden dargestellt.

Auf den genannten Beobachtungen aufbauend leiten sich folgende Thesen ab:

- **These 1:**

Mit Hilfe der Entwicklung einer bautypologischen Clusterung für Sporthallen lässt sich der Sporthallenbestand in Deutschland beschreiben und energetisch bewerten.

- **These 2:**

Die energetische Sanierung des Sporthallenbestands leistet einen wichtigen Beitrag zur Erreichung eines klimaneutralen Gebäudebestands in Deutschland.

- **These 3:**

Die energetische Sanierung einer Sporthalle ist aufgrund niedrigerer Umweltwirkungen dem Neubau vorzuziehen.

Darüber hinaus ergeben sich folgende **Fragestellungen**:

- *Wie lässt sich der Sporthallenbestand in Deutschland anhand von Bautypen und Baujahren typologisch clustern, um spezifische energetische Sanierungsbedarfe zu identifizieren?*
- *Welche Wirkung hat die energetische Sanierung von Sporthallen in Deutschland zur Reduktion von CO₂-Emissionen und zur Erreichung der nationalen Klimaziele?*
- *Werden die Umweltwirkungen, die durch die energetische Sanierung einer Sporthalle entstehen, im Laufe der weiteren Nutzungsdauer durch die Einsparung im Betrieb ausgeglichen?*

Die Forschungsthemen und Fragestellungen werden im Rahmen der Arbeit verifiziert oder falsifiziert und in Kapitel 4.1 nochmals aufgegriffen.

1.6. Stand der Praxis und der Forschung

Zahlreiche Städte haben sich bereits ambitionierte Ziele hinsichtlich der Energiestandards für Neubauten gesetzt, dennoch sind ganzheitlich nachhaltig gestaltete Sporthallen noch selten. Zudem besteht im Bereich der Sanierung wie beschrieben erheblicher Nachholbedarf.

Planungshilfen zur Umsetzung nachhaltiger Gebäude in Bezug auf Sportstätten und im Speziellen zum Umgang mit Sportstätten im Bestand sind rar und entsprechen nicht den heutigen ganzheitlichen Herausforderungen zur Erreichung der Klimaneutralität. Dies zeigt sich an den in

einschlägigen Werken von Ludwig et al., 2014; Spindler, 2007 beschriebenen Projektbeispielen. Im Rahmen von Forschungsprojekten hat das Bundesinstitut für Sportwissenschaft eine Orientierungshilfe zur Umsetzung nachhaltiger Sportfreianlagen (Katthage & Thieme-Hack, 2017) sowie unter Mitarbeit der Doktorandin einen Leitfaden für den Neubau nachhaltiger Sporthallen (Eßig et al., 2015) veröffentlicht. Bedeutsamerweise rückt die Thematik des CO₂-reduzierten Planens, Bauens und Betreibens von Sportstätten aktuell stärker in den Fokus, wie Veranstaltungen wie die Sportstättenmesse „sportinfra“ 2022 und 2024 in Frankfurt (Landessportbund Hessen e.V., 2024) sowie der IAKS Kongress 2023 (Internationale Vereinigung Sport- und Freizeiteinrichtungen e.V. [IAKS], 2023) zeigen. Auch die 2023 gegründete Denkfabrik „Sportainable“, in der die Verfasserin ein aktives Mitglied ist, hat sich das Ziel gesetzt, mit angewandter Nachhaltigkeitsforschung die Transformation des Sports hin zu Ressourcen- und Emissionsminimierung, Recyclingoptimierung, Naturverträglichkeit, sozialer Gerechtigkeit und Gemeinwohlorientierung zu fördern (sportainable gUG, 2024).

In der Forschung ist jedoch der Bereich Sportstättenbau, insbesondere in Bezug auf Ressourceneffizienz, ein Randthema. Es sind nur wenige Publikationen auf diesem Gebiet zu verzeichnen. Einige internationale Forschungsberichte betrachten ausgewählte Themen bzw. Projekte aus dem Bereich Sportstätten und Energie, wie z. B. Kampel et al., 2016 zu Schwimmhallen, Elia & Battistin, 2015 zu Sportcentern sowie Beusker et al., 2012 zu Schulen und Sporthallen. Meist liegt der Fokus jedoch auf Schulen (Capozzoli et al., 2015; Capozzoli et al., 2017; Corgnati et al., 2008; Salleh et al., 2016; Sekki et al., 2017). Auf nationaler Ebene sind besonders die Forschungsprojekte im Rahmen der Förderinitiative „Energieeffiziente Schulen – EnEff: Schule“ hervorzuheben, die sich jedoch ebenfalls nicht explizit mit Sporthallen beschäftigen (Kluttig et al., 2003 und Reiß et al., 2013). Darüber hinaus wurde im Zuge des Projekts „Teilenergiekennwerte – Neue Wege in der Energieanalyse von Nichtwohngebäuden im Bestand“ von 923 Datensätzen auch eine Sportstätte berücksichtigt (Hörner, 2015). Aktuell wird im Rahmen eines durch das Bundesinstitut für Sportwissenschaft (BISp) geförderten Forschungsprojekts an der Hochschule München unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Natalie Eßig ein Nachhaltigkeitsgütesiegel auf Basis der Anforderungen des QNG des Bundes für den Neubau von Sporthallen und Schwimmbädern entwickelt (Hochschule München, 2024).

Allgemein liegen darüber hinaus insgesamt nur wenige systematisch erfasste und ausgewertete statistische Daten und wenige wissenschaftliche Arbeiten zu Anzahl, Hallentypen und Nutzungsart für Sporthallen in Deutschland vor. So ist die letzte deutschlandweite Abfrage zur Sportstätteninfrastruktur aus dem Jahre 2012 mittlerweile veraltet. Empfehlungen für eine weitere deutschlandweite Erhebung wurden im Rahmen des Projekts „Digitaler Sportstättenatlas Deutschland“ beschrieben (Wallrodt & Thieme, 2021). Im Rahmen des 2021 abgeschlossenen

Projektes ENOBdataNWG wurden statistisch belastbare Daten zur Zahl und Fläche von Nichtwohngebäuden, darunter auch Sportstätten, in Deutschland ermittelt. Dabei wurden klassische Methoden der Stichprobenerhebung mit Auswertungen von amtlichen Geobasisdaten wie Koordinaten von Gebäudeumrissen und 3D-Gebäudedaten (LoD1) kombiniert.

Umfangreicher in der Forschung vertreten ist die Thematik der zukünftigen Sportentwicklung. Forschungsarbeiten finden sich zur allgemeinen Sportentwicklung (Koch et al., 1997; Wetterich et al., 2003), Zukunftstrends im Sport (Huber et al., 2014) und der Übertragung der Prognosen auf die Sportinfrastruktur (an der Heiden et al., 2014; Hübner & Wulf, 2016; Ott, 2012, 2014). Besonders hervorzuheben sind die 2018 überarbeiteten Thesen zur Weiterentwicklung von Sportanlagen (Bach et al., 2018).

1.7. Methodik und Vorgehensweise

Die vorliegende Arbeit gliedert sich inhaltlich in vier Kapitel (siehe Abbildung 8).

Das **erste Kapitel** „Einleitung“ schafft einen Überblick über die Bedeutung und Definition des Forschungsgegenstands sowie Ausgangsbedingungen und Potenziale. Von diesen werden Forschungsthemen und Fragestellungen abgeleitet. Darüber hinaus wird der Stand der Praxis und Forschung sowie die Vorgehensweise dieser Arbeit dargestellt.

Im Rahmen des **zweiten Kapitels** „Entwicklung einer Sporthallentypologie nach Baualter“ wird eine bautypologische Clusterung von Sporthallen entwickelt. Hierfür ist zum einen die Entwicklung der Anforderungen an den Wärmeschutz von Gebäuden eine wesentliche Grundlage für die Einteilung in Baualtersklassen. Weiter umfasst das Kapitel eine empirische Analyse zum Forschungsgegenstand Sporthalle. Dabei werden unterschiedliche Merkmale von Sporthallen in Bezug auf den Gebäudebestand auf nationaler Ebene sowie am Beispiel der Landeshauptstadt München untersucht und dargestellt. Relevante Entwicklungen aus der Untersuchung werden in der bautypologischen Clusterung ergänzt. Das Ergebnis ist eine ganzheitliche Charakterisierung von Sporthallen nach Baualtersklassen.

Im **dritten Kapitel** „Untersuchung des Sanierungspotenzials von Sporthallen anhand einer Fallstudie“ werden stellvertretend für den Gebäudebestand konkrete Sporthallen als Fallbeispiele vor dem Hintergrund der entwickelten bautypologischen Clusterung hinsichtlich der Bauweise und energetischen Qualität untersucht. Neben der Betrachtung im Ursprungszustand gemäß Baujahr erfolgt die Erhebung des Status quo der betrachteten Sporthallen. Des Weiteren wird jeweils die Sanierung unter Berücksichtigung der aktuellen Anforderungen der LHM sowie ein entsprechender Neubau untersucht.

Abschließend werden in **Kapitel 4** „Zusammenfassung und Schlussfolgerung“ die Ergebnisse bewertet und Schlussfolgerungen abgeleitet. Die Erkenntnisse, die auf Fallbeispielen der Landeshauptstadt München und Umgebung basieren, werden auf den Sporthallenbestand in Deutschland übertragen. Insbesondere werden die Forschungsthemen überprüft und die Fragestellungen beantwortet. Um das Potenzial für den Klimaschutz sichtbar zu machen, werden die Treibhausgaseinsparungen auf den bundesweiten Sporthallenbestand hochgerechnet. Des Weiteren werden Empfehlungen für die Sanierung und Modernisierung von Sporthallen abgeleitet und ein Ausblick sowie weiterführender Forschungsbedarf beschrieben.

Einführung	1. EINLEITUNG 1.1. Bedeutung von Sportstätten 1.2. Forschungsgegenstand und Begriffsklärung 1.3. Ausgangsbedingungen und Potenziale 1.4. Zielsetzung der Arbeit 1.5. Forschungsthemen und Fragestellungen 1.6. Stand der Praxis und der Forschung 1.7. Methodik und Vorgehensweise 1.8. Abgrenzung der Arbeit
Grundlagen und Clustering	2. ENTWICKLUNG EINER SPORTHALLENTYPOLOGIE NACH BAUALTER 2.1. Bautypologische Clusterung 2.1.1. Bestehende Gebäudetypologien und Entwicklung der Anforderungen an den Wärmeschutz 2.1.2. Ableitung einer bautypologischen Clusterung 2.2. Sporthallenspezifische Merkmale 2.2.1. Verteilung nach Baujahr und Zustand 2.2.2. Größe 2.2.3. Eigentümerstruktur 2.2.4. Auslastung und Nutzungszeiten 2.2.5. Sportarten 2.2.6. Raumprogramm 2.2.7. Kubatur 2.2.8. Weitere energetische Charakteristika 2.2.9. Sportfunktionale Einbauten 2.3. Zusammenfassung und Ergänzung der bautypologischen Clusterung von Sporthallen mit sporthallenspezifischen Merkmalen

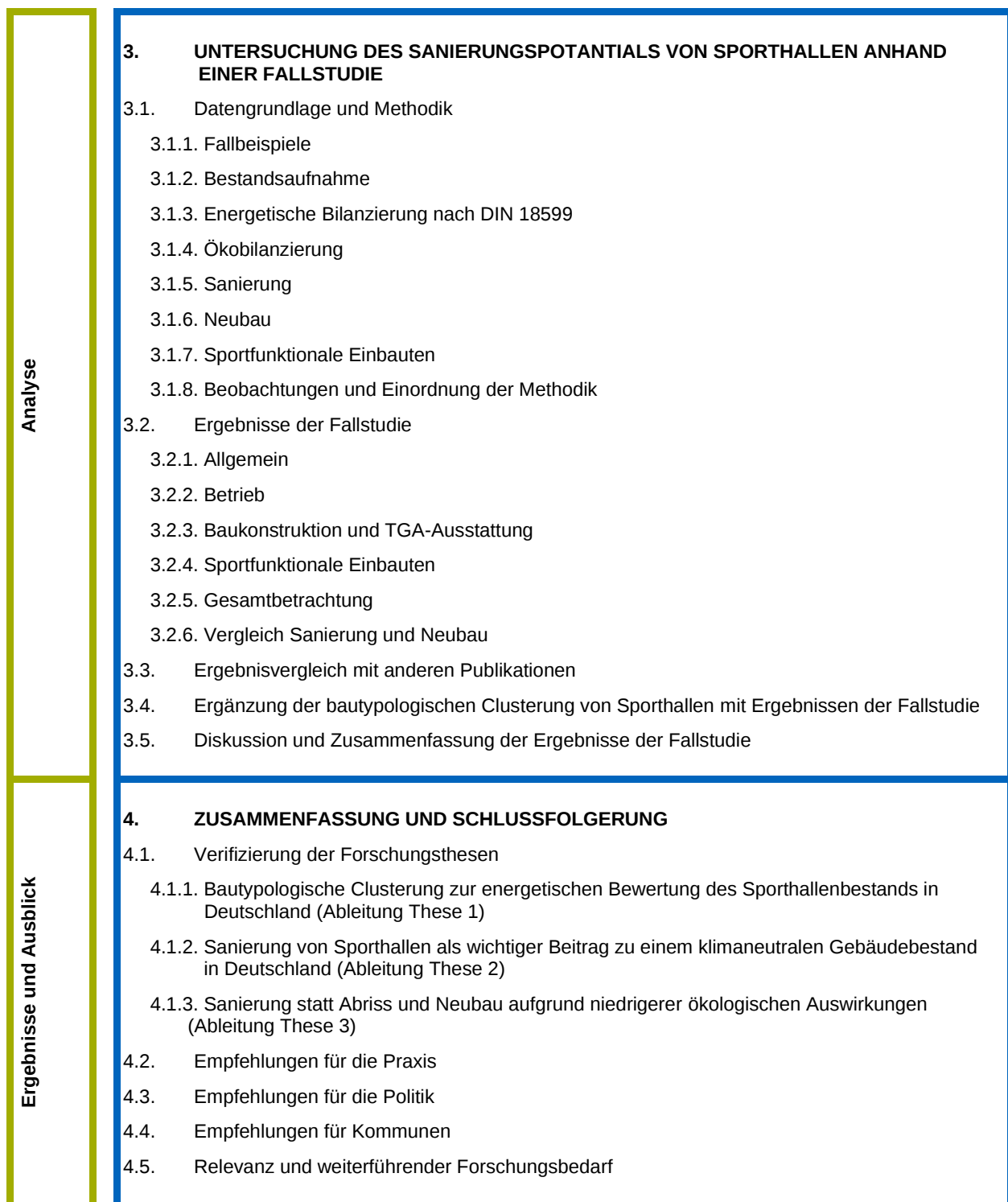


Abbildung 8: Schematischer Aufbau der Arbeit (eigene Darstellung)

1.8. Abgrenzung der Arbeit

Im Mittelpunkt der vorliegenden Arbeit steht der Gebäudetyp Sporthalle. Weitere Sportstättentypen wie Schwimmbäder, Freisportanlagen (auch Außensportanlagen von Sporthallen), Eislaufhallen oder Stadien werden in der Arbeit nicht berücksichtigt, da diese sehr unterschiedliche, teilweise sehr individuelle Nutzungsanforderungen aufweisen und daher nicht miteinander vergleichbar sind.

Folgende Hallentypen werden aufgrund abweichender Anforderungen und Charakteristika ebenfalls nicht berücksichtigt:

- Hallen in Freizeitstätten
- Pausenhallen und Aulen
- Mehrzweckräume z. B. in Kindertagesstätten (außer Mehrzweckräume als Nebenräume von Sporthallen)
- Gymnastikhallen
- Schwimmhallen
- Sporthallen im Eigentum von Vereinen

Den Untersuchungsrahmen bilden Sporthallen im Raum München. Weitere nationale und internationale Sporthallen werden nach Bedarf in die Arbeit mit einbezogen. Bei der Untersuchung stehen Energiebedarf, Baukonstruktion und Anlagentechnik im Fokus.

Schwerpunkte der Untersuchung der Sporthallen bilden energetische und ökologische Kriterien. Dabei werden neben dem Energiebedarf nach DIN 18599 die Treibhausgasemissionen (GWP) und der gesamte, nicht erneuerbare Primärenergieaufwand (PENRT) betrachtet. Weitere Umweltindikatoren, die in ökologischen Datenbanken aufgeführt und hinterlegt sind, die jedoch nicht bei der Bilanzierung nach QNG berücksichtigt sind, werden nicht ausgewertet.

2. Entwicklung einer Sporthallentypologie nach Baualter

2.1. Bautypologische Clusterung

Die Einteilung in Gebäudetypologien nach Nutzungstyp und Baualter ist ein wichtiges Werkzeug für die energetische Bewertung von Gebäuden. Die Einordnung in verschiedene Gebäudetypen und Baualtersklassen ermöglicht die anschauliche Darstellung von Energiesparpotenzialen. Grundlage ist in der Regel eine Reihe von Modellgebäuden, die spezifische Größen- und Baualtersklassen des Gebäudebestands abbilden. Durch Ergänzung von zusätzlichen Informationen über die Häufigkeit der Gebäudetypen und den Anteil der bereits energetisch modernisierten Gebäude kann die Typologie als Grundlage zur Abschätzung des Einsparpotenzials im gesamten Gebäudebestand herangezogen werden. (IWU, 2012)

Diese Informationen sind die Grundlage, damit Gebäudeeigentümer*innen wie beispielsweise Kommunen für deren Gebäudebestand im nächsten Schritt Sanierungsstrategien entwickeln können.

2.1.1. Bestehende Gebäudetypologien und Entwicklung der Anforderungen an den Wärmeschutz

Für Wohngebäude hat sich seit mehreren Jahren die Gebäudetypologie des IWU (Institut für Wohnen und Umwelt) nach Baualtersklassen etabliert (IWU, 2015). Auf europäischer Ebene wurde im Zuge des Projekts Tabula ein abgestimmtes Konzept für Wohngebäude mit länderspezifischen Typologien entwickelt (IWU, 2012).

Für den Bestand an Nichtwohngebäuden in Deutschland sind deutlich weniger Untersuchungen vorhanden und die vorhandenen Typologien wurden bisher nur ausschnittsweise analysiert (Scharte, 2016). Detaillierte Daten beispielsweise zur Baukonstruktion oder energetischen Qualität liegen zur Sportstätteninfrastruktur nicht gesammelt vor.

Eine wichtige Grundlage, um deutschlandweit für sämtliche Typen an Nichtwohngebäuden übergreifend einer typologischen Klassifizierung näher zu kommen, schafft daher die im Zuge des 2021 abgeschlossenen Projekts ENOBdataNWG erstellte Forschungsdatenbank für Nichtwohngebäude. Neben der Ermittlung von Anzahl und Fläche von Nichtwohngebäuden wurden ergänzend Merkmale wie Gebäudefunktion, Baualter, Eigentümerstruktur, Branche usw. erhoben. Ebenfalls wurden detaillierte Angaben zur energetischen Beschaffenheit der Gebäudehülle und der Anlagentechnik abgefragt, woraus sich Kenngrößen zum Stand und zur Dynamik der

energetischen Modernisierung ableiten lassen. Im Rahmen des Projekts ENOBdataNWG wurde auf die Einteilung nach Baualtersklassen nach der oben genannten deutschen Wohngebäudetypologie zurückgegriffen. (IWU et al., 2021)

Zum Überblick ist im Folgenden die Entwicklung der geltenden Anforderungen an den Wärmeschutz für Gebäude in Deutschland in Abbildung 9 dargestellt. Die für den Wärmeschutz wegweisenden Entwicklungen sind in orange hervorgehoben. Diese waren vor allem die mit der DIN 4108 von 1952 verbundene erstmalige Definition von Mindestanforderungen an den baulichen Wärmeschutz sowie die in der Folge der Ölkrise 1973 verabschiedete Wärmeschutzverordnung (WSVO) 1977, fortgeschrieben 1984 und 1995, die verschärfte Anforderungen an beheizte Gebäude stellten.

Zusammengeführt wurden die Wärmeschutz- und Heizungsanlagenverordnung in der Energieeinsparverordnung (EnEV), die insbesondere mit den Versionen von 2002, 2009 und 2016 die Bewertung der energetischen Qualität eines Gebäudes anhand des Primärenergiebedarfs und Transmissionswärmeverlusts beförderte. Im Jahr 2020 wurde diese Verordnung durch das Gebäudeenergiegesetz (GEG) abgelöst, das neben der EnEV ebenso die Anforderungen des Erneuerbaren-Energien-Wärmegesetzes in nun einem Regelwerk umfasst. Im Jahre 2021 erfolgt die Einführung des Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude (QNG) in Zusammenhang mit der Bundesförderung effiziente Gebäude, wodurch die Umsetzung nachhaltiger Gebäude gefördert wird. Mit GEG 2023 wurden die energetischen Anforderungen abermals verschärft.



Abbildung 9: Entwicklung der Anforderungen zum energiesparenden Bauen (BMVBS, 2011, 2013; BMVBS, 2024; Gierga & Erhorn, 1994; Reiß et al., 2013) (eigene Darstellung)

Im Rahmen von Forschungsprojekten wurden bislang folgende, in Abbildung 10 ersichtlichen Einteilungen in Baualtersklassen für Nichtwohngebäude angewendet, die sich insbesondere an den Entwicklungen der gesetzlichen Anforderungen an den Wärmeschutz orientieren.

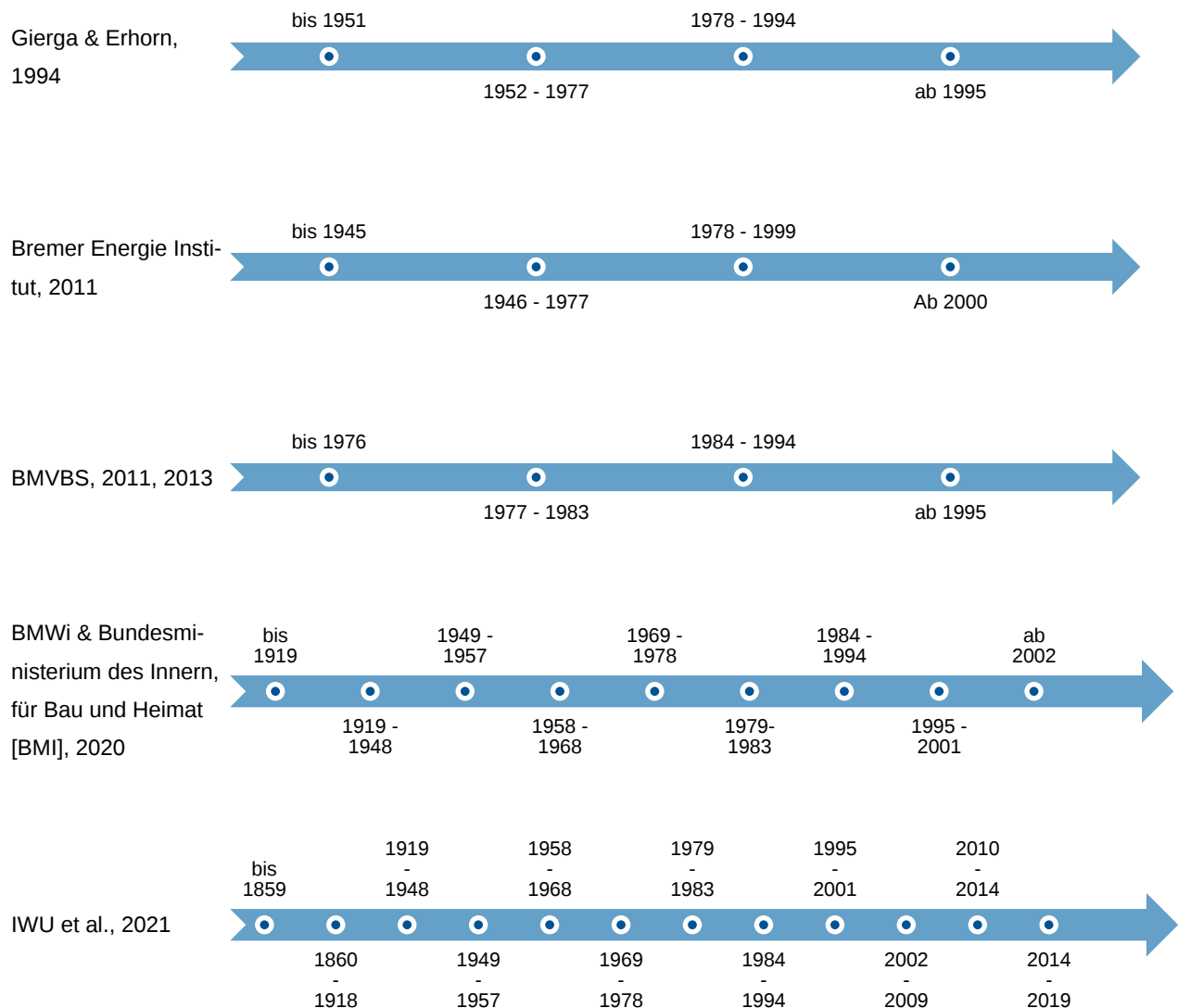


Abbildung 10: Baualtersklassen für Nichtwohngebäude (eigene Darstellung)

2.1.2. Ableitung einer bautypologischen Clusterung

Das Baualter spielt in Zusammenhang mit der Entwicklung der Anforderungen an den Wärmeschutz eine zentrale Rolle bei der energetischen Qualität eines Gebäudes. Auf Basis der zuvor beschriebenen Entwicklung wird für Sporthallen folgende Clusterung in Baualtersklassen (siehe Abbildung 11) zu Grunde gelegt. Diese ist zwar reduzierter als die Klassifizierung nach IWU et al., 2021 mit 12 Altersklassen, in Anlehnung an Gierga & Erhorn, 1994 und BMVBS, 2011, 2013, jedoch sehr viel übersichtlicher und bildet zudem die wesentlichen Fortschritte des energieeffizienten Bauens deutlicher ab.

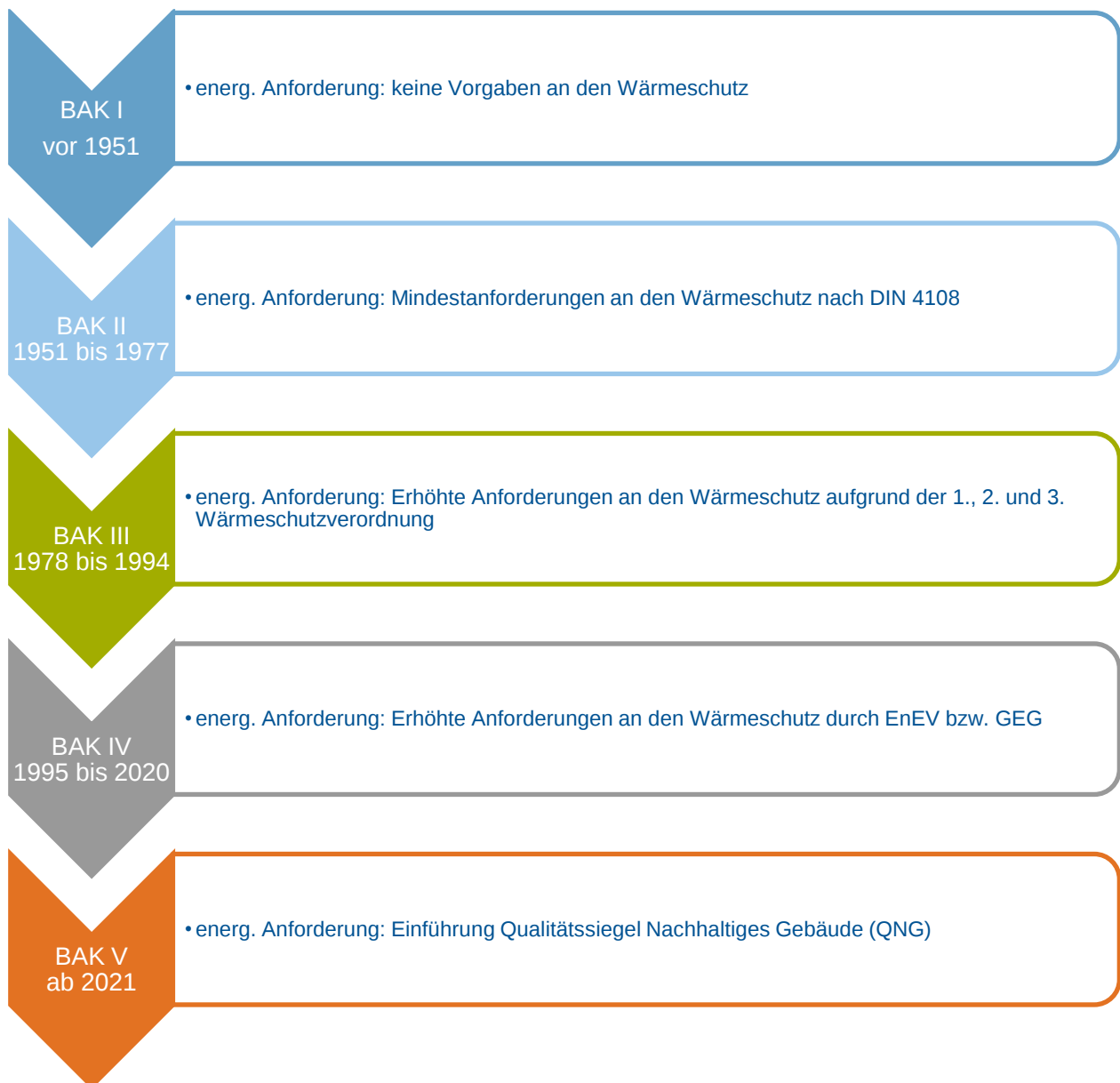


Abbildung 11: Abgeleitete bautypologische Clusterung in Baualtersklassen für Sporthallen in Anlehnung an die Entwicklung des Wärmeschutzes (eigene Darstellung)

2.2. Sporthallenspezifische Merkmale

Darüber hinaus gibt es weitere Eigenschaften, die Sporthallen und deren Vorkommen charakterisieren. Im Folgenden werden daher neben dem Baualter weitere Merkmale von Sporthallen zur besseren Kenntnis des Gebäudetyps untersucht. Dabei wird auf den Zusammenhang der Merkmale mit der zuvor aufgestellten Clusterung nach Baualtersklassen eingegangen, um diese entsprechend zu ergänzen (siehe Kapitel 2.3). Darüber hinaus sind die Merkmale als Grundlageninformationen für die anschließende Fallstudie relevant (siehe Kapitel 3). Zu den untersuchten Merkmalen zählen:

- Baualter
- Größe
- Eigentümerstruktur
- Nutzungszeiten und Auslastung
- Sportarten
- Raumprogramm
- Kubatur
- Energetische Charakteristika
- Sportfunktionale Einbauten

Es wird zunächst auf allgemeine Entwicklungen, verfügbare Analysen und Daten aus veröffentlichten Studien und Forschungsprojekten in der Bundesrepublik eingegangen.

Ergänzend werden die Merkmale in Bezug auf den Gebäudebestand an vorrangig kommunalen Sporthallen der Landeshauptstadt München beschrieben. Insgesamt beziffert die Landeshauptstadt München zum Jahresende 2019 die Anzahl an Sport- und Mehrzweckhallen (einschließlich Schulsporthallen) auf 383 (Statistisches Amt der Landeshauptstadt München, 2020). Aus dem Liegenschaftsportal der Landeshauptstadt (CAFM) gehen 155 als Sporthallen klassifizierte Hallen (Stand 2022) hervor. Darin sind Sporthallen innerhalb von Schulgebäuden, die nicht als solitäre Gebäude bzw. separate Gebäudeteile erfasst sind, nicht enthalten. Diese Daten werden mit den Informationen der Datenbank für Sportstättenvermietung abgeglichen und um Sporthallen ergänzt, die in CAFM nicht direkt einem Gebäude zugeordnet sind. In der Summe ergeben sich 248 Liegenschaften mit 379 Kleinsport-, Einfach-, Zweifach- oder Dreifachhallen (Stand 09/2022), die im Rahmen einer Grobanalyse betrachtet werden. Dabei handelt es sich um Schulsporthallen mit Vereinsnutzung. Aus den beschriebenen Daten werden beispielsweise Informationen wie Standort, Baualter, Nutzungstyp und Fläche gesammelt. Datenlücken werden identifiziert und soweit möglich anhand von Nachfragen bei der Stadtverwaltung oder Recherchen in Archiven vervollständigt. Dabei werden bei fehlenden Flächenangaben Bruttogrundfläche (BGF) und Nettoraumfläche (NRF) mit den in BMWi & BMI, 2021 angegebenen, nach Gebäudekategorien differenzierten Faktoren umgerechnet. Ebenso werden die vorhandenen Informationen einer Plausibilisierungsprüfung anhand von Vergleichsgrößen unterzogen.

Die Beobachtungen werden teilweise mit Informationen aus weiteren Städten z. B. Köln ergänzt.

2.2.1. Verteilung nach Baujahr und Zustand

Im Folgenden wird die historische Entwicklung im Bereich des Sportstättenbaus am Beispiel von Turn- und Sporthallen beschrieben, um die Verteilung der Sporthallen nach Baualter zu erklären.

Historische Entwicklung im Bereich Turn- und Sporthallen

Im Jahr 1922 stellte Diem das Spielplatzgesetz auf, das 1917 im Entwurf bekannt gegeben wurde (G. Breuer, 1997). Als Ziel wurde eine Sportfläche pro Bürger*in von 3 m² ausgegeben. Diese betrug im Jahr 1914 1,0 m² pro Bürger. Bis 1928 stieg durch eine starke Zunahme an Spiel-, Sport- und Turnplätzen die Sportfläche pro Einwohner*in bereits auf 2,81 m² (G. Breuer, 1997), stagnierte jedoch während der Zeit des Nationalsozialismus (Eulering, 2001).

Wesentlich bei der Sportstätteninfrastruktur ist aus historischer Sicht der „Goldene Plan“ aus dem Jahr 1960. Ziel des durch die Deutsche Olympische Gesellschaft (DOG) entwickelten Planungsinstruments war es, ein flächendeckendes Angebot der Sportstätteninfrastruktur zu sichern, indem eine Planungs- und Finanzierungsgrundlage für die Sportstätteninfrastruktur der kommenden 15 Jahre geschaffen wurde.

Der „Goldene Plan“ orientiert sich an einer richtwertebezogenen Planung von Sportanlagen (Spielplätze, Allgemeine Sportanlagen, Turn-, Spiel- und Sporthallen, Schwimmhallen und Freibäder) in Abhängigkeit von der Einwohnerzahl von Gemeinden. Mit Hilfe des „Goldenen Plans“ konnte innerhalb von 30 Jahren unter anderem die Zahl der Turn- und Sporthallen verdreifacht werden (Rütten et al., 2010). Dafür erhielt Deutschland den Titel „Weltmeister im Sportstättenbau“ während und nach der Laufzeit des „Goldenen Plans“ in den Gemeinden (Jägemann & Wohltmann, 2006). Weitergeführt wurde der „Goldene Plan“ 1967 und 1984 durch das zweite und dritte Memorandum zum „Goldenen Plan“ sowie 1992 durch den „Goldenen Plan Ost“ (Mervert, 2009).

Ver mehrt rückte in den 80er Jahren neben den an die Einwohnerzahl gebundenen Richtwerten die Frage nach der Qualität bei der Bestimmung der Sportanlagenbedarfe in den Vordergrund (Rütten et al., 2010). So berücksichtigt der 1999 von der Sportministerkonferenz beschlossene sogenannte „BISp-Leitfaden“ auch regionale Unterschiede im Sporttreiben, die sich auf die Art der Sportstätten auswirken (Sitzungsvorlage Nr. 14-20 / V 04256, 2016). Dieser Leitfaden basiert auf dem verhaltensorientierten Ansatz, wonach die Bedarfsbestimmung als Ergebnis einer Bilanzrechnung zwischen dem tatsächlich vorhandenen Bestand an Sportstätten und der ermittelten Sportnachfrage empirisch bestimmt wird (Rütten et al., 2010).

Weiterentwickelt wurde die Sportstättenentwicklungsplanung mit dem kooperativen Ansatz, der die Beteiligung von Betroffenen (z. B. Bürger*innen und Vereine), politischen

Entscheidungsträger*innen und Expert*innen (z. B. der Stadtverwaltungen) zu Grunde legt, um zum einen so den tatsächlichen Bedarf genauer ermitteln zu können und zum anderen eine höhere Akzeptanz der durchgeführten Maßnahmen sicherzustellen (Rütten et al., 2010). Diese Form entstand Anfang der 1990er Jahre analog zur Verbreitung partizipativer Methoden in anderen Bereichen der Stadtplanung (Göring et al., 2018).

Seit Ende der 1990er Jahre wird der kooperative Ansatz um integrierte Formen der Sportentwicklungsplanung erweitert. Dies bedeutet insbesondere, dass neben Sportanlagenbedarfen auch andere Sportentwicklungsbedarfe wie beispielsweise Bewegungsräume und Angebote im öffentlichen Raum in der Sportentwicklungsplanung berücksichtigt werden (Rütten et al., 2010). Grundsätzlich wird der Sport und damit auch die kommunale Sportentwicklungsplanung als wesentlicher Bestandteil einer integrierten Stadtentwicklung und der kommunalen Gesundheitsförderung gesehen (Göring et al., 2018).

Bei der Betrachtung der Verteilung des Baujahrs von Sportgebäuden in Deutschland (Abbildung 7) ist insgesamt die hohe Zunahme an Gebäuden ab dem Jahr 1960 erkennbar. Dies ist auf die Einführung des „Goldenen Plans“ im Jahre 1961 zurückzuführen. Allein die Sportgebäude, die 1958 – 1983 erbaut wurden, bilden fast die Hälfte des Gebäudebestands ab. Dabei ist das Baujahr definiert als das Jahr der Fertigstellung einer Sportanlage (Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport et al., 2002). Die Daten wurden im Rahmen des 2021 abgeschlossenen Projekts ENOBdataNWG neben der Ermittlung von Anzahl und Fläche von Nichtwohngebäuden in Deutschland erhoben (IWU et al., 2022).

Landeshauptstadt München

Die Auswertung des Sporthallenbestands der Landeshauptstadt München zeigt die in Abbildung 12 ersichtliche Verteilung nach Baujahr. Für 289 Sporthallen (76 Prozent) konnte ein Baujahr zugeordnet werden. Die auffällig hohe Anzahl an Sporthallen (97 Neubauten) zwischen 1960 bis einschließlich 1975 ist wie beschrieben ein in der damaligen Bundesrepublik Deutschland weit verbreitetes Phänomen im Zusammenhang mit der Einführung des Goldenen Plans.

Konkret wird für die Stadt München berichtet, dass sie nach 1945 „ein stärkeres und kontinuierlicheres Wachstum an Einwohnern und Arbeitsplätzen zu bewältigen [hatte] als jede andere vergleichbare Großstadt der BRD“ und sie erreichte Ende der 50er Jahre die Grenzen der Aufnahmefähigkeit. Übergeordnet wurde 1963 daher der Stadtentwicklungsplan, auch Jensen-Plan genannt, verabschiedet, der umfangreiche Stadterweiterungen und einen tiefgreifenden Stadtbau umfasste. (Egger, 2014)

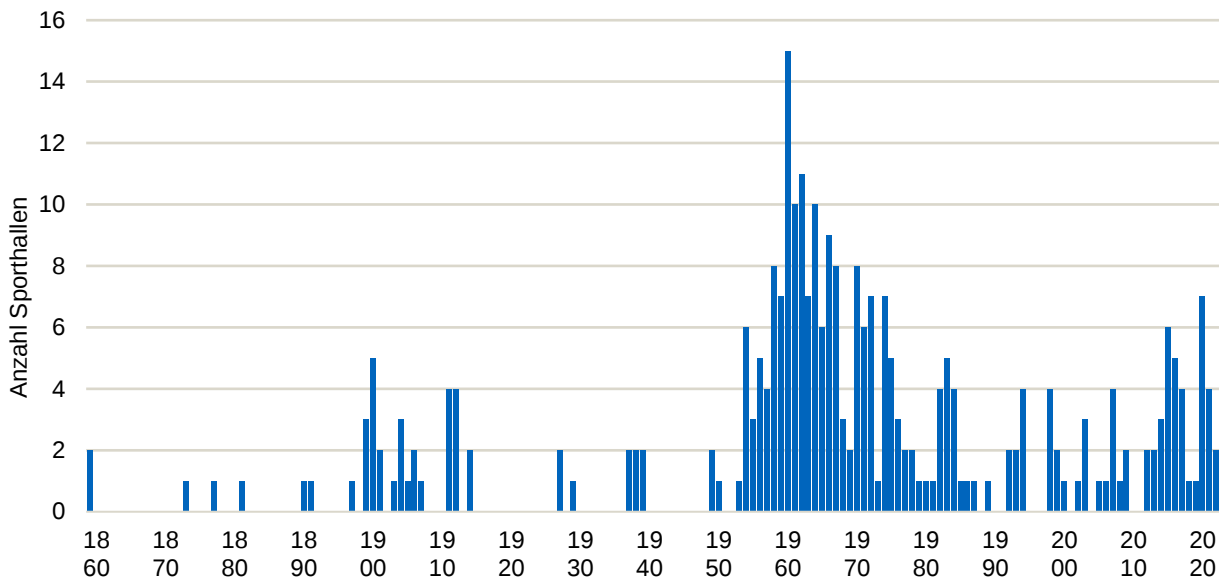


Abbildung 12: Auswertung der Sporthallen der LHM nach Baujahr (Daten aus CAFM und eigene Recherche) (eigene Darstellung)

Eingeschlossen in den Jensen-Plan waren unter anderem Überlegungen für einen Sportpark und ein Großstadion auf dem Oberwiesenfeld (Spieker, 2022). Die Vergabe und Abhaltung der Sommerolympiade 1972 unterstützte die Stadt München mit zusätzlichen erheblichen finanziellen Bundesmitteln für die Stadt- und Verkehrsplanung (Egger, 2014).

Im Bereich der Sportstätten wurden zahlreiche Baumaßnahmen im Rahmen des Fünf-Jahres-Schulbau-Programms von 1960 sowie des Vier-Jahres-Programms der Landeshauptstadt München für den Ausbau der städtischen Sportanlagen vom Januar 1963 umgesetzt (Direktorium - Stadtplanungsamt der Landeshauptstadt München, 1963).

Die erhöhte Anzahl an Neubauten ab 2015 ist darüber hinaus auf die im Jahr 2014 verabschiedete Schulbauoffensive zurückzuführen, die aktuell das deutschlandweit größte kommunale Bildungsbauprogramm darstellt. In den daraus resultierenden Schulbauprogrammen (SBP) werden die erforderlichen Sportstätten für den Sportunterricht der öffentlichen Schulen Münchens geplant und umgesetzt (Landeshauptstadt München, o.J.). Da die Schulsportstätten außerhalb der schulischen Nutzungszeiten Sportvereinen überlassen werden, leisten diese einen erheblichen Beitrag zur Deckung der Breitensportbedarfe in der LHM (Sitzungsvorlage Nr. 14-20 / V 08874, 2017). In Ergänzung dazu steht das im Jahr 2017 verabschiedete Sportbauprogramm, das unter anderem Sporthallen im Bereich der Münchner Sportvereine fördert.

Die Maßnahmen der SBP zeigen auch, dass die Anzahl an Sporthallen, die abgerissen und neu gebaut werden, die Anzahl der Sporthallen, die saniert werden, übersteigt (siehe Abbildung 13). In den Steckbriefen der laufenden SBP werden zahlreiche Sporthallen mit einem mangelhaften

Bauzustand beschrieben. Entsprechend der Verteilung des Baualters der Sporthallen in der Landeshauptstadt München und der Annahme eines Lebenszyklus von Gebäuden von 50 Jahren lässt sich schlussfolgern, dass ein Großteil der Hallen einen sanierungsbedürftigen Zustand aufweist.

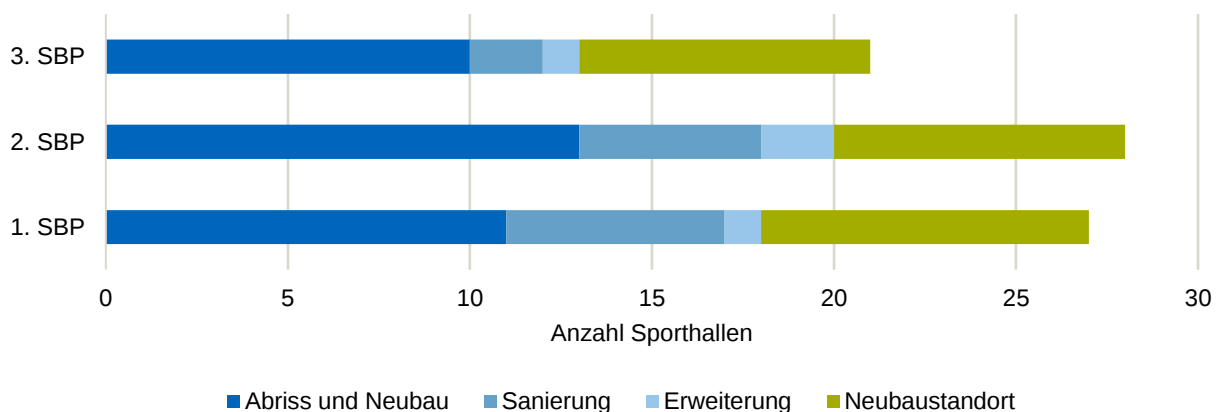


Abbildung 13: Auswertung der Maßnahmen der Schulbauprogramme (SBP) 1–3 mit Sporthallen (Schulbau und Kitabau in München, o.J.) (eigene Darstellung)

Diese Beobachtungen legen nahe, dass ökologische Aspekte bei Entscheidungen zur Immobilienentwicklung öffentlicher Gebäude bisher nur wenig Bedeutung haben. So wurde beispielsweise im Rahmen eines Austauschs mit dem österreichischen Institut für Schul- und Sportstättenbau berichtet, dass bei der Abwägung zwischen Sanierung oder Neubau folgende Aspekte im Fokus stehen (Karin Schwarz-Viechtbauer, Persönliche Mitteilung, 8. Mai 2023):

- Funktionalität der Sporthalle (Höhe, Größe in Anlehnung an Bedarf etc.)
- Raumprogramm (Umkleiden, weitere Bedarfe z. B. kleinere Sporträume etc.)
- Barrierefreiheit (siehe auch Leitfaden zum inklusionsorientierten Schulsportstättenbau, LHM-RBS, 2021)
- Zugänglichkeit für Vereine (Erhöhung der Nutzungsauslastung)
- Bautechnischer Gebäudezustand (inkl. Statik) und der damit verbundene Investitionsaufwand für Neubau im Vergleich zur Sanierung

Für ein Handeln im Sinne der Klimaneutralität sind jedoch auch die ökologischen Aspekte in den Fokus zu setzen, wofür die vorliegende Arbeit eine Argumentationsgrundlage liefert.

Zum Sanierungsstatus der Sporthallen der Landeshauptstadt München liegen keine gesamtheitlichen Informationen vor. Nach stichprobenhafter Prüfung kann jedoch Folgendes festgehalten werden: Ein Großteil der Hallen von vor 1951 wurde bereits saniert oder erweitert, die Bauteile

jedoch nur zum Teil energetisch ertüchtigt. Oftmals stehen die Gebäude aus der Zeit unter Denkmalschutz. Bei den Hallen aus den 60er Jahren ff. haben bereits teilweise ganzheitliche Sanierungen stattgefunden. Projektbeispiele für durchgeführte und über das Konjunkturprogramm II geförderte Maßnahmen sind die Sanierungen der Sporthallen an der Fischer-von-Erlach-Straße oder Werdenfelsstraße (Landeshauptstadt München, Baureferat [LHM-BAU], 2013). Der Großteil der Hallen aus den Jahren 1960 – 1980 wurde jedoch nur in Teilen saniert. Schwerpunkt der Sanierung waren oftmals sicherheitsrelevante Maßnahmen (z. B. Brandschutz), die Beseitigung von Bauschäden sowie die Förderung von Inklusion. Bei neueren Hallen beschränken sich die Sanierungsmaßnahmen in der Regel auf eine Erneuerung der technischen Gebäudeausrüstung wie beispielsweise eine Beleuchtungserneuerung oder einen Kesseltausch.

Die Stadt Köln hat im Rahmen der vorliegenden Arbeit ebenfalls Informationen zu deren Sporthallenbestand zur Verfügung gestellt (Stadt Köln, Persönliche Mitteilung, 22. Februar 2023). Dieser umfasst 358 Sporthallen, inklusive Vereinshallen. Informationen zum Baujahr der Kölner Hallen liegen für 68 Prozent vor, das entspricht 243 Hallen. Im Vergleich mit dem Bestand an Sporthallen der Stadt München ist in Köln insgesamt eine ähnliche Verteilung nach Baujahr mit einer Mehrung von Neubauten zwischen 1900 und 1910 und insbesondere zu Zeiten des „Goldenen Plans“ um 1960 zu erkennen (siehe Abbildung 14). In den letzten 30 Jahren gehen aus den Daten vergleichsweise wenig Sporthallenneubauten hervor. Dies wird u. a. auf die nicht vollständige Datenlage zurückgeführt.

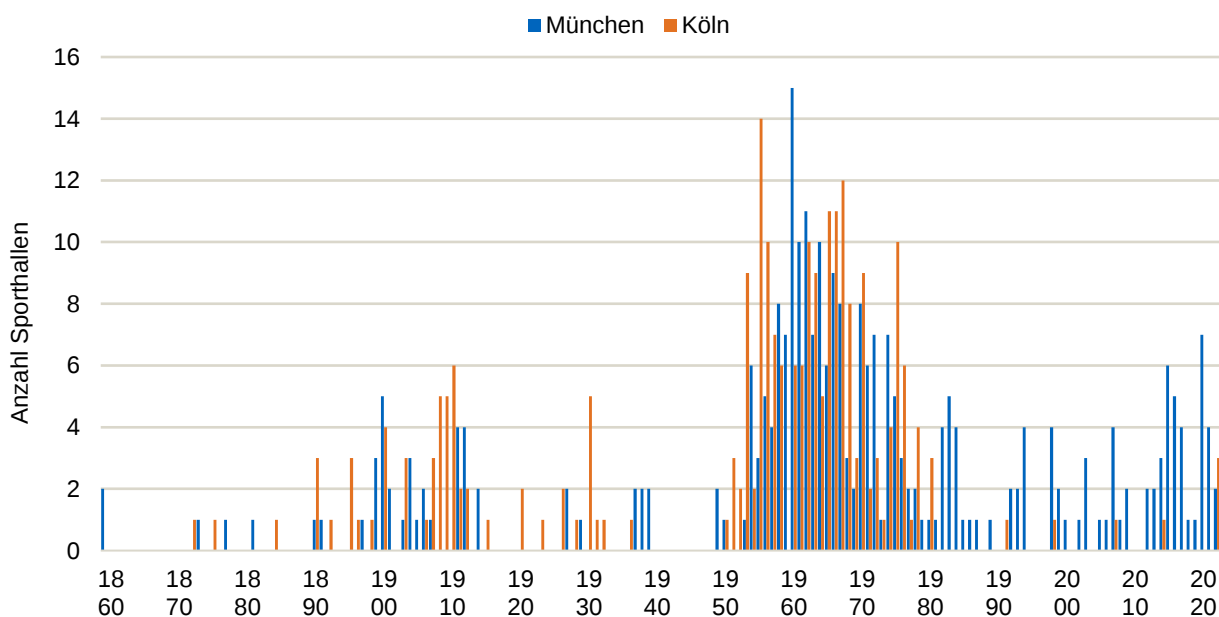


Abbildung 14: Auswertung der Sporthallen der LHM (Daten aus CAFM und eigene Recherche) und der Stadt Köln (Stadt Köln, Persönliche Mitteilung, 22. Februar 2023) nach Baujahr (eigene Darstellung)

2.2.2. Größe

Sporthallen sind mit einer Anzahl von rund 35.000 nach den ungedeckten Anlagen die in Deutschland am meisten vertretenen Sportstätten (Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport et al., 2002). Je nach Hallenmaßen (Sportflächen) sind Sporthallen heute nach der DIN18032-1 (DIN 18032-1:2014-11), der grundlegenden Norm für den Bau einer Sporthalle in Deutschland, folgenden Hallentypen zuzuordnen:

Tabelle 1: Maße von Sporthallen (Darstellung nach Roskam, 1961 und DIN 18032-1:2014-11) (eigene Darstellung)

Raumtyp	Hallenmaße nach Roskam, 1961 Breite x Länge in [m]	Lichte Mindestmaße nach DIN 18032-1 Breite x Länge x Höhe in [m] resultierende Nutzungsfläche (NUF) [m ²] / Raumvolumen [m ³]	Entwicklung
Gymnastikhalle	9 x 12	180 – 240 m ² (Sportmehrzweckraum) bzw. 8 x 10 x 3,5 80 / 280	Art und Umfang der Nebenräume sind abhängig vom Einzelfall.
Kleinporthalle (KSH)	10 x 18	(Turnhalle)	
Einfachhalle (EFH)	12 x 24 bzw. 14 x 27	15 x 27 x 5,5 405 / 2.228	+ 41 Prozent bzw. 21 Prozent
Zweifachhalle (ZFH) (ggf. teilbar in 3 Teile)	21 x 42	22 x 44 x 7 968 / 6.776	+ 10 Prozent
Dreifachhalle (DFH) (teilbar in 3 Teile)	26 x 42	27 x 45 x 7 1.215 / 8.505	+ 11 Prozent
Eineinhalbfache Halle (ggf. teilbar in 2 Teile)	33 x 18	18 x 36 x 7 648 / 4.536	+ 9 Prozent

Im Vergleich zu Anforderungen aus dem Jahr 1961 haben sich die Hallengrößen leicht erhöht (bezogen auf die Grundfläche, siehe Tabelle 1). Heutzutage richtet sich die Mindestgröße einer Halle zur Nutzung als Sporthalle in der Regel mindestens nach der wettkampftauglichen Einzelhalle. Zusätzliche Sportnebenräume, beispielsweise als Mehrzweck-, Geräteturn-, Konditions- bzw. Fitness-, Kampfsport- oder Fechtraum, werden einzelfallspezifisch orientiert an einer Bedarfsuntersuchung als Ergänzung empfohlen.

Als durchschnittliche Nettoraumfläche wird nach BMVBS (2013) für Sporthallen 986 m² genannt. Im Rahmen einer Studie wurden im Zuge des genannten Projekts 5.155 Sporthallen in den Bundesländern Baden-Württemberg, Brandenburg, Hansestadt Bremen und Sachsen-Anhalt ausgewertet.

Die Verteilung der Sporthallen unterschiedlicher Größe in Deutschland ist in Abbildung 15 ersichtlich. Dabei überwiegen nach den Zahlen aus dem Jahr 2000 die Hallen im Kleinhallensegment (Sporthallen I, II und III, Hallen < 18 m x 36 m) in allen Bundesländern. Mit zunehmender Hallengröße nimmt in den meisten Bundesländern auch die Hallenanzahl ab.

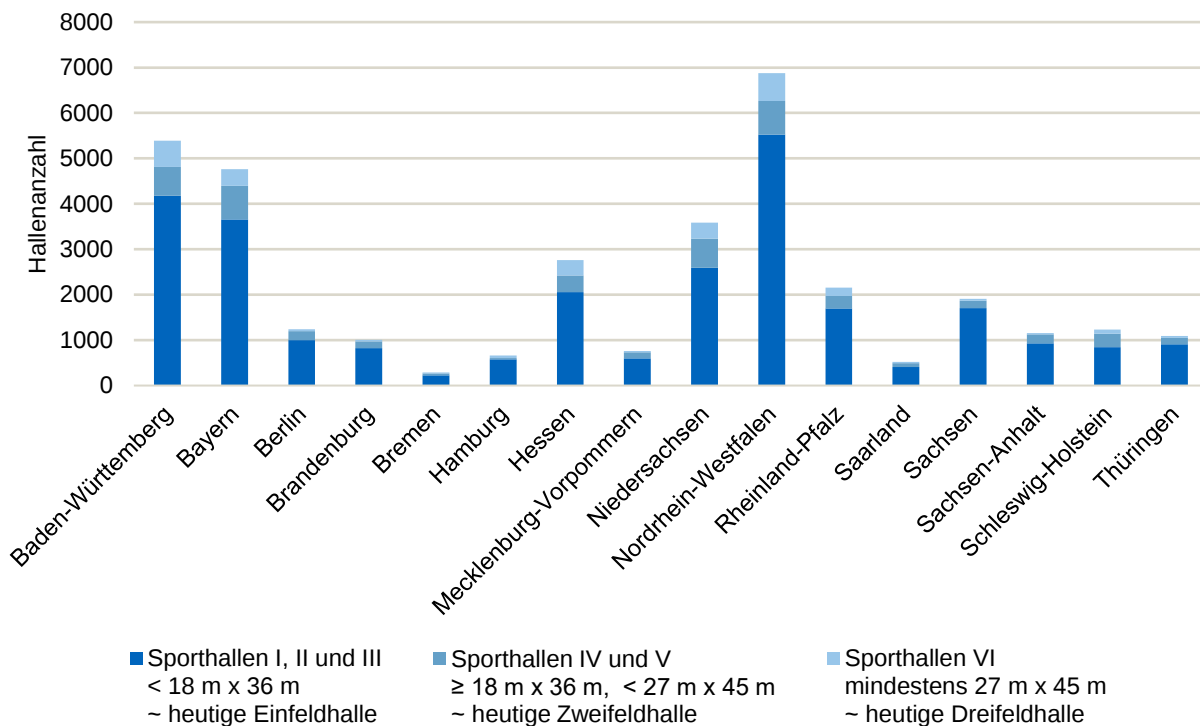


Abbildung 15: Verteilung der Sporthallen in Deutschland nach Größe (Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport et al., 2002) (eigene Darstellung)

Landeshauptstadt München

Auch bei den Sporthallen der Landeshauptstadt München zeigt sich die Mehrzahl an Hallen im Kleinhallensegment. Ergänzend zu den Sporthallen in kommunaler Hand sind in Abbildung 16 auch vereinseigene Sporthallen dargestellt. Neben dem Bestand an Sporthallen in den Jahren 2017 und 2020 ist zudem auch die geplante Entwicklung dargestellt. Anhand der vorliegenden Informationen über zukünftig geplante Sporthallenprojekte ist ersichtlich, dass sich die Anzahl an Zwei- und Dreifachhallen in den kommenden Jahren bis ca. 2030 nahezu verdoppeln wird, wogegen Einfachhallen aufgrund von Abriss weniger werden.

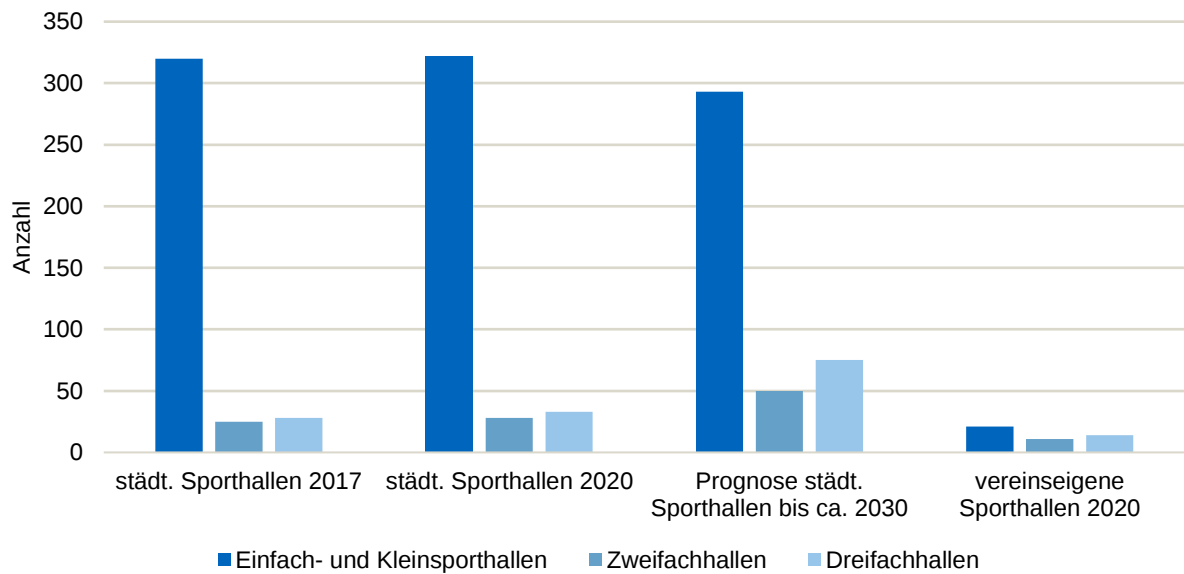


Abbildung 16: Verteilung des Sporthallenbestands der LHM nach Größe (Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 00329, 2021) (eigene Darstellung)

In Abbildung 17 ist neben der Verteilung des Sporthallenbestands nach Baujahr ebenfalls die Sporthallengröße ersichtlich. Bis 1950 finden sich vorwiegend Kleinsporthallen, teilweise wurden Einfachhallen realisiert. Bis Ende der 70er Jahre dominieren weiterhin Einfachhallen, ergänzend sind zunehmend auch Zweifach- und Dreifachhallen vertreten. Heute werden vorwiegend Zweifach- oder Dreifachhallen umgesetzt, auch wenn diese raumakustische Nachteile bei der Nutzung als Einzelhalle aufweisen. Laut einer Beschlussvorlage aus dem Jahr 2019 soll bei künftigen Planungen die Möglichkeit, Dreifeldhallen vorzusehen, geprüft werden, um den Breiten- und Vereinssport sowie Spitzensport zu fördern (Sitzungsvorlage Nr. 14-20 / V 13988, 2019).

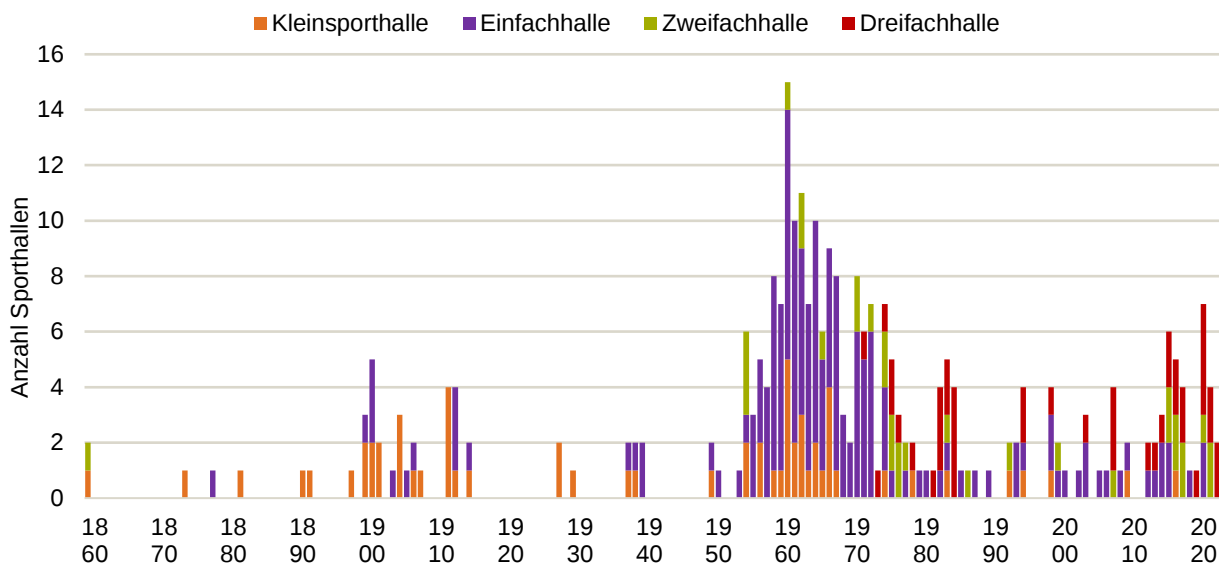


Abbildung 17: Verteilung der Sporthallen der LHM nach Baujahr und Größe (Daten aus CAFM und Datenbank Vermietung) (eigene Darstellung)

Auch bei den Sporthallen der Stadt Köln (siehe Abbildung 18) zeigen sich bis 1950 hauptsächlich Ausführungen im Kleinhallensegment (Kleinsport- und Einfachhallen). Danach nimmt der Anteil an Zweifach- und Dreifachhallen zu.

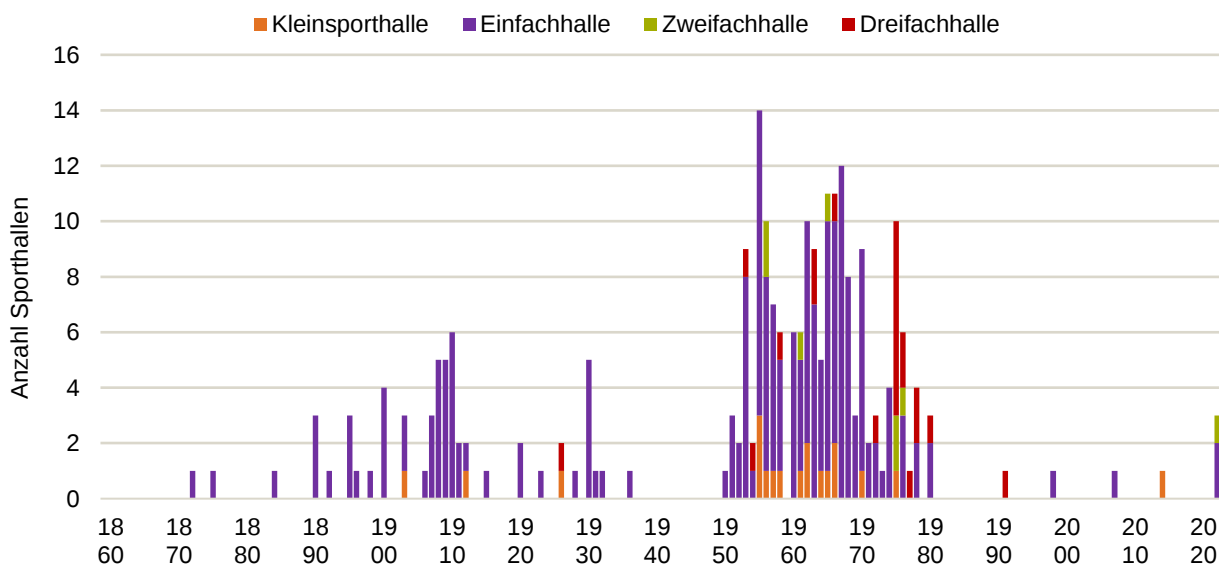


Abbildung 18: Verteilung der Sporthallen der Stadt Köln nach Baujahr und Größe (Stadt Köln, Persönliche Mitteilung, 22. Februar 2023) (eigene Darstellung)

Aus der Auswertung der Sporthallen der Landeshauptstadt München ergibt sich eine durchschnittliche Nettoraumfläche von 1.472 m². München liegt damit erheblich oberhalb der Auswertung nach BMVBS (2013) (siehe Tabelle 2). Dies wird unter anderem auf den in den letzten

Jahren gestiegenen Anteil im Zwei- und Dreifachhallensegment zurückgeführt. Es wurden 133 Sporthallen der LHM berücksichtigt, die der Hauptnutzung Sporthalle zugeordnet werden können und bei denen keine weitere Nutzung bekannt ist.

Tabelle 2: Durchschnittliche Raumflächen der Sporthallen der LHM (Daten aus CAFM, Auswertung von 152 Sporthallen) und Auswertungen der Bundesländer Baden-Württemberg, Brandenburg, Hansestadt Bremen und Sachsen-Anhalt (BMVBS, 2013) (eigene Darstellung)

	BGF [m²]	NRF [m²]
LHM	1.654	1.472
Bundesländer Baden-Württemberg, Brandenburg, Hansestadt Bremen und Sachsen-Anhalt	1.083	986

2.2.3. Eigentümerstruktur

Der Großteil der Sporthallen in Deutschland liegt in kommunaler Hand, wie die Zahlen aus der Sportstättenstatistik zeigen. Dies stellt im Vergleich zu anderen Sportstättentypen eine Besonderheit dar. So lag der Anteil der durch Kommunen oder sonstige durch die öffentliche Hand betriebenen Sporthallen laut der im Jahr 2000 durchgeführten Erhebung deutschlandweit bei 88,8 Prozent, in Bayern bei 81,9 Prozent. Weitere Betreiber von Sporthallen, wenn auch untergeordnet, sind Vereine. Der Anteil kommerzieller Betreiber*innen von Sporthallen liegt deutschlandweit nur bei 1,2 Prozent, in Bayern bei 0,9 Prozent. (Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport et al., 2002)

Im Rahmen des Sportentwicklungsberichts für die Jahre 2013 / 2014 wurde angegeben, dass 45,8 Prozent der Vereine in Deutschland im Besitz eigener Sportanlagen sind (C. Breuer, 2014). Im Vergleich zum Sportentwicklungsbericht 2017 / 18 ist dieser Anteil auf etwa 41 Prozent gesunken. Demnach nutzten knapp 63,5 Prozent bzw. insgesamt fast 57.000 Vereine kommunale Sporteinrichtungen (C. Breuer & Feiler, 2019). Im Vergleich zum Sportentwicklungsbericht für die Jahre 2020 / 2022 ist dieser Anteil konstant geblieben (C. Breuer & Feiler, 2021).

Landeshauptstadt München

In der Landeshauptstadt München zeigt sich eine ähnliche Verteilung, wobei über 80 Prozent der Sporthallen dem kommunalen Bereich zugeordnet sind (siehe Abbildung 19). Neben der Verteilung anhand der Gesamtheit an Sporthallen ist auch die Verteilung in Bezug auf Sporthalleneinheiten dargestellt (1 Sporthalleneinheit = 1 Hallenteil). Kommerziell betriebene Sporthallen sind hierbei nicht berücksichtigt. Klassische Sporthallen in kommerzieller Hand sind innerhalb des Stadtgebiets auch nicht bekannt. Besonderheiten stellen Sportstätten für Trendsportarten dar,

beispielsweise Boulderhallen (z. B. Boulderwelt München Ost, 2022) sowie Hallen für Soccer Five (z. B. Soccerworld Deutschland, 2022).

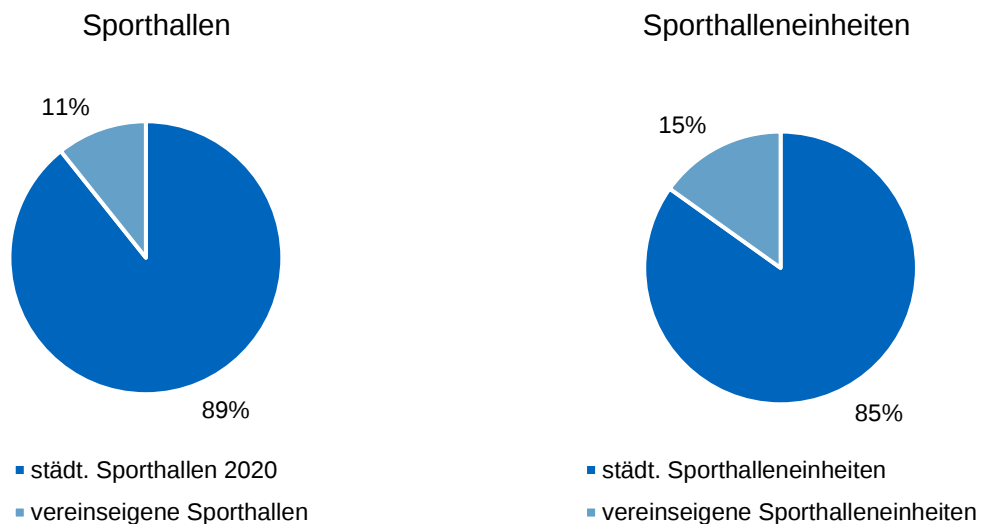


Abbildung 19: Eigentümerstruktur der Sporthallen bzw. -einheiten in München (Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 00329, 2021) (eigene Darstellung)

Die kommunalen Sporthallen der LHM umfassen Schulsporthallen mit Vereinsnutzung. Die LHM ist in der Regel Eigentümerin für städtische Schulen und fungiert zudem auch für staatliche Schulen im Stadtgebiet als Sachaufwandsträgerin. Somit umfassen die kommunalen Sporthallen die als Schulsporthallen genutzten Hallen sowohl an städtischen als auch an staatlichen Schulen.

2.2.4. Auslastung und Nutzungszeiten

Im Sinne der Nachhaltigkeit ist eine hohe Auslastung einer Sportstätte erstrebenswert. Hierfür ist für Neubauten eine Bedarfsanalyse bereits im Zuge der Projektentwicklung durchzuführen und im Zuge der Planung durch ein Nutzungsprogramm zu detaillieren, um eine Sporthalle bedarfsgerecht auszurichten. Darüber hinaus ist auch im Betrieb ein kontinuierlich zu überprüfendes Flächenmanagement zu betreiben. Als Richtwert für Bedarfs- und Belegungsplanung ist für Sporthallen eine Auslastung von 75 bis 80 Prozent anzustreben. (Bach & Ziemainz, 2004, 2004)

Sporthallen zeichnen sich als Sportanlagen aus, „die von Sportlern überwiegend regelmäßig und zum gleichen Zeitpunkt genutzt“ werden (Bach & Ziemainz, 2004). Sowohl für kommunale und vereinseigene Hallen ist die Nutzung in der Regel über Belegungspläne geregelt. Digitale Vergabesysteme bieten Vorteile, darunter die Möglichkeit zur kurzfristigen Weitergabe von Belegungszeiten bei Ausfall einer Buchung.

Wesentliche Nutzungen von Sporthallen sind der Schul- und Vereinssport. Der Schulsport zählt zum Sektor der öffentlichen Sportverwaltung. Ein Großteil der vorliegenden Untersuchungen und Statistiken (diese beschränken sich bisher auf ausgewählte Städte bzw. Kommunen) geht aufgrund des demografischen Wandels von einem Rückgang der Schulsportstunden aus (an der Heiden et al., 2014), ist jedoch von der regionalen Entwicklung abhängig. Auch der organisierte Sport, ein weiterer Sektor des Sportsystems in Deutschland, bleibt nicht unberührt vom demografischen Wandel. Nichtsdestotrotz waren die 2018 beim DOSB durch die Landessportbünde gemeldeten Zahlen an Vereinsmitgliedern auf stabilem Niveau (DOSB, 2022). Jedoch führte die COVID-19-Pandemie nach einer Befragung im Auftrag des BISp im Jahr 2021 zu einem zwischenzeitlichen, leichten Mitgliederrückgang (– 3,3 Prozent). Welche Auswirkungen sich aus der Pandemie auf die langfristige Entwicklung der Mitgliederzahlen ergeben, ist mit weiteren zukünftigen Studien zu untersuchen (C. Breuer et al., 2021).

Im Allgemeinen ist für Sporthallen eine ganztägige Benutzung sowie eine durchschnittliche Nutzung von sieben Tagen pro Woche (Schloman et al., 2015, 167 f.) charakteristisch. Die DIN 18599 nimmt als tägliche Nutzungszeiten 08:00 bis 23:00 Uhr an mit einer Anzahl an jährlichen Nutzungstagen von 250 Tagen (DIN 18599-10:2018-09). Berücksichtigt man Feiertage und Ferienzeiten, in denen bisher die Hallen meist geschlossen sind, erscheinen diese Annahmen realistisch. Gerade in Ballungszentren sind jedoch vielerorts die Forderungen laut, dass Sportstätten auch in Ferienzeiten geöffnet sind.

Landeshauptstadt München

Sämtliche Sporthallen der Landeshauptstadt München werden tagsüber (8 bis 17 Uhr) durch den Schulsport genutzt. Wochentags ab 17 bzw. 18 Uhr sowie an Wochenenden stehen die Hallen dem Vereinssport zur Verfügung. Darüber hinaus steigt aufgrund des für München prognostizierten Bevölkerungswachstums (von 1,81 Mio. in 2024 auf 1,85 Mio. Einwohner*innen bis 2040) weiterhin der Bedarf nach Hallennutzungszeiten. (Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 00329, 2021)

Die Belegungszeiten von Sportanlagen bei der LHM sind wie in Tabelle 3 ersichtlich festgelegt. Dabei ist der Lärmschutz der Nachbar*innen inklusive der Dienstwohnungen der jeweiligen technischen Hausverwaltungen zu beachten und kann ein limitierender Faktor sein. Zudem ist die Zugangsregelung organisatorisch zu regeln. (Sitzungsvorlage Nr. 08-14 / V 07034, 2011).

Tabelle 3: Nutzungszeiten der Sportanlagen der LHM (Darstellung nach Sitzungsvorlage Nr. 08-14 / V 07034, 2011)

	Montag – Freitag	Samstag, Sonntag, Feiertage, Ferien
Sportanlagen mit besonderem Format (Zweifach- und Dreifachhallen, Schulschwimmbäder, Kunstrasenplätze)	jeweils nach Beendigung der schulischen Belegung bis 23 Uhr	7 bis 23 Uhr
Sportanlagen mit einfachem Format (Einfach- und Kleinsporthallen, Lehrschwimmbecken, Freisportanlagen)	jeweils nach Beendigung der schulischen Belegung bis 22 Uhr	8 bis 22 Uhr

Im Bereich der Zweifach- und Dreifachhallen ist die Auslastung weitgehend hoch, freie Nutzungszeiten gibt es hauptsächlich in der letzten Abendstunde (siehe Tabelle 4). Es wird eine steigende Nachfrage nach Hallennutzungszeiten für den Vereinssport aufgrund der wachsenden Einwohnerzahl Münchens prognostiziert. (Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 00329, 2021)

Tabelle 4: Außerschulische Belegung der städtischen Sporthallen der LHM im Jahr 2019 (Darstellung nach Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 00329, 2021)

Hallentypen	Montag bis Freitag 17:00 bis 20:00 Uhr	Montag bis Freitag 20:00 bis 21:00 / 22:00 Uhr	Montag bis Freitag 21:00 / 22:00 bis 22:00 / 23:00 Uhr
Zwei- und Dreifachsporthallen	94,2 %	90,7 %	46,4 %
Einfach- und Kleinsporthallen	78,9 %	67,6 %	28,6 %

2.2.5. Sportarten

Die Nutzungsmöglichkeiten als wettkampfgerechter Sportraum sind in einer Einzelhalle begrenzt. Dort können unter Berücksichtigung der Regelmaße für Länge, Breite und empfohlene Höhe nach den Bestimmungen der Sportfachverbände nur 9 von 24 in DIN 18032-1 (vgl. DIN 18032-1:2014-11, Tabelle A.1) aufgeführte Sportarten ausgeführt werden. Dagegen eignen sich die Zweifach- und Dreifachhallen nach DIN 18032-1:2014-11 für die meisten Sportarten als wettkampfgerechte Fläche. Schon nach Roskam (1961) sind die Maße von 21 x 42 x 7 m die Mindestgröße für den Großteil an Sportarten des Ballsports und Turnens, die auch beim klassischen Schulsport im Mittelpunkt stehen.

Vor diesem Hintergrund ist zu betonen, dass sich die Sportnachfrage aufgrund zunehmender Alterung der Bevölkerung, dem früheren Einstieg von Kindern in den Sport (Eltern-Kind-Turnen, Spielturnen usw.) und dem steigenden Interesse aller Altersgruppen an gesundheitsbezogenem Sport wandelt. Die Nachfrage für nicht wettkampfausgerichteten Sport wird daher immer größer werden. Dieser Bedarf, beispielweise Gymnastik oder Yoga, kann auch in Sporträumen realisiert werden, die für kleinere Gruppen geeignet sind (Jägemann & Wohltmann, 2006).

Landeshauptstadt München

Die Belegung der kommunalen Sporthallen erfolgt nach der Vergaberichtlinie für Schulsporthallen der LHM. Zweifach- und Dreifachhallen sind schwerpunktmäßig den wettkampforientierten Sportangeboten vorbehalten, die aufgrund der Sportart spezifischen Anforderungen auf diese Hallengröße angewiesen sind. Dazu zählen Badminton, Basketball, Handball, Hockey, Trampolinturnen und Volleyball. Dagegen sind Einfach- und Kleinsporthallen primär für Sportangebote vorgesehen, die nach allgemeinem Verständnis keine Zweifach- und Dreifachhallen benötigen bzw. für die ein einfaches Hallenformat ausreichend ist. (Sitzungsvorlage Nr. 14-20 / V 15958, 2019)

2.2.6. Raumprogramm

Neben den Sportflächen umfassen Sporthallen Nebenräume wie Umkleiden, Geräteräume etc. Nach DIN 18032 (DIN 18032-1:2014-11) sind im Folgenden aufgeführte Nebenräume zu berücksichtigen (siehe Tabelle 5). Je nach Größe der Sportfläche gibt die aktuelle bestimmte Norm Mindestflächen vor.

Tabelle 5: Nebenräume für Sporthallen (DIN 18032-1:2014-11)

Nebenräume	Einfachhalle	Zweifachhalle	Dreifachhalle
Eingangsbereich	15 m²	30 m²	30 m²
Umkleideraum, Wasch- und Duschaum	2 Kleineinheiten²	2 Großeinheiten³, Kombination oder 4 Kleineinheiten⁴	3 Großeinheiten⁵, Kombination oder 6 Kleineinheiten⁴
Toiletten	1 Einheit je Wasch-/Duschbereich, 1 barrierefreies WC im Hallenbereich, 2 im Eingangsbereich (davon 1 barrierefrei)		
Lehrer-, Übungsleiter- und Schiedsrichterraum	2 Räume		
Geräteraum⁴	4,5 m x 15 m x 2,5 m	4,5 m x 21 m x 2,5 m	4,5 m x 27 m x 2,5 m
Reinigungsgeräte und Putzmittelraum	1 Raum		
Hallenwartraum	–	Bei Bedarf	
Räume für Technik	Anzahl und Größe richtet sich nach Heizungsart und technischer Ausstattung bzw. nach den örtlichen Versorgungsverhältnissen		

Die hier aufgeführten Anforderungen an Nebenräumen haben sich in den letzten 50 Jahren nur geringfügig verändert. Dennoch ergeben sich heute erhöhte Anforderungen an die Barrierefreiheit (seit 2010 in der DIN 18040-1:2010-10 verankert) und Inklusion, die Auswirkungen auf das Raumprogramm im Sinne von teilweise vergrößerten Raumflächen (z. B. Umkleiden, Durchgangsbreiten, Erschließung etc.) haben.

Darüber hinaus ist im Zuge der steigenden Nachfrage für nicht wettkampfausgerichteten Sport (siehe Kapitel 2.2.5) die Ergänzung von regelkonformen Sportanlagen mit regeloffenen Sporträumen, beispielsweise Gymnastik- oder Konditionsräumen, zu fördern (Bach et al., 2018).

Eine Besonderheit stellt die Ausführung als Versammlungsstätte dar. Das heißt, dass die Halle für Veranstaltungen mit mehr als 199 Zuschauern genutzt werden kann. In diesem Fall sind die Anforderungen der Versammlungsstättenverordnung zu berücksichtigen. Eine Ausführung als Versammlungsstätte hat u. a. Auswirkungen auf den Brandschutz sowie beispielsweise die Anzahl und Größe der Toiletten, die Größe des Foyers, der Lüftungsanlage etc.

Dazu zählen in der Regel beispielsweise Sporthallen mit Mehrzwecknutzung, die sich dadurch auszeichnen, dass sich diese „durch zusätzliche Ausstattung, zusätzlichen Ausbau und / oder

² je mindestens 6 m Banklänge, je 2 Waschstellen und je 3 Duschen

³ je mindestens 12 m Banklänge, je 2 Waschstellen und je 6 Duschen

⁴ Mindestmaße für Tiefe, Gesamtbreite und lichte Höhe

zusätzliche Räume“ auch für außersportliche Nutzungen, wie z. B. kulturelle Veranstaltungen eignen (DIN 18032-1:2014-11).

Landeshauptstadt München

Auch im Standard-Raumprogramm der Landeshauptstadt München sind Sportnebenräume berücksichtigt. So ist beispielsweise je Halle ein Konditionsraum (35 m²) einzuplanen. Eine Zuschauertribüne ist nur bei Dreifachhallen standortbezogen zu prüfen. Bei einer Entscheidung für eine Tribüne ist auch eine Verkaufsstelle für außerschulische Nutzungen vorzusehen. (Sitzungsvorlage Nr. 14-20 / V 13988, 2019)

Mit einem in 2021 veröffentlichten Leitfaden hat die LHM Anforderungen an die inklusionsorientierte Gestaltung von Schulsportstätten zusammengestellt (LHM-RBS, 2021). Hieraus ergeben sich teilweise über die DIN 18040 hinausgehende Anforderungen, beispielsweise im Bereich der Flurbreiten.

In einer Auswertung der Nutzungsspezifika der Sporthallen der Landeshauptstadt München zeigt sich insbesondere ein hoher Anteil, über 50 Prozent, an Sporthallen mit einer anliegenden Freisportanlage. In diesem Zusammenhang wurde beobachtet, dass diese oftmals Teil übergeordneter oder örtlicher Grünflächen sind. Mit der Nachhaltigkeit von Sportfreianlagen beschäftigt sich die Dissertation von Katthage (2022).

Jeweils über 10 Prozent der Hallen verfügen über eine zusätzliche Kleinsporthalle, einen Konditionsraum oder ein Schwimmbad. Weitere Räumlichkeiten für spezielle Nutzungen sind weniger ausgeprägt und es gibt sie nur in Einzelfällen (siehe Abbildung 20). Dabei finden sich Kegelbahnen hauptsächlich in Hallen von den 1960er bis in die 1980er Jahre, Sporthallen mit Bühne wurden während der 1960er Jahre und Schießstände in den 1980er Jahren umgesetzt.

In Einzelfällen finden sich sonstige Nutzungen wie Dienstwohnungen oder Kindertagesstätten innerhalb der Sporthallengebäude.

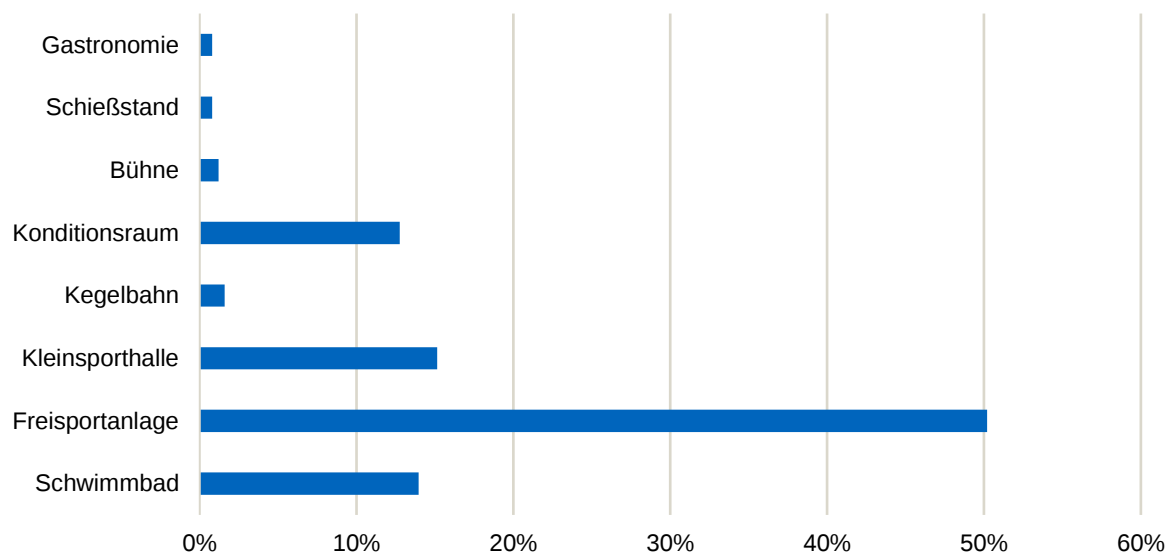


Abbildung 20: Auswertung der Sporthallen der LHM nach Nutzungsspezifika (Daten aus CAFM und Datenbank Vermietung, Untersuchungsrahmen 248 Liegenschaften) (eigene Darstellung)

2.2.7. Kubatur

Die Kubatur einer Sporthalle zeichnet sich als kompaktes Rechteck ergänzt durch Nebenräume wie Geräteräume, Umkleiden etc. aus. Zu unterscheiden ist hierbei die Anordnung als Anbauform, Umbauform oder Flügelform (siehe Tabelle 6). Das Tragwerk einer Sporthalle zeichnet sich durch den Bedarf großer Tragwerksspannweiten aus. Typische Dachformen sind Flach, Pult- oder Satteldach (Ludwig et al., 2014).

Tabelle 6: Ausbildung der Kubatur von Sporthallen (in Anlehnung an Ludwig et al., 2014; Roskam, 1961, Tabelle C) (eigene Darstellung)

Anbauform	Umbauform	Flügelform

Insbesondere dann, wenn Zuschaueranlagen vorhanden sind, sind die Nebenräume meist auf zwei Ebenen organisiert. Zudem sind Hallen oftmals zur Hälfte in den Boden abgesenkt, um das Bauvolumen zu reduzieren (Ludwig et al., 2014). Weitere Vorteile sind die Einbindung in das Höhenprofil der umliegenden Umgebung und eine barrierefreie Erschließung von Zuschaueranlagen.

Um in Großstädten auch bei hohem Flächendruck Sporthallen realisieren zu können, finden sich auch Beispiele für komplett abgesenkte Sporthallen wie die Sporthalle am Enkplatz in Wien. Neben der Überbauung mit einer Schule wird die ebenerdige Dachfläche auf umgebender Geländehöhe als Outdoor-Sportplatz genutzt (Burtscher – Durig ZT GmbH, 2019, siehe auch Abbildung 21).

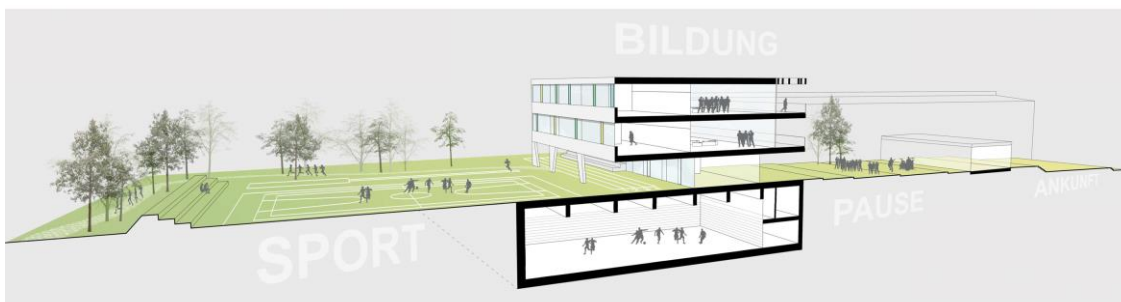


Abbildung 21: Schulerweiterung ONMS I + NMS II ENKPLATZ (Burtscher – Durig ZT GmbH, 2019)

Gerade in Ballungsräumen konkurrieren bei der Nutzung der Dachfläche die Gewinnung von erneuerbarer Energie, die Ausführung als Gründach und eine Ausführung als Aufenthaltsfläche bzw. Sportfläche. Auch Kombinationen sind unter der Berücksichtigung bestimmter Anforderungen, z. B. ausreichend Reihenabstand zur Pflege bei Photovoltaik über Grün, möglich.



Sporthalle Engadiner Straße



Sporthalle Bauhausplatz



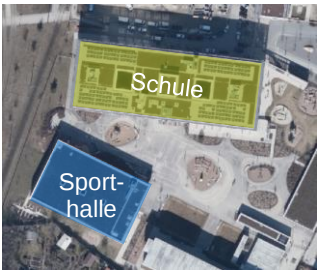
Sporthalle Schlierseestraße

Abbildung 22: Unterschiedliche Dachflächennutzung auf Sporthallen der LHM (Google Maps, o.D.)

Landeshauptstadt München

Insbesondere Vereinssporthallen sind meistens als freistehende Hallen konzipiert. Dagegen sind Schulsporthallen in der Regel mit dem Schulgebäude verbunden. Entweder sind die Hallen direkt an einer Fassadenseite anliegend oder in das Schulgebäude integriert (insbesondere Kleinsport-hallen), alternativ kann die Verbindung auch über einen oberirdisch oder unterirdisch ausgebildeten Verbindungsgang erfolgen. Allgemein befinden sich die meisten Schulsporthallen der LHM auf dem die Schule umgebenden Gelände. Die Untersuchung der städtischen Sporthallen ergibt, dass bis 1951 der Großteil der Hallen in das Schulgebäude integriert ausgebildet wurde. Ab 1951 bis heute wurde über die Hälfte der Sporthallen der Landeshauptstadt München als freistehende oder nahezu freistehende Gebäude (z. B. nur Verbindungsgang) konzipiert. Beispiele sind in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7: Anschluss von Sporthallen am Beispiel von Schulsporthallen der LHM (Google Maps, o.D.) (eigene Darstellung)

Freistehend	Einseitiger Anbau
 Grundschule Bauhausplatz mit unterirdischem Verbindungsgang	 Gisela-Gymnasium mit Anbau an einer Seite
 Grundschule an der Zielstattstraße mit oberirdischem Verbindungsgang	 Mittelschule an der Wörthstraße mit Anbau an einer Seite

Auch in der Landeshauptstadt München finden sich komplett abgesenkte (z. B. Luisenstr. 7) oder teilversenkte Sporthallen (z. B. Am Staudengarten 2). Bei heutigen Neubauprojekten von Schulen werden die dazugehörigen Sporthallen meist abgesenkt ausgeführt (vgl. Fideliostraße,

Gmunder Straße) und die Dachflächen teilweise als begehbare Nutzflächen (z. B. Allwetterplatz) genutzt.

2.2.8. Weitere energetische Charakteristika

Grundsätzlich zeichnet sich die Aufteilung des Endenergieverbrauchs bei Sporthallen auf einen größeren Anteil für Wärme (vgl. Lampersberger et al., 2017 mit 67 Prozent) und einen geringeren Anteil für Strom aus. Der Wärmebedarf geht hauptsächlich auf die Beheizung zurück, bei Luftheizsystemen auch auf die Lüftung. Ebenso entfällt im Falle einer mechanischen Lüftungsanlage ein bedeutender Anteil an Hilfsstrom auf die Lüftung, gefolgt von Strom für Beleuchtungsanlagen. Insbesondere bei als Versammlungsstätten klassifizierten Sporthallen (Sporthallen mit Zuschauerbereich) sind Lüftungsanlagen erforderlich. Bei reinen Sporthallen (ohne Zuschauertribüne) lässt sich der erforderliche Außenluftvolumenstrom in der Regel auch nur durch Fensterlüftung umsetzen. Ferner hat Hilfsstrom für die Wärmebereitstellung, die sicherheitstechnischen Anlagen, die Medientechnik und gegebenenfalls die Gastronomie in der Regel einen geringen Anteil am Stromverbrauch (Lampersberger et al., 2017, 43 f.). Anlagen zur Kühlung des Gebäudes sind in kommunalen Sporthallen bisher nicht verbreitet (Lampersberger et al., 2017, 43 f.; Schlomann et al., 2015, 167 f.). Bei zunehmenden Temperaturen bzw. Hitzetagen aufgrund des Klimawandels kommt dem sommerliche Hitzeschutz (soweit möglich durch passive Maßnahmen) auch in Deutschland eine immer größere Bedeutung zu.

Es bestehen bisher vorwiegend Studien, die den Energieverbrauch von Sporthallen auf Grundlage von Mittelwerten abbilden, siehe Tabelle 8. Darunter fällt beispielweise die Untersuchung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik „Energieverbräuche von Bildungsgebäuden in Deutschland“. In der Studie wurden 14 Sporthallen, davon vier Schulsportstätten ausgewertet. Weitere Auswertungen bieten die Vergleichswerte für den Energieverbrauch von Nichtwohngebäuden nach Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung [BBSR], 2019 sowie die stetig fortgeschriebene Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand (BMWi & BMI, 2021). Allgemein variieren die Verbrauchswerte aus der Literatur erheblich.

Tabelle 8: Mittel- bzw. Vergleichswerte für die Gebäudekategorie Sporthalle (eigene Darstellung)

Quelle	Mittelwert / Vergleichswert Wärme [kWh/m ² _{BGfA}] bzw. [kWh/m ² _{NGfA}]	Mittelwert / Vergleichswert Strom [kWh/m ² _{BGfA}] bzw. [kWh/m ² _{NGfA}]
Kluttig et al., 2003	262 ⁵	64 ⁵
BBSR, 2019, differenziert nach Energieaufwandsklasse	Sehr hoch: 523,5 ⁶ Hoch: 407,2 ⁶ Mittel: 222 ⁶ Gering: 113,5 ⁶ Sehr gering: 66,1 ⁶	Sehr hoch: 188,2 ⁷ Hoch: 103,3 ⁷ Mittel: 43,3 ⁷ Gering: 28,8 ⁷ Sehr gering: 19 ⁷
BMWi & BMI, 2021	90,6 ⁶	18,9 ⁷

Energieverbrauchswerte sind jedoch zwangsläufig vom Nutzungsverhalten abhängig. Zu nennen sind hier für Sporthallen beispielhaft die temporären Schließungen öffentlicher Sporthallen im Zuge der COVID-19-Pandemie sowie Auswirkungen von Flüchtlingswellen (teilweise temporäre Unterbringung in kommunalen Sporthallen).

Im Gegensatz zum Verbrauchswert berücksichtigt der berechnete Energiebedarfswert die bauliche Ausprägung eines Gebäudes und geht auf die vorgesehene Nutzung anhand bestimmter Kennwerte ein. Bedarfswerte, in Deutschland nach dem Bilanzierungsverfahren der DIN 18599 vorgeschrieben, liegen in der Regel oberhalb der tatsächlichen Verbrauchswerte und sind theoretische Kennwerte, da sie auf festgelegten Parametern beispielsweise zum Lüftungsverhalten, zu Innenraumtemperaturen und Nutzungszeiten basieren. Die Verwendung einheitlich festgelegter und nachvollziehbarer Parameter fördert jedoch die Vergleichbarkeit des Kennwerts. (BMVBS, 2013)

Im Rahmen der BMVBS Online-Publikation „Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland“ wurden Energiebedarfskennwerte für Nichtwohngebäude abgeleitet (BMVBS, 2011). In dieser Studie wurden für Nichtwohngebäude aus elf Hauptkategorien jeweils Typengebäude gebildet und mit Hilfe energetischer Bedarfsberechnungen nach DIN 18599 anhand von synthetischen Gebäudemodellen Endenergiebedarfswerte berechnet. In der Kategorie Sporthallen wurden private Sporthallen, Schul- und Hochschulsportthallen sowie Tennishallen untersucht. Für die Berechnung wurden Annahmen der jeweils geltenden energetischen Qualität der Gebäudehülle nach Baugepflogenheiten und Wärmeschutzvorschriften getroffen sowie die

⁵ Bezogen auf die gesamte Grundfläche

⁶ Teilenergiekennwert / Vergleichswert für Heizung und Warmwasser, ohne Kühlung und Be- und Entfeuchtung

⁷ Teilenergiekennwert / Vergleichswert für Lüftung und Beleuchtung, ohne Kühlung

vorherrschende Anlagentechnik und die Endenergiebedarfe für vier verschiedene Baualtersklassen erhoben. Diese geben für Sporthallen als Wärmeübergabesystem statische Systeme und Luftheizung als vorherrschend an („oft“). „Gelegentlich“ kommen auch Flächenheizungen zum Einsatz. Die Wärmeerzeugung erfolgt „überwiegend“ über Gas oder Öl betriebene Heizkessel. Die Trinkwassererzeugung erfolgt „überwiegend“ zentral und „gelegentlich“ ist eine mechanische Lüftungsanlage vorhanden. Eine Klimatisierung spielt nach BMVBS, 2011 bei Sporthallen keine Rolle. Für vier festgelegte Baualtersklassen ergeben sich im Rahmen der Studie die in Tabelle 9 dargestellten Ergebnisse. Dabei wurden keine Teil- oder Komplettsanierungen berücksichtigt, sondern die Gebäude entsprechend einem unsanierten Zustand des jeweiligen Baujahrs bilanziert. Ebenso wurde nicht zwischen den Konstruktionsarten unterschieden. Bei Sporthallen hat sich die Art der Wärmeübergabe als charakteristisches Merkmal gezeigt, bei Gebäuden neueren Baujahrs und damit besserer energetischer Qualität hat diese jedoch immer weniger Auswirkung auf den Energiebedarf und wird daher für Sporthallen ab 1995 nicht mehr differenziert. (BMVBS, 2011)

Tabelle 9: Endenergiebedarfswerte von Sporthallen nach Baualtersklasse (BMVBS, 2011) (eigene Darstellung)

Baualtersklasse	Endenergiebedarf [kWh/m²a]	Wärmeübergabe
1 (bis 1976)	400 – 500	Gas-Strahlungsheizung
	450 – 550	Deckenstrahlplatten, Fußbodenheizung
	500 – 600	Heizkörper, Luftheizung
2 (1977 bis 1983)	300 – 350	Gas-Strahlungsheizung)
	350 – 450	Deckenstrahlplatten, Fußbodenheizung, Heizkörper, Luftheizung
3 (1984 bis 1994)	250 – 300	Gas-Strahlungsheizung
	300 – 400	Deckenstrahlplatten, Fußbodenheizung, Heizkörper, Luftheizung
4 (ab 1995)	200 – 300	Keine weitere Differenzierung

Einer Erhebung aus dem Projekt EnobDataNWG zufolge verteilen sich die Energieträger zur Wärmeerzeugung in Sportgebäuden gemessen an der Anzahl an Hallen in Deutschland wie folgt:

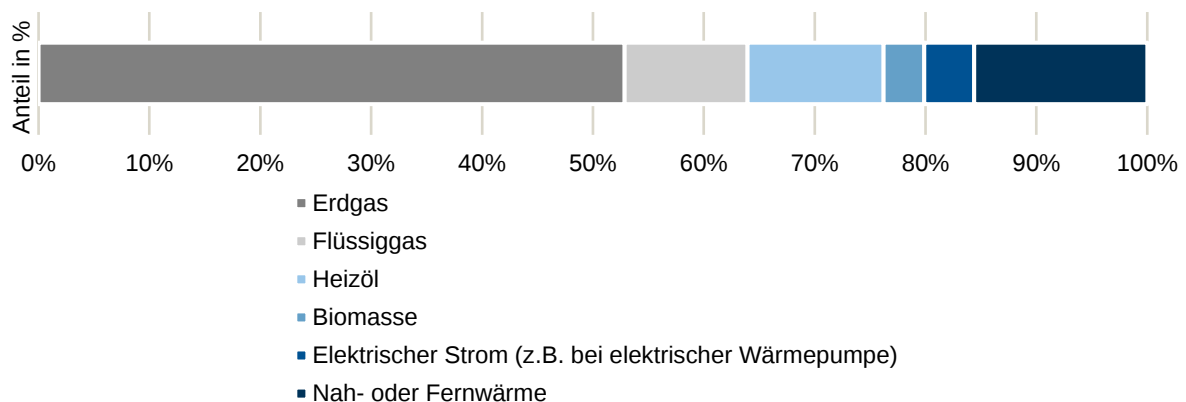


Abbildung 23: Energieträger in Sportgebäuden in Deutschland (IWU et al., 2022) (eigene Darstellung)

Landeshauptstadt München

In Abbildung 24 ist die Verteilung der Sporthallen der Landeshauptstadt München nach Baujahr und Größe in Verbindung mit den wesentlichen Entwicklungen der Anforderungen an den Wärmeschutz veranschaulicht. In der Abbildung ist ersichtlich, dass ein wesentlicher Anteil der Hallen (59 Prozent) vor Inkrafttreten der ersten Wärmeschutzverordnung erbaut wurden.

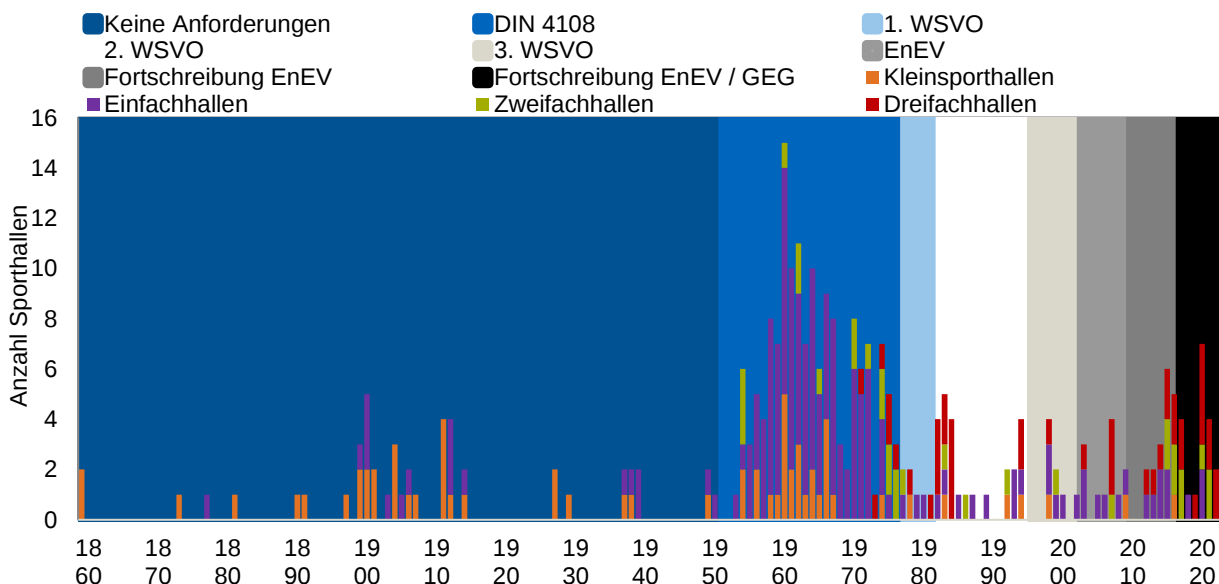


Abbildung 24: Auswertung der Sporthallen der LHM nach Baujahr, Größe und Abschnitte mit wesentlichen Änderungen der Anforderungen an den Wärmeschutz (Daten aus CAFM und Datenbank Vermietung; Gierga & Erhorn, 1994; IWU et al., 2021; Reiß et al., 2013) (eigene Darstellung)

Bei den Sporthallen der LHM dominiert aktuell die Wärmeerzeugung über Fernwärme, gefolgt von gasbetriebenen Heizkesseln (siehe Abbildung 25). Dabei ist die Anschlussmöglichkeit für Fernwärme auf das Fernwärmeanschlussgebiet im Stadtgebiet München begrenzt. Ab dem Jahr

2007 finden sich Hallen, bei denen die Dachflächen mit Photovoltaikmodulen belegt sind. Informationen zur jeweiligen Wärmeübergabe liegen nur in Einzelfällen vor. Bei Sporthallen ab Baujahr 1995 wurde auf Grundlage der Planungsvorgaben der LHM die Wärmeübergabe in Sporthallen als Deckenstrahl- oder Fußbodenheizung ausgeführt.

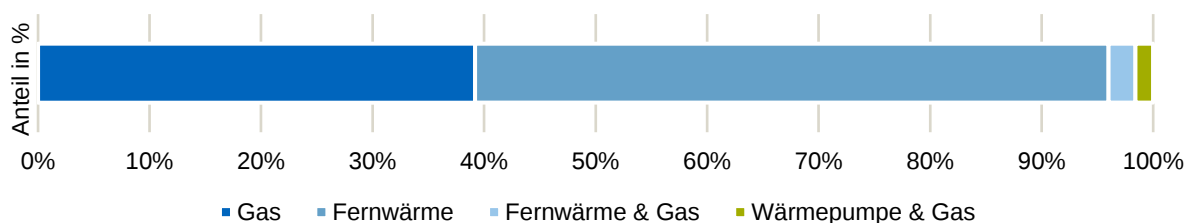


Abbildung 25: Art der Energieerzeugung der Sporthallen der LHM (Daten aus dem Energieinformationssystem der LHM, Untersuchungsrahmen 248 Liegenschaften) (eigene Darstellung)

Der Trinkwarmwasserbedarf ist stark von den Nutzungscharakteristika abhängig und variiert in der Regel zwischen Schulsport (nach Erfahrungen wenig Bedarf) und Vereinsnutzung (Bedarf vorhanden) sowie Wettkampfbetrieb (ebenfalls Bedarf vorhanden). Gemäß den Planungsvorgaben der LHM ist jeweils ein realistisches Verbrauchsprofil der vorgesehenen Nutzung zu erstellen und auf dieser Basis der Trinkwarmwasserbedarf zu bilanzieren.

Aufgrund der Einbindung der Schulsporthallen in das Schulgelände zeigt sich, dass im Bestand im Regelfall keine separaten Strom-, Wärme- oder Wasserzähler für die Sporthallen vorhanden sind. Es liegt in den meisten Fällen je ein Gesamtzähler pro gesamte Liegenschaft vor, Verbräuche einzelner Gebäude bzw. Nutzungen werden nicht separat gezählt. Energieverbrauchswerte liegen für Sporthallen der LHM daher nur in Einzelfällen bei freistehenden Sporthallen vor.

2.2.9. Sportfunktionale Einbauten

Sporthallen sowie Sportnebenräume wie beispielsweise Mehrzweck- oder Konditionsräume sowie teilweise auch Geräteräume sind mit einem Sportboden ausgestattet. Ein Sportboden hat besondere sportfunktionelle (z. B. Verformung, Ebenheit, Geräuschentwicklung), schutzfunktionelle (z. B. Kraftabbau, Verformung, Gleitverhalten) und technische (z. B. Schlagfestigkeit, Belastbarkeit, Bodenöffnung) Eigenschaften zu erfüllen (DIN 18032-2:2001-04).

Der erste spezielle Sportboden wurde nach dem zweiten Weltkrieg als Schwingboden (siehe Kapitel 3.1.7) entwickelt. Die Anforderungen an Sportböden sind bis heute stetig gewachsen und komplexer geworden. Um diese zu erfüllen, haben sich verschiedene Konstruktionsarten etabliert. (Mund, 1998)

Grundsätzlich wird heute zwischen vier Systemen von Sportböden unterschieden: punktelastisch, flächenelastisch, mischelastisch (punktelastisch mit flächenversteifenden Komponenten) und kombiniertelastisch (flächenelastisch mit punktelastischer Obersicht). Während ein punktelastischer Sportboden einen nachgiebigen, biegeweichen Boden mit einer eng an die Belastungsfläche angepassten Verformungsmulde darstellt, zeichnet sich ein flächenelastischer Sportboden als nachgiebiger, biegesteifer Boden mit großflächiger Verformungsmulde aus (DIN 18032-2:2001-04). Den größten Marktanteil bei den Sportbodenbelägen hat Linoleum, weitere Alternativen sind Parkett, Polyvinylchlorid (PVC), Polyurethan (PUR) oder Kautschuk (Stadionwelt, 2024).

Die LHM präferiert die Ausführung von flächenelastischem Sportboden, u. a. aufgrund von Vorteilen für den inklusionsorientierten Sport (LHM-RBS, 2021), er hat jedoch in der Regel eine höhere Aufbauhöhe und raumakustische Nachteile.

Wände müssen nach DIN 18032-1:2014-11 ballwurfsicher, ebenflächig, geschlossen und splitterfrei sein und keine rauen Oberflächen besitzen, dies gilt bis in 2 Meter Höhe über dem Fußboden. Meist werden spezielle Prallwände eingesetzt, die zusätzlich dämpfende Eigenschaften haben, um den Anprall der Sportler*innen, z. B. aus dem dynamischen Lauf, zu dämpfen. Diese bestehen aus einer Tragkonstruktion und einem Oberbelag, meist aus Brettsperholz. Zur Reduktion der Schallpegel und den Nachhallzeiten sollte ein zusätzliches Schallabsorbermaterial integriert und die Oberfläche mit schmalen Fugen oder einer Lochung ausgeführt werden.

Zur Teilung von Mehrfachhallen werden in der Regel motorisch betriebene Trennvorhänge, bestehend aus PVC-freiem Kunstleder, nach DIN 18032-4:2002-08 ausgeführt.

Ebenfalls werden in Sporthallen fest verbaute, über Bodenhülsen zu verankernde Sportgeräte (z. B. Sprossenwand oder Reck), nach DIN 18032-6:2014-07 vorgesehen. Eine Empfehlung für die Grundausstattung für genormte Hallentypen bietet die Orientierungshilfe „Geräteausstattung für Hallen für Turnen und Sport“ (Bundesinstitut für Sportwissenschaft [BISp], 2008).

Soweit eine Halle als Versammlungsstätte mit Tribüne ausgeführt ist, werden in der Regel entsprechende Einrichtungen wie festverbaute oder ausfahrbare Tribünen als Zuschauerplätze vorgesehen.

Die genannten sportfunktionalen Bauteile werden – soweit vorhanden - bei der anschließenden Fallstudie berücksichtigt.

Weitere typische Möblierungsstücke bei Sporthallen sind Garderobenbänke in den Umkleiden. Diese sind in vorliegender Arbeit jedoch nicht berücksichtigt.

2.3. Zusammenfassung und Ergänzung der bautypologischen Clusterung von Sporthallen mit sporthallenspezifischen Merkmale

Aus den in Kapitel 2.2 unter anderem am Beispiel des Gebäudebestands der Landeshauptstadt München beschriebenen Merkmalen lassen sich folgende Feststellungen zusammenfassen:

- **Verteilung nach Baujahr und Zustand:** Ab 1954 bis etwa 1978 ist in Deutschland ein regelrechter Bauboom von Sporthallen zu verzeichnen, Hallen aus diesem Bauzeitraum (vorwiegend BAK II) bilden etwa die Hälfte des Gebäudebestands der Sporthallen in Deutschland sowie der Landeshauptstadt München ab (siehe Kapitel 2.2.1). Der Anteil der Sporthallen aus BAK I, III und IV liegt jeweils bei 15 bis 20 Prozent.

Am Beispiel der Hallen der LHM zeigt sich, dass Hallen aus BAK I in der Regel bereits saniert oder erweitert wurden, meist sind besondere Anforderungen des Denkmalschutzes zu berücksichtigen. Bei Hallen aus BAK II konnten vereinzelt Komplettsanierungen oder punktuelle Sanierungsmaßnahmen beobachtet werden. Bei Hallen aus BAK III erfolgten teilweise Erneuerungsmaßnahmen an der Anlagentechnik.

- **Größe:** Allgemein dominieren den Sporthallenbestand in Deutschland bis dato Sporthallen im Kleinhallensegment (KSH und EFH). Am Beispiel der LHM zeigt sich, dass bis 1951 (BAK I) Hallen vorwiegend als Kleinsporthallen ausgeführt wurden. Bis 1978 (BAK II) dominieren weiterhin kleine Hallen, vorwiegend Einfachhallen. Ab 1978 sind zunehmend auch Zweifach- und Dreifachsporthallen vertreten (BAK III), heute (BAK V) werden Neubauten vorwiegend als Zweifach- oder Dreifachhallen ausgeführt (siehe auch Kapitel 2.2.2).
- **Eigentümerstruktur:** Wesentliche Eigentümerin und Betreiberin von Sporthallen ist konstant die öffentliche Hand, z. B. Kommunen und Gemeinden (siehe Kapitel 2.2.3).
- **Auslastung und Nutzungszeiten:** Vor allem Zweifach- und Dreifachsporthallen weisen in der Regel eine hohe Auslastung auf, dennoch sind kleinere Sporträume bzw. Sporthallen für den Schul- und Gesundheitssport von Bedeutung (siehe Kapitel 2.2.4). Ebenso sind für Schulsportshallen eine ganztägige Benutzung sowie eine durchschnittliche Nutzung von sieben Tagen pro Woche, abgesehen von den Schulferien, charakteristisch.
- **Sportarten:** Zwei- und Dreifachhallen werden neben dem Schulsport meist für wettkampfausgerichtete Sportarten genutzt, in der LHM sind das vorwiegend Badminton, Basketball, Handball, Hockey, Trampolinturnen und Volleyball. Kleinsport- und Einfachhallen werden neben

dem Schulsport überwiegend durch Sportarten genutzt, die keine spezifischen Anforderungen an die Hallenflächen stellen, beispielsweise Turnen, Tanzsport oder Gymnastik (siehe Kapitel 2.2.5).

- **Raumprogramm:** Der Großteil der Sporthallen der Landeshauptstadt München beschränkt sich auf die Hauptnutzung als reine Sporthalle in ihrer typischen Gebäudekubatur, teilweise ergänzt um einen kleineren Sportraum wie einen Konditionsraum oder eine zusätzliche Kleinsporthalle (insgesamt etwa 20 Prozent der Hallen). Teilweise vorkommende zusätzliche sportartenspezifische Räumlichkeiten können anhand der Sporthallen der LHM wie folgt eingeordnet werden: Kegelbahnen finden sich hauptsächlich in Hallen von den 1960er bis in die 1980er Jahre, Sporthallen mit Bühne wurden während der 1960er Jahre und Schießstände in den 1980er Jahren umgesetzt (siehe Kapitel 2.2.6).
- **Kubatur:** Am Beispiel des Sporthallenbestands der LHM (siehe Kapitel 2.2.7) zeigt sich, dass die Schulsporthallen bis 1951 (vorwiegend KSH) oft integriert in Schulgebäude ausgebildet wurden. Bei späteren Hallen ist das Verhältnis zwischen integrierten bzw. angeschlossenen Hallen zu (nahezu) freistehenden Hallen etwa 50 : 50. Neuere Hallen sind oftmals versenkt ausgeführt und die Nutzung der Dachfläche gewinnt zunehmend an Bedeutung.
- **Weitere energetische Charakteristika:** Häufig vorkommende Wärmeübergabesysteme in Sporthallen sind statische Systeme, wie z. B. eine Strahlungsheizung und Luftheizung, zunehmend werden auch Flächenheizungen umgesetzt (siehe Kapitel 2.2.8). Als Wärmeerzeuger kommen über Gas (oder ehemals Öl) betriebene Heizkessel oder Fernwärme zum Einsatz, die Trinkwarmwassererzeugung erfolgt vorwiegend zentral. Ab ca. 2007 wird auch Photovoltaik auf den Dachflächen von Sporthallen umgesetzt. Für die Dachflächen wird auch die Ausführung einer Dachbegrünung bis hin zur begehbaren Nutzfläche (z. B. als Allwetterplatz) immer relevanter.
- **Sportfunktionale Einbauten:** Charakteristisch für Sporthallen sind ein elastischer Sportboden sowie die Ausbildung ballwurfsicherer, ebenflächiger und geschlossener Wandflächen, wofür meist dämpfende Prallwände eingesetzt werden (siehe Kapitel 2.2.9). Zudem werden Sporthallen mit fest verbauten und über Bodenhülsen zu verankernde Sportgeräte ausgestattet. Bei Mehrfeldhallen kommen meist (i. d. R. motorisch betriebene) Trennwände zum Einsatz.

Demnach lassen sich der in Kapitel 2.1 zu Grunde gelegten Clusterung nach Baualtersklassen weitere Merkmale wie in Abbildung 26 ersichtlich (siehe blaue Schrift) ergänzen. Die Clusterung wird den weiterführenden Analysen (siehe Kapitel 3) zugrunde gelegt.

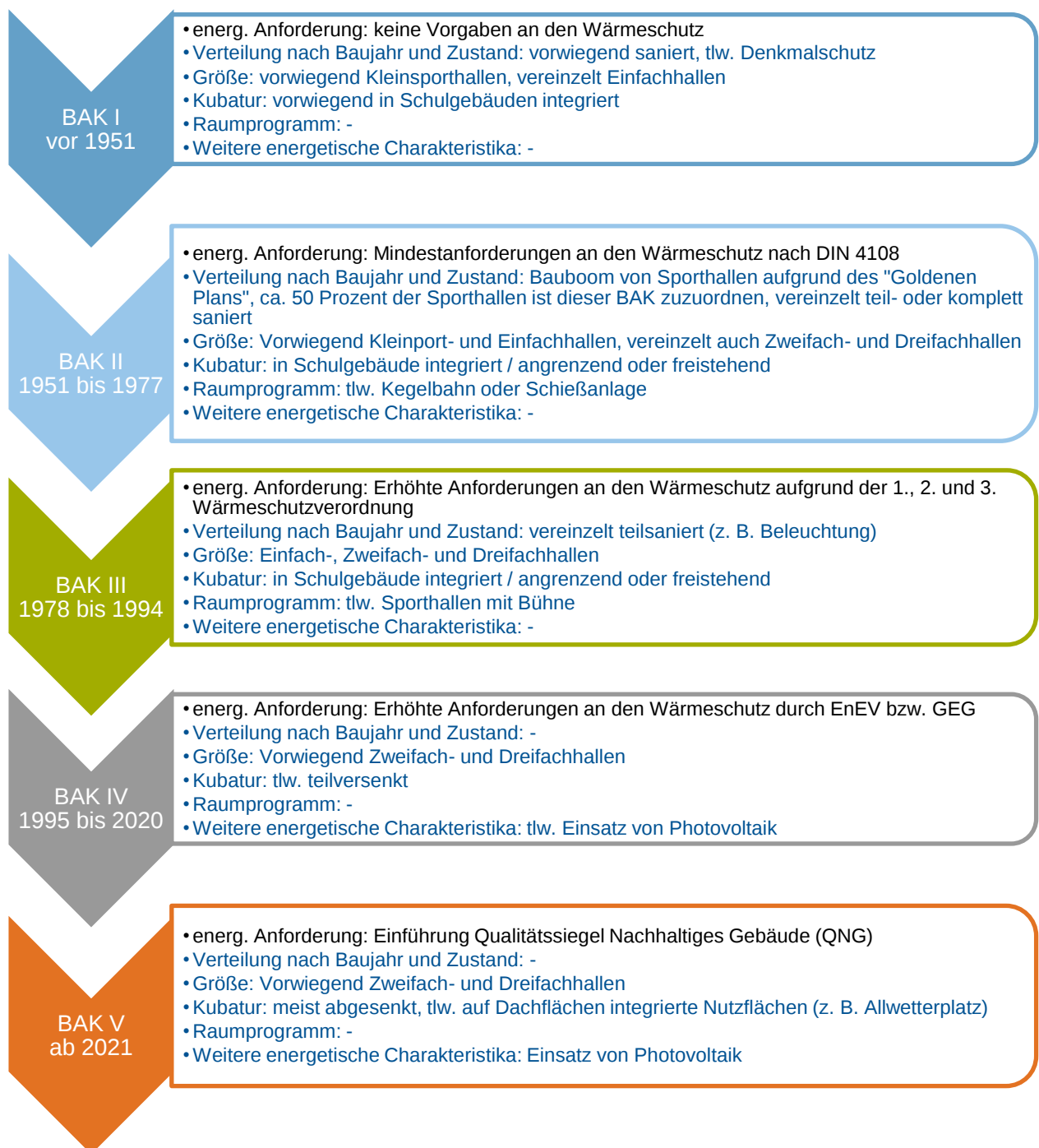


Abbildung 26: Ergänzung der abgeleiteten bautypologischen Clusterung in Baualterklassen für Sporthallen um sporthallenspezifische Merkmale (eigene Darstellung)

3. Untersuchung des Sanierungspotenzials von Sporthallen anhand einer Fallstudie

3.1. Datengrundlage und Methodik

Für jede Baualtersklasse bis 2021 wird eine beispielhafte Sporthalle als Fallbeispiele ausgewählt und untersucht. Zu den Fallbeispielen werden die relevanten Informationen aus verfügbaren Quellen zusammengetragen, fehlende Daten werden mit Hilfe von Literaturangaben ergänzt. Als Grundlage wird der Ursprungszustand der Hallen gemäß Baujahr angenommen. Nachdem einige der Hallen schon Sanierungs- oder Umbaumaßnahmen erfahren haben, wird zusätzlich der heutige bauliche Zustand der Hallen als Status quo betrachtet. Darauf aufbauend werden für jede Halle eine Sanierungsvariante und eine Variante für einen vollständigen Ersatzneubau entwickelt. Die Bewertung der unterschiedlichen Varianten erfolgt hinsichtlich energetischer Bilanzierung und Ökobilanzierung.

3.1.1. Fallbeispiele

Unter Berücksichtigung der in Kapitel 2.1.2 abgeleiteten Clusterung wird aus dem Bestand an regelkonformen Schulsporthallen der LHM jeweils ein Fallbeispiel pro Baualtersklasse für die weitere Analyse (Detailanalyse) ausgewählt. Kriterien für die Auswahl sind,

- dass die Hallen möglichst freistehen,
- möglichst über eine von umliegenden Gebäuden (z. B. Schule) getrennte Energieerzeugung bzw. -versorgung verfügen,
- möglichst keine Sondernutzungen (z. B. Dienstwohnung, Multifunktionshalle, integrierte Kita etc.) aufweisen,
- und in der originären Nutzung erhalten sind.

Für die Baualtersklasse von 1951 bis 1977, in der ein Großteil der Hallen entstanden ist und der damit eine große Bedeutung zukommt, werden zwei Fallbeispiele gewählt. Ergänzt werden die Fallbeispiele um eine weitere kommunal betriebene Sporthalle aus einem umliegenden Landkreis, die bereits in früheren Forschungsvorhaben der Hochschule München (Magdolen, 2018) untersucht wurde.

Es ergibt sich folgende Auswahl an Fallbeispielen unterschiedlicher Hallengrößen:

Tabelle 10: Übersicht über Fallbeispiele der Detailanalyse (eigene Darstellung)

Hallenbezeichnung	BAK	Baujahr	Größe
Halle A	I	1941	Kleinsporthalle (KSH)
Halle B	II	1970	Zweifachhalle (ZFH)
Halle C	II	1971	Dreifachhalle (DFH)
Halle D	III	1984	Einfachhalle (EFH)
Halle E	IV	2013	Einfachhalle (EFH)
Halle F	IV	2015	Dreifachhalle (DFH)

Die Gründung der Hallen erfolgt vorwiegend über Streifenfundamente aus Stahlbeton, in einer Halle erfolgt die Gründung über ein Plattenfundament. Unter den Fallbeispielen finden sich Ausführungen in Massivbauweise (Mauerwerk, Porenbeton oder Stahlbeton) sowie Holzständerbauweise. Die Dachkonstruktion ist in der Regel als Holztragwerk ausgeführt, in einer Halle wurde ein Raumfachwerk aus Stahl realisiert. Die Dächer sind vorwiegend als Flachdach, teilweise auch als Steildach (Walm- oder Satteldach) ausgebildet. Die einzelnen Fallbeispiele sind im Folgenden knapp beschrieben, weitere Informationen sind den Gebäudesteckbriefen in Anhang A.1 sowie den Bauteilaufbauten in Anhang A.2 zu entnehmen.

Halle A

Das Gebäude der im Jahr 1941 erbauten Kleinsporthalle grenzt an den Stirnseiten an Schulgebäude an, die Nebenräume sind teilweise in das Schulgebäude integriert. Das Dach des Ziegelmassivbaus mit einer Außenwandstärke von über 50 cm ist als Walmdach und Kaltdach ausgebildet. Der Dachstuhl ist als Pfettendach mit Holzbalkenzwischendecke ausgeführt. Die Fassade ist teilweise mit Holzschindeln verkleidet, teilweise verputzt. Die Innenwände sind ebenfalls in Mauerwerk ausgeführt. Die ungedämmte Bodenplatte aus Stampfbeton ruht auf Streifenfundamenten. Die Nebenräume sind an der Stirnseite ähnlich der Flügelform (siehe Kapitel 2.2.7) angeordnet und die Halle ist nicht unterkellert. Die Wärmeversorgung erfolgt über die benachbarte Schule und die Wärmerzeugung über einen Gaskessel. Für die Untersuchung wird zur Vergleichbarkeit abweichend vom Bestand eine eigenständige Energieerzeugung der Sporthalle angenommen.

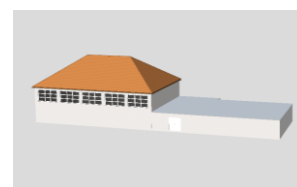


Abbildung 27: 3D-Modell Halle A (eigene Darstellung)

Halle B

Die freistehende Zweifachsporthalle wurde 1970 in Holzständerbauweise errichtet. Die Dächer sind als Flachdach ausgebildet und von einer Holzkonstruktion getragen. In der Sporthalle ist eine Holzbalkenzwischendecke eingezogen. Die hinterlüftete Fassade ist mit Faserbetonplatten verkleidet. Die Innenwände sind in Mauerwerk ausgebildet. Die ungedämmte Bodenplatte aus Stahlbeton ruht auf einem Streifenfundament. Die Halle ist nicht unterkellert, die Nebenräume sind an der Längsseite der angeordnet. Die Kubatur entspricht damit der Anbauform (siehe Kapitel 2.2.7).



Abbildung 28: 3D-Modell Halle B (eigene Darstellung)

Halle C

Die 1971 errichtete, teilbare Dreifachhalle zeichnet sich durch Außenwände aus Porenbetonsteinen aus. Als Tragstruktur wurde ein Stahlfertigteilssystem als Raumfachwerk der Firma Mero angewendet. Die Dächer sind als flaches, zweischaliges belüftetes Kaltdach ausgebildet und innen mit einer Plattendecke abgehängt. Die Innenwände bestehen aus Hochlochziegeln. Die Bodenplatte aus Stahlbeton ist unterseitig mit einer dünnen Dämmschicht versehen und ruht auf einem Streifenfundament. Die Nebenräume sind an beiden Längsseiten der Sporthalle angeordnet (Anbauform, siehe Kapitel 2.2.7), an der Südseite erstreckt sich eine Tribüne für 800 Zuschauer (Stand Baugenehmigung).

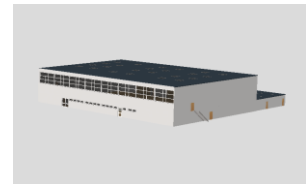


Abbildung 29: 3D-Modell Halle C (eigene Darstellung)

Halle D

Die 1984 fertig gestellte Einfachsporthalle wurde in Ziegelbauweise mit innenseitigem Sichtmauerwerk errichtet. Zudem erfolgt die Lastabtragung über Stahlbetonstützen, das Satteldach ist als Holztragwerk ausgeführt. Die Innenwände sind ebenfalls in Mauerwerk ausgebildet. Die Gründung erfolgt über Streifenfundamente und ergänzende Einzel-Köcherfundamente unterhalb der Stahlbetonstützen. Die Halle ist nicht unterkellert, die Kubatur ist ähnlich der Umbauform ausgebildet. Die Wärmeversorgung erfolgt über die benachbarte Schule und die Wärmeerzeugung über einen Gaskessel. Für die Untersuchung wird zur Vergleichbarkeit abweichend vom Bestand eine eigenständige Wärmeerzeugung für die Sporthalle angenommen.

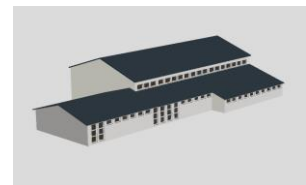


Abbildung 30: 3D-Modell Halle D (eigene Darstellung)

Halle E

Die 2011 fertig gestellte Einfachsporthalle ist um ein Geschoss abgesenkt, was unter anderem eine massive Bauweise in Stahlbeton zur Folge hat. Teilweise sind die oberirdischen Außenwände in Mauerwerk ausgeführt. Entlang der Sporthalle ist eine Pfosten-Riegel-Fassade angeordnet. Das Flachdach wird von einer Holzbinderkonstruktion getragen. Die Halle ruht auf einem Plattenfundament. Die Kubatur zeichnet sich durch eine sehr kompakte Bauform aus, die Nebenräume sind über zwei Geschosse an der Längsseite der Sporthalle angeordnet (Anbauform, siehe Kapitel 2.2.7).

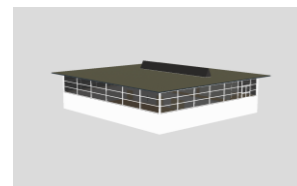


Abbildung 31: 3D-Modell Halle E (eigene Darstellung)

Halle F

Die teilbare Dreifachhalle wurde 2014 in Kombination von Massiv- und Holzrahmenbauweise errichtet. Die Sporthalle selbst ist um 1,20 m in das Gelände abgesenkt. Die Außenwände sind teilweise in Stahlbeton, Mauerwerk und Holzrahmenbau ausgeführt. Die Innenwände sind vorwiegend aus Mauerwerk, teilweise auch in Holzrahmenbau gefertigt. Das Flachdach der Halle ist von einer Brettschichtholztragkonstruktion getragen und mit einer Aluminiumdachdeckung ausgeführt. Die Gründung erfolgt über Streifenfundamente. Die Sporthalle ist zentral angeordnet, die Nebenräume umschließen diese u-förmig (Umbauform, siehe Kapitel 2.2.7).



Abbildung 32: Halle F (eigene Aufnahme)

3.1.2. Bestandsaufnahme

Zu den Sportstätten der Landeshauptstadt München liegen teilweise Bestandsdaten vor, jedoch in keiner einheitlichen Datenstruktur, da Daten von unterschiedlichen Verwaltungsinstanzen aufgenommen und geführt werden. Für die Analyse werden daher aus unterschiedlichen Quellen Gebäudeinformationen zusammengetragen und gesammelt. Folgende Datenquellen werden verwendet:

- Grundrisse und Baupläne soweit verfügbar (LHM, RBS und BAU, teilweise Archive)
- Datenabgleich mit CAFM (Liegenschaftsportal, Stand 26.02.2021)
- Verbrauchsdaten und Angaben zur Energieversorgung aus dem städtischen Energiemanagementsystem (EIS) der LHM (Stand 01.02.2024 bzw. 26.02.2021)
- Datenaufnahme und Interviews im Rahmen von Begehungen
- Belegungsdaten des Sportamts (LHM, RBS)

- Vorhandene Daten aus einem abgeschlossenen Forschungsprojekt der Hochschule München (Magdolen, 2018)

Grundlage der Analyse ist der Ursprungszustand der Hallen nach Baujahr, um das Vorgehen für unsanierte Bestandshallen aufzuzeigen. Ergänzend wird ebenfalls der Status quo der Hallen aufgenommen und bilanziert, um eventuell durchgeführte energetische Modernisierungsmaßnahmen abzubilden. Dazu zählen beispielsweise Maßnahmen an der technischen Gebäudeausrüstung (TGA), wie ein Kesseltausch oder eine Beleuchtungserneuerung. In einigen Fällen wurden auch konstruktive Bauteile saniert (z. B. Halle C: Erneuerung von Dach und Lichtband; Halle B: Erneuerung Dach bzw. oberste Geschossdecke). In der ältesten Halle von 1941 (Halle A) erfolgte bereits eine Komplettsanierung mit Umbaumaßnahmen (2011). Weitere Informationen können den Gebäudesteckbriefen in Anhang A.1 entnommen werden. Am häufigsten wurden Sanierungsmaßnahmen am Dach ausgeführt, wohl auch aufgrund von Bauschäden. Umbau- und Sanierungsmaßnahmen werden für die Varianten nicht berücksichtigt, sondern nur informativ aufgeführt. Ebenfalls wird für jede Halle eine Sanierungsvariante (siehe Kapitel 3.1.5) sowie eine Neubauvariante (siehe Kapitel 3.1.6) bilanziert. Diese beziehen sich ebenfalls auf den unsanierten Zustand des jeweils in seinem Baujahr errichteten Gebäudes, um eine möglichst hohe Übertragbarkeit zu gewährleisten.

Die zu den einzelnen Fallstudien verfügbaren Daten weisen teilweise Lücken bei den für die energetische Bilanzierung notwendigen Informationen auf. Daher erfolgte eine Datensynthese hinsichtlich Bauteilaufbau und deren energetischen Kennwerten sowie der Anlagentechnik für Nichtwohngebäude im Bestand. Folgende Quellen wurden insbesondere herangezogen:

- Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand (BMW & BMI, 2020)
- Beispiele für U-Werte bestehender Konstruktionen (BBSR, 2017a)
- Modernisierungsempfehlungen im Rahmen der Ausstellung eines Energieausweises - Energetische, baukonstruktive, bauphysikalische und wirtschaftliche Bewertung von Modernisierungsmaßnahmen (Ettrich et al., 2011)
- Systematische Datenanalyse im Bereich der Nichtwohngebäude - Erfassung und Quantifizierung von Energieeinspar- und CO₂-Minderungspotenzialen (BMVBS, 2013)
- Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland (BMVBS, 2011)
- Anlagenkennwertekatalog für Nichtwohngebäude – Endbericht (BMVBS & BBSR, 2009)

Die aufgeführten Publikationen dienen ebenfalls zur Validierung der erfassten Informationen.

Als erster Modellierungsschritt werden sämtliche baukonstruktive Daten in ein 3D-Modell eingegeben (ZUB E-CAD 4). Die daraus erhaltenen Grundriss- und Bauteilflächen bilden die Basis für die weiteren Bilanzierungen. Eine Ausnahme bildet die Halle F, für die detaillierte Daten bereits aus einem früheren Forschungsprojekt der Hochschule München vorliegen (Magdolen, 2018). Die Bilanzierung dieser Halle wurde ebenfalls gemäß der hier beschriebenen Methodik und im Rahmen der Dissertation durchgeführt.

3.1.3. Energetische Bilanzierung nach DIN 18599

Die aus dem 3D-Modell resultierenden Bauteilflächen werden anschließend in ZUB Helena (Version v7.139), einem nach Gütegemeinschaft Gebäudebilanzierung e.V. validierten Rechenprogramm, für die energetische Bilanzierung exportiert. Die Bilanzierung erfolgt nach DIN 18599 unter Berücksichtigung der Rechenregeln nach GEG 2023. Die Bilanzierung nach GEG bezieht sich auf die beheizte Gebäudelfläche. Soweit auf Grundlage der Angaben und Beobachtungen unbeheizte Räume (z. B. Technikräume) identifiziert wurden, sind diese bei der Bilanzierung als nicht thermisch konditionierte Fläche nicht berücksichtigt.

Die jeweiligen gebäudespezifischen Informationen sind in Anhang A.1 bzw. konkrete Bauteilaufbauten in Anhang A.2 ersichtlich. Für die Berechnung nach GEG werden die Fußbodenbeläge berücksichtigt, die Dachbekleidung wird bis zur Außenkante der Dämmebene angerechnet.

Allgemein werden nach sorgfältiger Datenerhebung die Hauptkomponenten der Baukonstruktion und technischen Anlagen berücksichtigt, soweit diese auf Grundlage vorliegender Pläne, Vor-Ort-Begehungen und Datensynthese angenommen werden können. Siehe dazu auch den Betrachtungsrahmen der Ökobilanzierung, Kapitel 3.1.4. Es ist dennoch möglich, dass einige Aspekte der Bauteile und Komponenten nicht vollständig erfasst sind. Ein Beispiel sind Ringanker, deren Ausführung im Bestand nicht vollständig nachvollzogen werden kann.

Der Warmwasserbedarf beträgt bei Sportanlagen mit Dusche nach DIN 18599-10 (DIN 18599-10:2018-09) 1,8 kWh je Person und Tag. Nach Vorgaben der LHM ist die Auslegung auf die Standardnutzung anhand eines realistischen Verbrauchsprofils für die vorgesehene Nutzung zu erstellen. In Anlehnung an Beispielprojekte der LHM erfolgt die Auslegung anhand einer Belegungszahl von 30 Sportler*innen (= Nutzer) pro Hallenteil und Tag (bzw. 19 Sportler*innen bei der Kleinsporthalle). Auch wenn nach Erfahrungswerten die Duschnachfrage im Schulsport sehr gering ist, ist bei der Nutzung des Vereinssports ein Bedarf zu verzeichnen. Die oben genannte Auslegung ist großzügig, eine genauere Angabe lässt sich jedoch auch aus Verbrauchsauswertungen aufgrund der vergangenen, nicht repräsentativen Verbrauchsjahre (COVID-19-Pandemie, Flüchtlingskrise) nicht genauer bestimmen.

Zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit wird unter Berücksichtigung der jeweils hallenspezifischen technischen Gebäudeausrüstung bei der Bilanzierung auf Standardwerte des Rechenprogramms zurückgegriffen. Darüber hinaus werden, soweit keine detaillierten Informationen vorliegen, konservative Annahmen getroffen (z. B. Annahme Auslegung der Heizungs-/Warmwasserpumpe überdimensioniert). Durch Eingabe detaillierterer Angaben, die teils für neuere Hallen vorliegen, ergeben sich Abweichungen der berechneten Energiebedarfe um bis zu 20 Prozent. Im Bestand werden, soweit verfügbar, produktbezogene Daten der Anlagentechnik herangezogen. Für die Sanierungs- und Neubauvariante werden Nennleistung und -volumen aus der Bilanzierung nach DIN 18599 zu Grunde gelegt (Ausnahme Pufferspeicher, siehe auch Kapitel 3.1.5).

3.1.4. Ökobilanzierung

Die gewählten Fallstudien mitsamt deren Varianten werden weiter mittels der Methode der Ökobilanzierung hinsichtlich deren Umweltwirkungen untersucht. Grundlage für die Ökobilanzierung von Gebäuden stellen die Normen DIN EN 15978 „Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode“ (DIN EN 15978:2012-10) und DIN EN 15804 „Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte“ (DIN EN 15804:2022-03) dar. Als Ergänzung erfolgt die Bilanzierung im Rahmen der vorliegenden Arbeit in Anlehnung an die Bilanzierungsregeln des QNG für Nichtwohngebäude (BMVBS, 2023d). Als Werkzeug dient das Ökobilanzierungstool eLCA des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), in das die ermittelten Bauteilflächen und Konstruktionen aus der energetischen Bilanzierung (ZUB Helena) als XML-Datei importiert werden. Gemäß aktueller Vorgaben nach QNG wird der Datensatz „Ökobilanzierung-Rechenwerte 2023“ verwendet. Dieser beinhaltet Rechenwerte für Bauprodukte sowie die Bereitstellung und Nutzung von Energieträgern und leitungsgebundener Energie auf Grundlage der ÖKOBAUDAT in der Version 2020-II sowie den Vorgaben der DIN EN 15804 inkl. Amendement A1 (BMVBS, 2023b; DIN EN 15804:2022-03). Die Auswahl der entsprechenden Datensätze erfolgt unter Berücksichtigung des Begleitdokuments „Zuordnungsempfehlungen“ (BMVBS, 2023b). Gemäß QNG-Bilanzregeln wird in der vorliegenden Arbeit der nicht erneuerbare Primärenergieaufwand (PENRT, Einheit kWh) sowie die Treibhausgasemissionen in CO₂-Äquivalenten (GWP 100 bzw. GWP, Einheit kg CO₂-Äq.), bezogen auf 1 m² NGF und Jahr, betrachtet. In Tabelle 11 sind die Lebenszyklusphasen bzw. Module nach DIN EN 15643 (DIN EN 15643:2021-12) angegeben. Hierbei sind die Module hervorgehoben, die nach QNG in die Bilanz eingehen (BMVBS, 2023a). Dabei werden berücksichtigt:

- der Aufwand für die Herstellung (Rohstoffbeschaffung, Transport und Produktion), Module A1, A2 und A3

- der Aufwand für den Austausch, Modul B4 und Energieverbrauch im Betrieb, Modul B6
- sowie im Rahmen eines Rückbaus die Abfallbehandlung und Entsorgung, Modul C3 und C4

Nach QNG sind Modul D1 (Recyclingpotenzial) und Modul D2 (bei Dritten potenziell vermiedene Treibhausgasemissionen infolge exportierter Energie) zwar zu ermitteln, gehen jedoch nicht in die Bilanz ein.

Tabelle 11: Darstellung der Lebenszyklusphasen gemäß DIN EN 15643 (Darstellung nach DIN EN 15643:2021-12; BMVBS, 2023a)

Lebenszyklusphasen - Modulgruppen	Herstellung: A 1 – 3			Errichtung: A 4 – 5		Betrieb und Nutzung: B 1 – 7							Rückbau, Abfallbehandlung und Entsorgung: C 1 – 4				Vorteile & Belastungen außerhalb Systemgrenze: D	
	Rohstoffbeschaffung	Transport	Produktion	Transport	Errichtung / Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Instandsetzung / Reparaturen	Austausch	Modernisierung	Energieverbrauch im Betrieb	Wasserverbrauch im Betrieb	Rückbau / Abriss	Transport	Abfallbehandlung	Entsorgung	Recyclingpotenzial	Effekte exportierter Energie
Module	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D1	D2

Der Lebenszyklus-Betrachtungszeitraum wird, wie bei der Ökobilanzierung von Gebäuden üblich, mit 50 Jahren gewählt. Neben der Bilanzierung des Bestands wird auch für die Sanierung und den Neubau ein Betrachtungszeitraum von 50 Jahren gewählt. Die Nutzungsdauer von Baustoffen wird den Angaben des BBSR (2017b) entnommen, wonach die Nutzungsdauern von Baustoffen in Bezug auf deren Anwendung auf Grundlage von Literaturangaben als auch auf Erfahrungswerten von Experten ermittelt wurden. Für Komponenten der technischen Gebäudeausrüstung werden die Angaben der Nutzungsdauern nach den Anhangdokumenten des QNG berücksichtigt (BMVBS, 2023a). Soweit Daten zum Gewicht der Anlagentechnik im

Ökobilanzdatensatz verfügbar sind, wird die entsprechende Menge in Abhängigkeit der Leistung bzw. des Volumens durch Interpolation ermittelt (z. B. bei Speichern, Kesseln oder Wärmepumpen). Zur Berücksichtigung der kleinteiligeren Komponenten der Haustechnik wie Rohrleitungen und Verteiler für Sanitär, Wärme und Lüftung, Kabel und Niederspannungshauptverteiler wird in der Ergebnisdarstellung der Sockelbetrag nach QNG mit ausgewiesen. Dieser beträgt für Sporthallen als Lebenszyklusanalyse-Klasse K5 (BMVBS, 2023c) nach Anforderungsniveau Plus für PENRT 4,11 kWh/m²_{NRF}*a bzw. für GWP 1,23 kg CO₂-Äq./m²_{NRF}*a (BMVBS, 2023a).

Nach den Abschneidekriterien für die Berechnung nach QNG müssen Baumaterialien mit einem Anteil größer 1 Prozent an der gesamten Masse des Gebäudes, größer 1 Prozent des PENRT oder größer 1 Prozent des GWP berücksichtigt werden. Ebenso darf die Summe der vernachlässigten Baumaterialien 5 Prozent der Masse des Gebäudes, des PENRT bzw. des GWP nicht übersteigen (BMVBS, 2023a). Unter Berücksichtigung dieser Regelung werden u. a. Fensterbänke, Dachrinnen, Schäume und Dichtungsstoffe, Sockelleisten und Halterungen für abgehängte Decken bei der Bilanzierung nicht berücksichtigt. Fenster- und Türbeschläge, Türstöcke sowie Griffe haben nach stichprobenhafter Prüfung auf die genannten Bezugsgrößen eine Auswirkung von etwa 0,1 bis 0,5 Prozent. Diese werden bei der Bilanzierung ebenfalls nicht berücksichtigt, auch da die Auswahlmöglichkeiten in der Datenbank beschränkt sind. Anstriche und Lasuren auf sichtbaren, flächigen Bauteilen wie Wänden oder Decken (ca. 0,5 bis 1,5 Prozent der Bilanzgrößen) gehen in die Bilanzierung ein (Schichtdicke von 0,1 mm). Lasuren und Beschichtungen auf kleinteiligeren Bauteilen wie Stützen, Bindern, Fenstern und Türen oder Sporteinbauten werden nicht berücksichtigt, da diese nicht repräsentativ ermittelt und bestimmt werden können. Deren Wirkung wird ebenfalls innerhalb der Abschneideregeln eingeordnet. Darüber hinaus wird bei einem Boden- oder Wandbelag mit Fliesen im Rahmen der Ökobilanzierung ein Fliesenkleber mit einer Schichtdicke von 3 mm angenommen.

Im Folgenden ist die Eingabe bzw. Annahme für weitere berücksichtigte Bauteile beschrieben:

- Wände in Holzständerbauweise: Für Wände in Holzständerbauweise wird, soweit keine konkreteren Daten aus Plänen zur Verfügung stehen, von einem Aufbau mit Rastermaß 62,5 cm und einer Ständerbreite von 6 cm ausgegangen. Daraus ergibt sich im Gefach ein Holzanteil von 9,4 Prozent.
- Fenster: Die Fenstergrößen werden anhand der Maße aus vorliegenden Plänen entnommen und Materialien entsprechend der Aufnahme vor Ort angenommen.
- Innentüren, Gerätetore: Innentüren und Gerätetore werden ebenfalls entsprechend der Maße aus vorliegenden Plänen und als Brettsperrholz mit einer Schichtdicke von 40 mm erfasst.

- Außentüren verglast / opake Außentüren und -tore: Auch bei Außentüren werden die Maße entsprechend den vorliegenden Plänen aufgenommen. Baustoffe verglaster Außentüren werden entsprechend der Aufnahme vor Ort angenommen (beispielsweise Rahmen in der Regel aus Aluminium). Opake Außentüren und -tore werden als Brettsperrholz mit einer Schichtdicke von 50 mm (70 mm bei Sanierung und Neubau) erfasst.
- Treppen: Anhand der Maßangaben aus vorliegenden Plänen werden für innen- bzw. außenliegende Treppen Bauteilmassen mit Hilfe des Treppenassistenten in eLCA bilanziert.
- Gründung: Im Regelfall wird als Gründung von einem Streifenfundament entlang der umfassenden tragenden Wände ausgegangen, soweit keine abweichenden Informationen vorliegen (z. B. Halle D und E).

Der betriebs- und nutzungsbedingte Anteil eines Gebäudes (Modul B6) setzt sich gemäß Ökobilanzierung nach QNG aus folgenden Komponenten zusammen (siehe auch Tabelle 12),

- dem Betrieb des Gebäudes nach GEG, ohne Anrechnung des gebäudeintegriert oder gebäudenah erzeugten Stroms (B6.1),
- dem Aufwand für den Betrieb von Aufzügen sowie den zentralen Diensten (B6.2)
- und einer Pauschale zur Berücksichtigung des Nutzerstroms (B6.3).

Selbstgenutzte, vor Ort gewonnene erneuerbare Energie wird nachträglich innerhalb des Moduls B6 gegengerechnet. Potenziell vermiedene Emissionen für vor Ort erzeugte, in das Netz eingespeiste oder an sonstige Dritte gelieferte Energie (exportierte Energie) werden über Modul D2 ausgewiesen. (BMVBS, 2023a)

Eine Sanierung wird in der Ökobilanzierung in der Regel im Rahmen einer Komplettsanierung berücksichtigt, so auch bei der Nachhaltigkeitsbewertung nach der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB), dem Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) oder dem QNG. Dabei wird davon ausgegangen, dass das Bestandsgebäude im Zuge der Komplettmodernisierung „weitestgehend auf die statisch relevante Baukonstruktion“ zurückgebaut wird. Eine Komplettsanierung nach QNG umfasst folgende Maßnahmen (BMVBS, 2023a):

- Instandsetzungsmaßnahmen mit dem Ziel, weitestgehend neubaugleiche Bauteilnutzungsdauern zu erreichen.
- Modernisierungsmaßnahmen mit dem Ziel, ein Bauwerk mit weitestgehend neubaugleichen technischen Eigenschaften sowie Merkmalen der Baukonstruktion und Gebäudetechnik zu erlangen.

- Umbaumaßnahmen mit dem Ziel, die räumliche Struktur an neue Anforderungen anzupassen.
- Maßnahmen für Innenräume mit dem Ziel der Erneuerung oder Änderung der inneren Gestaltung.

Die Bilanzierung der Sanierungsvarianten der Fallstudien erfolgt in Anlehnung an das Vorgehen nach QNG. Instandsetzungs- und Modernisierungsmaßnahmen werden dabei im Rahmen der energetischen Sanierungsmaßnahmen berücksichtigt, eine gegebenenfalls notwendige Anpassung der Statik oder des Brandschutzes wird nicht geprüft. Da davon ausgegangen wird, dass der Bedarf für eine Nutzung als normgerechte Halle weiterhin Bedeutung haben wird (Bach et al., 2018), werden keine Umbaumaßnahmen mit dem Ziel der Anpassung der räumlichen Struktur an neue Anforderungen berücksichtigt. Eine Anpassung der räumlichen Strukturen zur Förderung der Inklusion ist bei einer realen Umsetzung im Einzelfall ab Beginn der Planungen mitzudenken und zu prüfen. Um dem Ziel der Erneuerung oder Änderung der inneren Gestaltung gerecht zu werden, wird eine Erneuerung der Innenbekleidung (Bodenbeläge, Innenanstrich bzw. -belag wie z. B. Fliesen, Innentüren) sowie der Sporteinbauten berücksichtigt. Hiermit ist auch die Vergleichbarkeit mit der Neubauvariante gegeben.

Nach der Methodik des BNB und QNG gilt für Komplettsanierungen folgende Konvention: „Stoffströme und Umweltwirkungen, die in der Vergangenheit für die Errichtung des Bestandsgebäudes und für im Zuge der Komplettmodernisierung durchgeführte Rückbaumaßnahmen angefallen sind, werden dem vorhergehenden Lebenszyklus zugeordnet und daher in die Bewertung der Komplettmaßnahme nicht einbezogen. Bilanziert werden jedoch die Umweltwirkungen aus der zukünftigen Instandsetzung (Ersatzaustausch) und Entsorgung.“ (BMVBS, 2017)

Neben der Bilanzierung der neu eingebrachten Bauteile (Neusubstanz) wird demnach gemäß BNB und QNG somit ebenfalls die weitergenutzte Altbausubstanz (Bausubstanz, die nach dem Rückbau zur Weiternutzung im Gebäude verbleibt) berücksichtigt, jedoch nur in der Instandsetzung sowie Abfallbehandlung und Entsorgung (Kurzbezeichnung: Entsorgung) bilanziert. Es entfallen somit für weitergenutzte Altsubstanz die Umweltwirkungen für die Herstellung, da diese dem vorherigen Gebäudezyklus zugeschlagen werden. Da in der Regel vor allem die Tragstruktur mit Nutzungsdauern von 50 Jahren erhalten bleibt, fällt im künftigen Lebenszyklus kaum ein Austausch an. In Ausnahmefällen, in denen ein Austausch vorkommt, wird die restliche Nutzungsdauer aus dem ersten Lebenszyklus des Gebäudes von 50 Jahren berücksichtigt. Es werden daher folgende Größen für den Altbestand berücksichtigt:

~~Herstellung (Modul A1, A2, A3) + Austausch (Modul B4) + Entsorgung (Modul C3, C4) + Informativ das Recyclingpotenzial (Modul D)~~

Eine Übersicht über die Bilanzgrößen, die nach QNG berücksichtigt werden, bildet Tabelle 12. Ergänzend sind in der Tabelle ebenfalls die informativ auszuweisenden Bilanzgrößen des Moduls D aufgeführt.

Tabelle 12: (Teil-)Bilanzgrößen in Anlehnung an die Nachweisführung nach QNG (BMVBS, 2023a)

(Teil-)Bilanzgröße

**Teilsumme: gebäudebezogene Anteile
(Summe der Module A1 – A3, B4, C3, C4)**

Bauwerksteile der KG 300 – Altbestand

Bauwerksteile der KG 300 – Neubau / Sanierung

Bauwerksteile der KG 400 – Sockel

Anlagen zur Erzeugung / Nutzung erneuerbarer / nicht erneuerbarer Energie (anteilig)

**Teilsumme: betriebs- und nutzungsbedingte Anteile
(Summe der Module B6.1, B6.2, B6.3 abzgl. eigengenutzter Anteil erneuerbarer Energie)**

B6.1 (Betrieb des Gebäudes nach GEG)

B6.2 (Betrieb des Gebäudes, betriebsbedingter und nicht regulierter Anteil)

B6.3 (Energiebedarf der Nutzer)

eigengenutzter Anteil erneuerbarer Energie

**Gesamtsumme: berechnete Werte für den baulichen Teil sowie
Betrieb und Nutzung**

Informativ: Recyclingpotenzial (Modul D1)

Informativ: Gebäudeintegriert oder gebäudenah erzeugte und an Dritte gelieferte erneuerbare Energie (Modul D2)

3.1.5. Sanierung

Als Zielwerte für den Sanierungsstandard werden die 2022 verabschiedeten, in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut für Bauphysik entwickelten Vorgaben der LHM an die Gebäudehülle als Niedrigstenergiestandard herangezogen. Darin enthalten sind Zielwerte für Wärmedurchgangskoeffizienten sowie Anforderungen zur Verringerung von Wärmebrücken und Verbesserung der Luftdichtheit, siehe Tabelle 13. Entsprechend werden, soweit zur Erreichung der Zielwerte erforderlich, alle Bauteile der wärmeübertragenden Umfassungsfläche energetisch saniert. Grundsätzlich erfolgt die Ausarbeitung der Sanierungsvariante bauteilbezogen, zum (Höhen-)Ausgleich kann im jeweiligen Einzelfall gegebenenfalls eine zusätzliche Ausgleichsschicht oder dickere Luftschicht erforderlich sein. Maßnahmen an innenliegenden Bauteilen werden berücksichtigt, sofern diese Teil der wärmeübertragenden Gebäudehülle sind (z. B. Innenwände gegen unbeheizte Räume).

In Ergänzung zur Dämmung der Gebäudehüllfläche wird die Optimierung der Energieerzeugung und -übergabe sowie Beleuchtung betrachtet. Zur Dekarbonisierung der Wärmeversorgung ist prioritär der Anschluss an Fernwärme zu verfolgen, die bis 2045 knapp zwei Drittel des Wärmebedarfs der LHM decken soll (Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 11411, 2024). Sofern keine Nah- oder Fernwärme vorliegt, ist nach Beschluss der LHM zur kommunalen Wärmeplanung der Einsatz von erneuerbarer Energien zu prüfen und soweit möglich zu realisieren. Nach der Studie der Forschungsstelle für Energiewirtschaft mbH (FfE) zur Wärmestrategie München wird zur Deckung des verbleibenden Drittels des Wärmebedarfs vor allem der Einsatz von Wärmepumpen gesehen. Zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit wird für die Sanierungsvarianten ein Wasser-Wasser-Wärmepumpensystem über Grundwasser bilanziert, das in München ein räumliches Potenzial von ca. 36 Prozent hat, vor allem im nord-westlichen und östlichen Stadtgebiet (Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 11411, 2024). Die Art der Wärmeerzeugung ist bei einer realen Umsetzung projektspezifisch zu untersuchen und abzuwägen. Als Wärmeübergabe wird eine Fußbodenheizung gewählt, die unter anderem geringe Vorlauftemperaturen benötigt und sich daher gut mit Wärmepumpen kombinieren lässt (Eßig et al., 2015) Auch die Kombination einer Fußbodenheizung mit Sporthallenböden ist möglich (siehe Kapitel 3.1.7).

Die entwickelten Sanierungs- und Neubauvarianten halten die Anforderungen eines KfW-Effizienzgebäudes 40 ein bzw. unterschreiten diesen. Nach Effizienzgebäude-Stufe 40 darf der Jahresprimärenergiebedarf des Gebäudes maximal 40 Prozent des im GEG geforderten Referenzgebäudes betragen. Der Transmissionswärmeverlust darf dabei 55 Prozent des Referenzgebäudes nicht übersteigen. Ebenfalls wird die „Erneuerbare-Energien-Klasse“ eingehalten. Das bedeutet, dass mindestens 55 Prozent des Energiebedarfs für die Heizungsanlage des Gebäudes durch erneuerbare Energien gedeckt wird. (KfW Bankengruppe, 2023)

Tabelle 13: Anforderungen an die Gebäudehülle nach Beschluss der LHM (Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 05040, 2022)**Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte)**

	U-Werte Neubaumaßnahmen [W/(m²K)]	U-Werte Sanierung Gebäudebestand [W/(m²K)]
Außenwand außenseitige WD Außenwand raumseitige WD	0,15 – / –	0,15 0,35
Flachdach, OGD, Decke nach unten gegen Außenluft	0,10 – 0,13	0,15
Steildach, OGD	0,10	0,15
Erdberührte Bauteile, Bauteile gegen unbeheizte Räume	0,20	0,25
Fenster (optimierter Randverbund)	0,85 – 0,90	0,85 – 0,90
Festverglasung, Pfosten-Riegel-Fassade	0,85 – 0,90	0,85 – 0,90
Glastüren	0,85 – 0,90	0,85 – 0,90
Glasdächer, Flachdachfenster, Licht- kuppeln	0,85 – 0,90 (Flachdachfenster)	0,85 – 0,90 (Flachdachfenster) 1,10 (Lichtkuppeln)

Reduzierung des Wärmebrückenzuschlags

Wärmebrückenzuschlag gemäß DIN 4108-2 Beiblatt 2 (ggf. Einzelnachweis)	$\Delta U_{WB} \leq 0,03 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ Kategorie B	$\Delta U_{WB} \leq 0,05 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ Kategorie A
---	--	--

Qualitäten der Luftdichtheit

Blower-Door-Test (bis 1500 m³ Luftvolumen Zielwert n_{50} ab 1500 m³ Luftvolumen gilt ein auf die Hüll- fläche bezogener Zielwert q_{50})	$n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$ $q_{50} < 0,6 \text{ m h}^{-1}$	$n_{50} < 1,0 \text{ h}^{-1}$ $q_{50} < 1,7 \text{ m h}^{-1}$
---	--	--

Für Bestandsgebäude wird, soweit keine weiteren Angaben vorliegen, von einem q_{50} -Wert von 6 m h^{-1} nach DIN 18599-2 (DIN 18599-2:2018-09), Kategorie III ausgegangen.

Neben der Berücksichtigung von umgesetzten Sanierungsbeispielen der LHM erfolgt die Ausarbeitung der Sanierungskonzepte in Anlehnung an die Arbeitshinweise des Baureferats Hochbau zur Umsetzung von städtischen Bauprojekten zum Stand 09/2018 bzw. 06/2023. Demnach sind beispielsweise als Standarddämmung Schaumglas und mineralische Dämmstoffe statt Kunstschäumstoff zu verwenden. Bei einer Anwendung im Außenbereich und hoher Druckbelastung (z. B. Gründach) wird auf PU-Schaum zurückgegriffen. Bei Beispielprojekten der LHM ist beispielsweise eine Anwendung des Dämmstoffs Bauder-ECO geplant, eine kaschierte Hartschäumstoffplatte mit Biomasseanteil von 60 Prozent (Paul Bauder GmbH & Co. KG, 2024). Eine ökobilanzielle Bewertung des Baustoffs über eine Umweltproduktdeklaration (EPD) zu dem

Produkt existiert bisher nicht. Es ist davon auszugehen, dass sich durch die Verwendung von Biomasse die Umweltwirkungen des PU-Schaums reduzieren.

Abgesehen von der Gewährleistung des Wärmeschutzes wird weitestgehend der Feuchteschutz berücksichtigt, soweit dies ohne hygrothermische Simulation möglich ist. Dafür werden beispielsweise nachweisfreie Standardkonstruktionen (z. B. INFORMATIONSDIENST HOLZ, 2019) herangezogen sowie Bauteilaufbauten stichprobenhaft mit Hilfe des 2D-Finite-Elemente-Verfahrens von U-Wert.net auf deren Feuchteverhalten geprüft.

Des Weiteren wird die Art der Fassadenbekleidung auch in der Sanierungsvariante beibehalten, beispielsweise als Holzschindelfassade oder eine Außenverkleidung mit Faserzementplatten. Nachdem die Nutzungsdauer von Dämmstoffen in der Regel mit über 50 Jahren angegeben wird, werden bestehende Dämmschichten, soweit keine Schäden bekannt sind, weitergenutzt. Nach Clausnitzer et al. (2016) ist beispielsweise eine Aufdopplung einer alten, in einem geeigneten tragfähigen Zustand befindlichen Dämmung sinnvoll. Eine Weiterverwendung der Dämmung ist jedoch immer im betroffenen Einzelfall in Abhängigkeit des Zustands zu untersuchen. Im Falle von bekannten Schäden, beispielsweise einem Mäusebefall der Gefachdämmung mit Mineralwolle an einer der Fallstudien, wird dementsprechend auch hier eine Erneuerung vorgesehen. Ebenso wird ein Austausch bilanziert, soweit der Bauteilaufbau wesentlich erneuert wird. Für erdberührte Außenwanddämmung mit extrudiertem Polystyrol ist eine Nutzungsdauer von lediglich 40 Jahren angegeben. Da in den betroffenen Fallstudien auch eine Anpassung des Wärmedurchgangskoeffizienten erforderlich ist, wird in den Sanierungsvarianten eine Kompletterneuerung der Perimeterdämmung mit Schaumglas vorgesehen.

Die jeweiligen Sanierungskonstruktionen sind in Anhang A.2 ersichtlich. Die Sanierungsvarianten umfassen folgende energetisch relevanten Sanierungsschritte:

1. Dach bzw. oberste Geschossdecke: Zur Einhaltung der Anforderung an den Wärmedurchgangskoeffizienten erfolgt in der Regel eine Dämmung von außen. Flachdächer werden als Gründach ausgeführt, der Dachaufbau orientiert sich an Projekten der LHM mit einer Substratschicht von 8 cm. Bei Flachdächern wird u. a. aufgrund der bereits hohen Druckbelastung auf PU-Schaum als Dämmmaterial zurückgegriffen. Auch im Falle einer obersten Geschossdecke zum unbeheizten Dachraum erfolgt eine Dämmung von oben, als Dämmmaterial wird Mineralwolle verwendet.
2. Außenwände: Zur energetischen Sanierung der Außenwände erfolgt in der Regel eine Außendämmung mit Mineralwolle, je nach Bestandskonstruktion als hinterlüftete Vorhangsfassade, Wärmedämmverbundsystem (Befestigung über wärmebrückenfreie Kunststoffdübel)

oder Dämmung des Holzständerwerks. Im Falle von Innenwänden oder Decken gegen unbeheizt wird ebenfalls eine Dämmung mit Mineralwolle an der Außenseite angenommen.

3. Dämmung des Bodens: Bei den Hallen erfolgte bis 1984 kaum eine Dämmung unterhalb der Bodenplatte, zur Erreichung der Anforderung an den Wärmedurchgangskoeffizienten wird eine Innendämmung mit Schaumglas in Ergänzung mit einer Trittschalldämmung aus Mineralwolle angesetzt. In Beispielprojekten wurde in seltenen Fällen auch eine (teilweise) Erneuerung der Bodenplatte beobachtet, diese Maßnahme wird in den Sanierungsvarianten jedoch u. a. aufgrund des damit verbundenen Aufwands nicht berücksichtigt.
4. Fenstertausch: Im Zuge der Sanierungsvariante wird zur Erreichung der geforderten U-Werte ein Komplettaustausch sämtlicher Fenster vorgenommen. Bei Lichtbändern entlang der Fassade wird eine Ausführung mit transluzenten Profilbaugläsern angesetzt.
5. Austausch der Türen gegen Außenluft: Es wird ein Komplettaustausch sämtlicher Außentüren angenommen. Als Wärmedurchgangskoeffizient wird für opake Türen ein Wert von $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ und für verglaste Türen $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ angesetzt.
6. Erneuerung der Beleuchtung: Für alle konditionierten Zonen wird eine Erneuerung der Beleuchtung mit LED-Leuchten und Präsenzerfassung sowie eine tageslichtabhängige Kunstlichtsteuerung in der Turnhalle bilanziert.
7. Erneuerung der Wärmeerzeugung und -übergabe: Im Sinne der Dekarbonisierung der Wärmeversorgung wird für alle Fallstudien eine Wasser-Wasser-Wärmepumpe mit elektrischem Zusatzheizer in Form eines Heizstabs gewählt. Zur Vermeidung von Legionellen wird ein kombinierter Pufferspeicher mit Frischwassermodul empfohlen. Als Übergabesystem wird eine Flächenheizung (Vor-/Rücklauftemperatur mit $55^\circ\text{C}/35^\circ\text{C}$) vorgesehen. In Anlehnung an die Vorgaben der LHM wird ein natürliches Kältemittel für die Wärmepumpe angenommen. Die Auslegung der Anlagentechnik erfolgt im Rahmen der Bilanzierung nach DIN 18599 und anschließender Plausibilitätsprüfung durch die Herstellerfirma Viessmann. Zur Berücksichtigung der zeitgleichen Warmwasserentnahme benennt Viessmann größere Volumina für den Trinkwarmwasserspeicher (Auslegung nach Summenlinienverfahren), die entsprechend in der Bilanzierung berücksichtigt sind (Viessmann Deutschland GmbH, Persönliche Mitteilung, 8. März 2024). Für eine tatsächliche Auslegung der Anlagentechnik, wie z. B. des Wärmeerzeugers, ist eine Berechnung der Gebäude-Heizlast nach DIN EN 12831 bzw. DIN / TS 1283 erforderlich.

8. Hybrides Lüftungssystem: Für die Sanierungsvariante wird gemäß Standard der LHM ein hybrides Lüftungssystem angenommen. Neben der natürlichen Lüftung wird eine mechanische Belüftung mit Ab- und Zuluft (IDA-C4) in den Zonen Sporthalle und Sanitär angesetzt. Bei innenliegenden Zonen liefert die Lüftungsanlage den vollständigen Mindestaußenluftvolumenstrom. Es wird eine Wärmerückgewinnung über Plattenwärmeüberträger angesetzt.
9. Photovoltaik auf Sporthallendach: Ebenfalls wird die Installation einer Photovoltaikanlage (Polykristalline Siliziumzellen) an der Dachfläche der Sporthalle bilanziert. Je nach Ausrichtung der Dachfläche wird eine Südausrichtung oder Ost-/Westausrichtung angenommen. Die Leistung der Anlage wird auf 90 Prozent der geeigneten Dachfläche ausgelegt.
10. Sonstiges: Anforderungen zur Verringerung von Wärmebrücken und Verbesserung der Luftdichtheit nach Fertigstellung der Sanierung werden gemäß der Baustandards der LHM übernommen.

Zur möglichst genauen Bilanzierung der Anforderungen an den Wärmedurchgangskoeffizienten und damit besseren Vergleichbarkeit der Projekte untereinander werden abweichend von Herstellerangaben Dämmstärken in 1 cm Schritten gewählt. Die Achsmaße werden soweit möglich aus vorliegenden Plänen entnommen, soweit keine Angaben ersichtlich sind, wird auf Standardmaße zurückgegriffen:

- 62,5 cm Abstand von Lattungen und Ständer
- 83,3 cm Achsabstand bei Sparren

Bauteilanschlüsse werden nicht berücksichtigt und sind im jeweiligen Einzelfall zu prüfen.

Weitere Aspekte wie Statik, Schall- oder Brandschutz werden im Rahmen der Sanierung nicht gesondert betrachtet und sind im Einzelfall zu prüfen. Beispielsweise ist davon auszugehen, dass mit der Lastzunahme durch den Gründachaufbau und der Photovoltaikanlage das Tragwerk zu ertüchtigen ist. Die Ausführung als Gründach mit Photovoltaikanlage, womit eine regelmäßige Pflege benötigt wird, erfordert in der Regel die Ausbildung einer Attika mit Absturzsicherung und ist ebenfalls gesondert zu prüfen.

3.1.6. Neubau

Die Baukonstruktion für den Neubau orientiert sich an beispielhaften Neubauprojekten der LHM, die als Pilotprojekte während der Ausarbeitung des aktuellen LHM Niedrigstenergiestandards innerhalb der Stadtverwaltung intensiv begleitet wurden. Es wird eine Bodenplatte aus Stahlbeton und unterliegender Schaumglasdämmung und einer innenliegenden Ausgleichsdämmung aus Mineralwolle angenommen. Die Außenwände werden in Holzständerbauweise mit

Mineralwolledämmung und einer Verkleidung aus Holzlatten vorgesehen, während die tragenden Innenwände größtenteils aus Mauerwerk bestehen. Nicht tragende Innenwände mit einer Wandstärke von 11,5 cm werden in Holzständerbauweise angenommen. Zwischendecken sowie im Bestand in Stahlbeton ausgeführte Innenwände zu Technikräumen werden in Stahlbetonbauweise berücksichtigt. Das Dach wird als Flachdach mit einer Tragschicht aus Brettschichtholz und Dachbegrünung bilanziert. Die Zielwerte für Wärmedurchgangskoeffizienten sowie Anforderungen zur Verringerung von Wärmebrücken und Verbesserung der Luftdichtheit des Baustandards der LHM für Neubauten, siehe Tabelle 13, werden übernommen. Unbeheizte Räume werden hinsichtlich dem Dämmstandard und Bauteilaufbau in der Neubauvariante nicht unterschieden. Die Bauteilaufbauten für die Neubauvariante sind in Anhang A.2 ersichtlich.

Zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit des Neubaus mit der Sanierungsvariante werden Fundament und Tragkonstruktion (Stützen und Dachkonstruktion) des Bestandsgebäudes übernommen, eine angepasste Tragwerksplanung ist projektspezifisch mittels statischer Berechnung gesondert zu ermitteln. Die Schichtdicke von massiven Bauteilschichten wie beispielsweise der Bodenplatte Außenwand gegen Erdreich wird im Sinne der Vergleichbarkeit ebenfalls an den Bestand angeglichen.

Für die Gebäudetechnik werden die gleichen Annahmen wie für die Sanierung getroffen, siehe Kapitel 3.1.5.

3.1.7. Sportfunktionale Einbauten

Sportfunktionale bzw. sporthallenspezifische Konstruktionen, die in der Analyse berücksichtigt werden, sind im Folgenden beschrieben. Eine Übersicht über die berücksichtigten Bauteile am Beispiel einer Dreifachhalle ist in Anhang A.3 ersichtlich.

Sportboden

Der angenommene Sportbodenaufbau (Sporthalle und teilweise Geräteräume) orientiert sich bei den Sporthallen im Bestand an vorhandenen Daten aus Plänen oder Baubeschreibungen in Verbindung mit Datenblättern ehemaliger Sportbodenaufbauten, die vom Hersteller Hamberger Flooring GmbH & Co. KG zur Verfügung gestellt wurden (Hamberger Flooring GmbH & Co. KG, Persönliche Mitteilung, 13. März 2023). Nach den Vorgaben der LHM ist ein flächenelastischer Sportboden u. a. als Empfehlung für den inklusionsorientierten Schulsport vorzusehen (LHM-RBS, 2021). Dieser kann in Elementbauweise (auch „Sandwichbauweise“ genannt) oder als Schwingboden mit Schwingträgern ausgeführt werden.

Bei einer Ausführung in Sandwichbauweise, bestehend aus einer elastischen Schicht, einer biegesteifen Lastverteilungsschicht und Oberbelag, ist die Verlegung einer flächigen, druckfesten

Dämmschicht unterhalb des Sportbodens möglich. Für Sandwichböden ist eine ebene Bodenplatte unerlässlich, was bei der Bestandssanierung gegebenenfalls eine Ausgleichsschüttung zur Nivellierung erfordern kann. Dennoch zeichnet sich die Sandwichbauweise in der Regel durch eine geringere Aufbauhöhe aus, was u. a. bei der Sanierung von Vorteil ist, damit die Höhe der Fußbodenoberkante und davon abhängige Raum- und Einbauhöhen unverändert bleiben. Bei der Ökobilanz schneidet der Sandwichboden aufgrund des größeren Volumens an Elastikschicht wiederum schlechter ab.

Bei einem Schwingbodenaufbau sind elastische Schicht und biegesteife Lastverteilungsschicht als Träger ausgeführt, wodurch ein Hohlraum entsteht. Da die Schwingbodenträger auf der Bodenplatte aufliegen müssen, sind diese für eine zusätzliche Dämmung entsprechend aufzuklotzen und die Dämmung im Zwischenraum zu verlegen. Diese Konstruktion kann in der Sanierung zu zusätzlichen Wärmebrücken führen.

Für die Sanierungs- und Neubauvariante wird jeweils ein Aufbau mit Schwingboden gewählt. Zur Orientierung dient das Modell „München 35 F“ des Herstellers HARO Sports (Hamberger Flooring GmbH & Co. KG, 2022). Während in der Vergangenheit meist Parkett als Sporthallenbelag gewählt wurde, wird heute der Bodenbelag meist in Linoleum ausgeführt. Der Aufbau wird wie folgt angenommen (siehe Tabelle 14):

Tabelle 14: Aufbau eines Sportbodens als Schwingboden (eigene Darstellung)

Bauteil / Materialbezeichnung (von innen nach außen)	Schichtdicke [mm]
Linoleum	4
Druckverteiler Modul: Brettsperrholz	12
PE-Folie	0,02
Blindbodenmodul: Konstruktionsholz (Rastermaß 12,5 cm, Breite 8 cm)	15
Doppelschwingträger: Konstruktionsholz, Brettsperrholz, Elastikschaum (Rastermaß 44,4 cm, Breite 6 cm)	54

Hinsichtlich der Nutzungsdauer des Sportbodens wird sich abermals an den Nutzungsdauern nach BBSR, 2017b orientiert. Demnach beträgt die Nutzungsdauer für den Sporthallenbelag (Linoleum) 20 Jahre, für den sonstigen Schwingbodenaufbau (Holz und Kunststoff) 45 Jahre. In der Praxis konnte beobachtet werden, dass, soweit keine konkreten Schäden vorliegen (z. B. durch Wassereintritt), der Sportboden teils über 50 Jahre genutzt wird und die Erneuerung meist im Rahmen größerer Sanierungen erfolgt. Der Sportbodenaufbau inklusive Belag wird bei der

Berechnung nach GEG berücksichtigt. Gemäß Herstellerangaben (aquatherm GmbH, 2013) ist auch eine Verlegung einer Fußbodenheizung im Sportbodenaufbau mittels entsprechendem Systemelement (bei Sandwichböden) oder Rohrführungsschiene (bei Schwingböden) möglich.

Prallwand

In den Bestandshallen ist in fünf der sechs Fallstudien eine Prallwand vorhanden. Für die Sanierungsvariante und den Neubau wird eine Holzprallwand mit Absorberschicht (vgl. LIGNOTREND Produktions GmbH, 2024) wie folgt gewählt:

Tabelle 15: Aufbau einer Prallwand (eigene Darstellung)

Bauteil / Materialbezeichnung (von innen nach außen)	Schichtdicke [mm]
Lasur	0,01
Wandverkleidung: Brettsper Holz	15
Konterlattung: Konstruktionsholz (i. d. R. Doppel-Elastikträger) (Rastermaß 40 cm, Breite 5 cm), Absorberschicht: Holzweichfaser	60
Lattung: Konstruktionsholz (Rastermaß 62,5 cm, Breite 5 cm)	45

Die Nutzungszeit ist mit 50 Jahren mit regelmäßiger Erneuerung der Lasur (18 Jahre) angenommen. Einzelne Paneele können nach Herstellerinformationen einfach ausgetauscht werden. Der Prallwandaufbau wird bei der Bilanzierung nach GEG nicht berücksichtigt.

Trennvorhang

Bei Mehrfachhallen wird je Hallenabtrennung ein doppelschaliger Trennvorhang mit einer Behangfläche von jeweils 430 m² bilanziert. Als Material wird PE/PP Vlies angenommen. Zusätzlich ergeben sich nach Angaben des österreichischen Herstellers Schweiger Sport GmbH für die Unterkonstruktion 360 kg Stahl, für die Hubstange 175 kg Stahl (Schweiger-Sport GmbH, Persönliche Mitteilung, 22. Dezember 2023). Der Motor wird in der Bilanzierung nicht berücksichtigt. Für den Behang wird in Anlehnung an Innenwandbekleidungen aus Kunststoff gemäß Nutzungsdauern von Bauteilen nach BNB 40 Jahre angenommen, die Stahlbauteile werden mit einer Nutzungsdauer von 50 Jahren bilanziert.

Tribünen

Tribünen sind in der Regel Sonderanfertigungen. Zwei der Fallstudien enthalten eine Tribüne. Die Halle C enthält entlang einer Hallenlängsseite von 45 m eine Teleskoptribüne mit drei Sitzreihen sowie eine feste Tribüne mit sechs Sitzreihen, jeweils als Stahlkonstruktion mit Holzbekleidung. Nach Schätzwerten eines Tribünenherstellers (Astrid Maier Metall-/Tribünenbau

GmbH, Persönliche Mitteilung, 7. Februar 2024) werden je laufendem Meter und Sitzreihe für die Teleskoptribüne 42 kg Stahl sowie je m² Tribünenfläche 13 kg Brettsper Holz angenommen. Bei der Festtribüne wird aufgrund des Entfalls von Laufrädern, Verschlüssen etc. die Hälfte der Menge an verbautem Stahl im Gegensatz zur Teleskoptribüne angenommen. Bei der Halle F sind entlang einer Längs- und Stirnseite zwei Sitzreihen als Holzkonstruktion ausgeführt, die Gesamtmenge Konstruktionsholz beträgt nach Angaben des Zimmerers 3,725 m³. Nach Herstellerinformationen kann bei regelmäßiger Wartung und Pflege der Tribünen (insbesondere der Teleskoptribüne) von einer Nutzungsdauer von 50 Jahren ausgegangen werden. Für die Sanierungsvariante wird eine Kompletterneuerung angenommen.

Sportgeräte

Berücksichtigt werden fest verbaute und tragbare, einsteckbare Sportgeräte gemäß der Erstausrüstung von Schulsporthallen der LHM in Anlehnung an die Hallengröße. Konkrete Materialangaben und -mengen von Sportgeräten wurden bei Sportgeräteherstellern angefragt. Nur ein Hersteller konnte Daten zur Verfügung stellen. Somit werden für die Sportgerätetypen die Mengen- und Materialangaben des österreichischen Herstellers Schweiger Sport GmbH verwendet (Schweiger-Sport GmbH, Persönliche Mitteilung, 22. Dezember 2023). Die Gerätemaße sind in der Regel normierte Standardmaße. Über verwendete Beschichtungen der Sportgeräte liegen keine Informationen vor, diese werden in vorliegender Arbeit nicht berücksichtigt. Auch bei Sportgeräten ist eine regelmäßige Überprüfung notwendig. Nach Aussage des Herstellers ist bei jährlicher Wartung und gegebenenfalls Reparatur eine Nutzungsdauer von 30 bis 35 Jahren realistisch, wobei dies hinsichtlich Ausführung und Material variiert. Im Rahmen von Komplettsanierungen werden nach Erfahrungsberichten des Herstellers in der Regel auch Bodenhülsen getauscht, da diese rostanfällig sind und sich teilweise auch die Normierung verändert hat. Für die Analyse in vorliegender Arbeit wird von einer Nutzungsdauer von 50 Jahren für Bodenhülsen und 35 Jahren für sonstige Bauteile ausgegangen. Für die Sanierungsvariante wird eine Kompletterneuerung angenommen.

3.1.8. Beobachtungen und Einordnung der Methodik

Die Bilanzierung erfolgt auf Grundlage der möglichst vollständigen Erfassung des Gebäudebestands auf Basis einer umfassenden Bestandsaufnahme anhand vorhandener Unterlagen inklusive Vor-Ort-Begehungen. In Abhängigkeit des Bestands werden Sanierungs- und Neubauvarianten abgeleitet. Die identifizierten Datenlücken werden mittels Literatur- und Herstellerangaben geschlossen. Sämtliche Informationen zu Bauteilaufbauten und Parametern der technischen Gebäudeausrüstung sind im Anhang dargestellt.

Es ist darauf hinzuweisen, dass sich das Sammeln von Gebäudedaten als sehr mühsam erwiesen hat. Eine vollständige Bestandsdokumentation liegt für keine der Hallen vor. Die Ergänzung mittels Annahmen birgt gewisse Unsicherheiten.

Der Fokus der Untersuchung liegt auf der energetischen Sanierung der Sporthallen. Grundlage für alle untersuchten Varianten bildet die im Ursprungszustand der Hallen vorliegende Tragstruktur. Es ist davon auszugehen, dass mit der Lastzunahme beispielsweise durch den sanierten Dachaufbau mit Photovoltaikanlagen das Tragwerk zu ertüchtigen ist, was eine Prüfung der Statik erforderlich macht. Eine ggf. notwendige konstruktive Verstärkung ist in der Bilanzierung nicht berücksichtigt und ist durchaus ein Aspekt, der weiter untersucht werden sollte. Ebenfalls sind weitere Aspekte wie Schall- oder Brandschutz nicht gesondert betrachtet und könnten zusätzliche Bauteile erfordern.

Bei der Bilanzierung nach DIN 18599 ist für die Beheizung von Sporthallen gemäß Nutzungsprofil eine Raum-Solltemperatur von 21°C anzunehmen. Auch wenn einige Sportarten wie z. B. im Bereich des nicht wettkampfausgerichteten Sports wie Gymnastik oder Yoga höhere Temperaturen erfordern, werden im Bereich des wettkampforientierten Sports durch den deutschen Städtetag deutlich niedrigere Raumtemperaturen (15°C) genannt (Deutscher Städtetag, 2002). Eine Differenzierung der Sporthallen bzw. Raumtemperierung nach Sportart würde demnach teilweise geringere Raumtemperaturen ermöglichen und ein bedeutendes Einsparpotenzial darstellen.

Durch die Wahl gemeinsamer Systemgrenzen sowie einem einheitlichen Vorgehen bei der Bilanzierung der Sanierungs- bzw. Neubauvariante sowie konsistenter Zuordnung von Ökobilanz-Datensätzen können die Ergebnisse miteinander verglichen werden. Dennoch ist darauf hinzuweisen, dass jede Halle individuelle Eigenschaften aufweist.

Im Rahmen der Arbeit erfolgt die Zuordnung von Ökobilanz-Datensätzen gemäß den Zuordnungsempfehlungen nach BMVBS, 2023b. Dabei handelt es sich vorwiegend um generische Datensätze, gefolgt von repräsentativen sowie durchschnittlichen Datensätzen. Spezifische Produkttypen bzw. Materialien, die nicht in der Zuordnungsempfehlung und der ÖKOBAUDAT, Version 2020-II, enthalten sind, sind daher nicht berücksichtigt.

Insbesondere im Bereich der Fenster und Türen (z. B. Sporthallentore) sowie der Sporteinbauten (z. B. Elastikschicht im Sportbodenaufbau oder Tornetze aus Polyamid) lassen sich den Materialien nicht direkt ÖKOBAUDAT Datensätze zuordnen, hier werden eigene Annahmen getroffen. Spezifische Bauteile werden im Rahmen der Systemgrenzen vernachlässigt (z. B. Fenster- und Tür- bzw. Torbeschläge) bzw. wird jeweils der Baustoffdatensatz gewählt, der den Baustoff am

besten beschreibt. Für die Elastikschicht wird beispielsweise der Datensatz für Gummi-Bodenbelag mit Schaumstoffbeschichtung gewählt und für Tornetze der Datensatz für Dampfbremsen aus Polyamid.

Die Nutzungsdauern von Bauteilen bzw. Komponenten der TGA werden nach den durchschnittlichen Nutzungsdauern gemäß BBSR, 2017b angenommen. Bei der Erfassung des Gebäudebestands konnten teilweise abweichende, meist längere Nutzungsdauern beobachtet werden. Dies trifft beispielsweise auf Komponenten der technischen Gebäudeausrüstung wie RLT-Anlagen zu.

Sowohl die energetische Bilanzierung als auch die Ökobilanzierung erfolgt als statische Berechnung. Eine mögliche Optimierung im Zuge des technischen Fortschritts im Laufe des Lebenszyklus von 50 Jahren, die unter anderem Auswirkungen auf den Betrieb hat, wird somit nicht berücksichtigt. Ein Beispiel ist der Austausch eines effizienteren Wärmeerzeugers.

3.2. Ergebnisse der Fallstudie

3.2.1. Allgemein

Die Fallstudien unterscheiden sich entsprechend der Größe und Kubatur hinsichtlich der Fläche und des Rauminhalts (BRI), siehe Tabelle 16. Des Weiteren ergeben sich im Rahmen der Bewertung der Kompaktheit der Gebäude Unterschiede beim Verhältnis zwischen Hüllfläche A und Gebäudevolumen V (A/V-Verhältnis). Auch weisen die Sporthallen in ihrer Ausführung unterschiedliche Fensterflächenanteile auf.

Tabelle 16: Flächen- bzw. Raumkennwerte der Fallbeispiele (eigene Darstellung)

Hallenbezeichnung	NRF [m ²]	BRI [m ³]	Geschosse	A/V- Verhältnis	Fensterflächen- anteil ⁸
Halle A	443,52	2.411,05	1	0,76	21 %
Halle B	1.265,95	9.912,66	1	0,46	30 %
Halle C	2.372,39	16.744,26	2	0,42	25 %
Halle D	699,80	4.565,17	1	0,60	22 %
Halle E	887,10	5.123,04	2	0,55	38 %
Halle F	2.197,50	18.112,63	1	0,47	41 %

3.2.2. Betrieb

Der jeweils ermittelte Endenergiebedarf der Hallen im Betrieb nach GEG bzw. DIN 18599 ist in Abbildung 33 ersichtlich. Für jede Halle ist das Ergebnis im Ursprungszustand gemäß Baujahr sowie eine auf den Ursprungszustand bezogene Sanierungsvariante dargestellt. Soweit im aktuellen Zustand bereits Teilsanierungsmaßnahmen umgesetzt wurden (siehe Gebäudesteckbriefe im Anhang A.1), sind diese in der Variante des Status quo berücksichtigt. Ebenfalls sind die Ergebnisse der Neubauvariante ersichtlich. Allgemein weisen die Hallen im Ursprungszustand je früher das Baujahr höhere Endenergiebedarfswerte auf. Dies liegt an den mangelnden energetischen Eigenschaften der Baukonstruktion und TGA der Hallen. Der erhöhte Endenergiebedarf der Halle A von 1940 wird durch das hohe A/V-Verhältnis der Halle verstärkt. Der erhöhte Energiebedarf der Halle D aus BAK III im Vergleich zu den Hallen aus BAK II liegt u. a. an den vergleichsweise hohen Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenwände der Halle. Durch die Komplettsanierung der Halle A im Status quo konnte der Energiebedarf der Halle etwa

⁸ Bezogen auf sämtliche Außenwände, auch Außenwände gegen Erdreich

halbiert werden. Die Teilsanierungsmaßnahmen der Hallen B und C bewirken eine Reduktion des Energiebedarfs um ca. 20 – 25 Prozent.

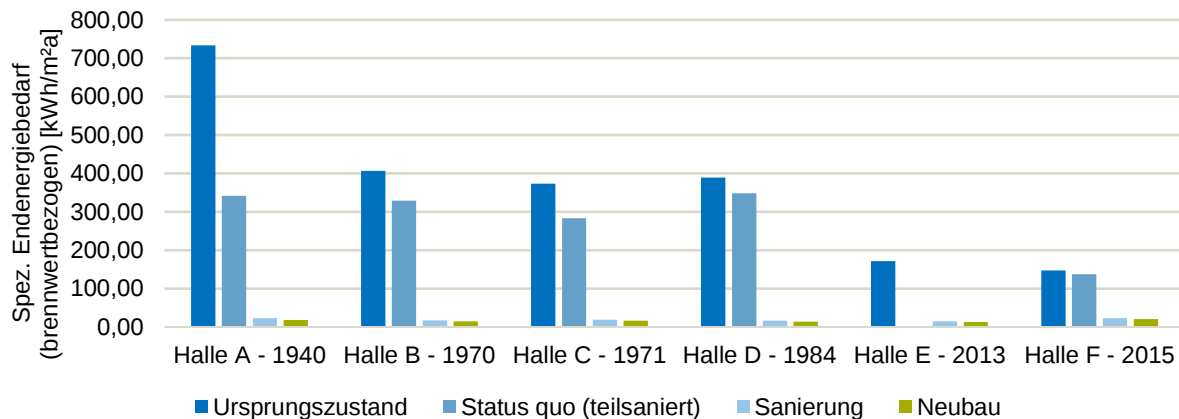


Abbildung 33: Fallstudie, spezifischer Endenergiebedarf nach DIN 18599 (eigene Darstellung)

Der spezifische Endenergiebedarf für die Sanierungsvariante aller betrachteten Fallbeispiele liegt im Mittel bei ca. 19 kWh/m²a, für die Neubauvariante bei ca. 16 kWh/m²a. In diesem Zusammenhang ist die gewählte Wasser-Wasser-Wärmepumpe als Wärmeerzeuger hervorzuheben, die den sehr niedrigen Endenergiebedarf begünstigt. Bei einer Luft-Wasser-Wärmepumpe würde sich der spezifische Endenergiebedarf am Beispiel der Neubauvariante im Mittel auf ca. 24 kWh/m²a erhöhen. Für die Halle F ergibt sich ein im Vergleich zu den anderen Hallen höherer Endenergiebedarf in der Sanierungs- und Neubauvariante aufgrund des zusätzlichen Raumkonditionierungs- und Warmwasserbedarfes für einen Fitness- und Konditionsraum. Zudem hat bei den Bedarfswerten der Endenergie für die Sanierungs- und Neubauvariante unter anderem die Größe der Photovoltaikanlage einen erheblichen Einfluss, die sich je nach Dachform (Flach- oder Steildach) und Größe der jeweiligen Projekte unterscheidet.

Allgemein wird deutlich, dass die älteren Sporthallen inkl. der Halle von 1984 auch trotz teilweise erfolgter Sanierungsmaßnahmen einen hohen Energiebedarf aufweisen und damit ein großes Potenzial zur Energieeinsparung bieten. Die ganzheitliche Sanierung führt bei Hallen der BAK I, II und III zu einer Reduzierung des Energiebedarfs von über 90 Prozent.

Die größten Wärmeverluste (Abbildung 34) zeigen sich bei den Sporthallen vor allem im Bereich der Dächer bzw. obersten Geschossdecken sowie der Außenwände inkl. der Fensterflächen, die je nach Halle einen Anteil von bis zu 41 Prozent an den Fassadenflächen ausmachen.

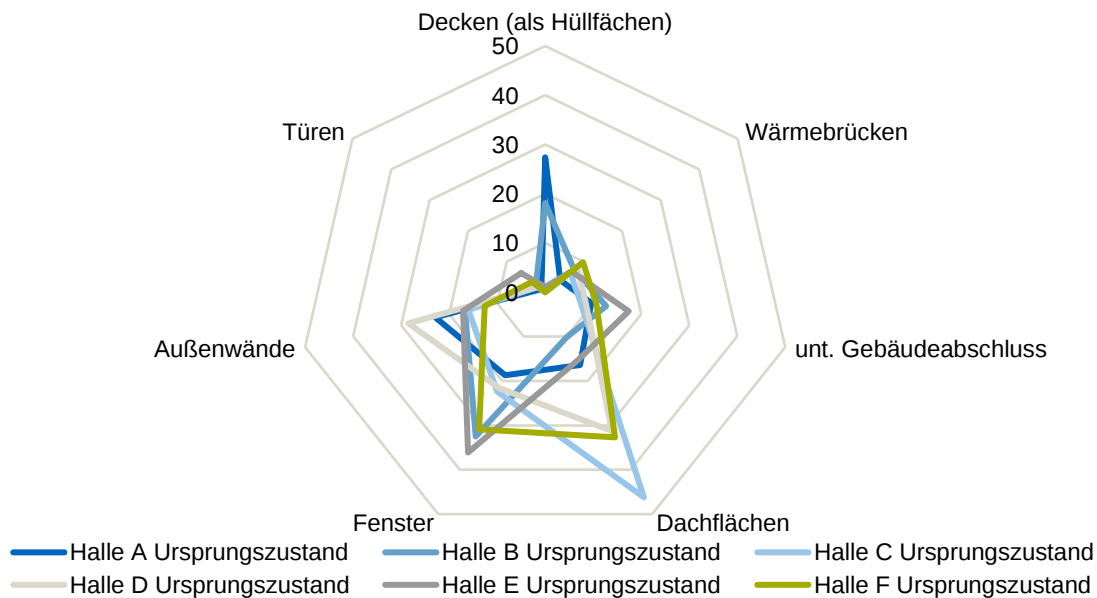


Abbildung 34: Fallstudie, anteilige Wärmeverluste der Bautechnik in Prozent, Ursprungszustand (eigene Darstellung)

Bei der Bilanzierung nach QNG wird bei den zu berücksichtigenden Größen des Energiebedarfs des Gebäudes im Betrieb unterschieden. Dabei wird der Endenergiebedarf nach GEG wie bereits beschrieben getrennt von vor Ort erzeugter Energie, die nur für den eigengenutzten Anteil angerechnet wird, ausgewiesen. Ins Netz eingespeiste oder an Dritte gelieferte am Gebäude erzeugte Energie („exportierte Energie“) wird nach QNG nicht in der Berechnung für das Gebäude berücksichtigt. Lediglich die dadurch potenziell vermiedenen Treibhausgasemissionen werden bei dem informativ anzugebenden Modul D2 angerechnet (BMVBS, 2023a). Des Weiteren ergibt sich ein Energiebedarf für den betriebsbedingten und nicht regulierten Anteil, der den Betrieb von Schwachstromanlagen oder beispielsweise Aufzügen (Halle E und F) umfasst. Ergänzt wird der Energiebedarf der Nutzer, der bei den untersuchten Fallstudien für Büro- und/oder Fitnessräume anfällt. Für die Nutzungszonen Sporthalle oder Umkleidebereiche ergibt sich nach QNG kein zusätzlicher Energiebedarf der Nutzer. Tabelle 17 zeigt die resultierenden Werte je Halle beispielhaft für die Sanierungsvariante.

Tabelle 17: Fallstudie, Betriebsenergie nach QNG, Modul B, Sanierungsvariante (eigene Darstellung)

Hallenbezeichnung	B6.1 (Betrieb des Gebäudes nach GEG) [kWh/m _{NGF} ² a]	B6.2 (Betrieb des Gebäudes, betriebsbedingter und nicht regulierter Anteil) [kWh/m _{NGF} ² a]	B6.3 (Energiebedarf der Nutzer) [kWh/m _{NGF} ² a]	eigengenutzter Anteil erneuerbarer Energie [kWh/m _{NGF} ² a]
Halle A	39,89	0,95	0	– 20,92
Halle B	43,01	0,7	0,09	– 25,73
Halle C	39,24	0,7	0,05	– 20,71
Halle D	42,28	0,95	0	– 26,48
Halle E	35,21	2,18	0	– 21,08
Halle F	44,67	1,2	0,59	– 20,17

Die geringen Abweichungen bei den Ergebnissen der Fallstudien für den Betrieb der Gebäude nach GEG sind auf individuelle Ausführungen zurückzuführen. Dazu zählen beispielsweise die Kubatur (u. a. Absenkung ins Gelände), zusätzliche Nutzungszonen (u. a. Fitnessraum), teilweise innenliegende, rein mechanisch belüftete Zonen, individuelle Fensterflächenanteile etc.

Bei der Neubauvariante (siehe Tabelle 18) sind die Werte für den Energiebedarf im Betrieb nach GEG gemäß den höheren Anforderungen an die Gebäudehülle etwas niedriger als in der Sanierungsvariante. Die Werte für den eigengenutzten Anteil erneuerbarer Energien weichen geringfügig von der Sanierungsvariante aufgrund des niedrigeren Energiebedarfs und teilweise unterschiedlicher Dachausführung als Flachdach ab.

Tabelle 18: Fallstudie, Betriebsenergie nach QNG, Modul B, Neubauvariante (eigene Darstellung)

Hallenbezeichnung	B6.1 (Betrieb des Gebäudes nach GEG) [kWh/m _{NGF} ² a]	B6.2 (Betrieb des Gebäudes, betriebsbedingter und nicht regulierter Anteil) [kWh/m _{NGF} ² a]	B6.3 (Energiebedarf der Nutzer) [kWh/m _{NGF} ² a]	eigengenutzter Anteil erneuerbarer Energie [kWh/m _{NGF} ² a]
Halle A	36,74	0,95	0	– 21,94
Halle B	40,20	0,7	0,09	– 25,26
Halle C	36,34	0,7	0,05	– 20,52
Halle D	39,55	0,95	0	– 25,66
Halle E	32,26	2,18	0	– 20,41
Halle F	42,76	1,2	0,59	– 22,7

3.2.3. Baukonstruktion und TGA-Ausstattung

Die Ergebnisse für die Umweltwirkungen GWP und PENRT, bezogen auf die Baukonstruktion (Kostengruppe 300, KG 300) und TGA-Ausstattung (Kostengruppe 400, KG 400) der Sanierungsvariante, sind in Abbildung 35 und Abbildung 36 dargestellt. Bei der Auswertung ist auch die Instandhaltung (Modul B4) und Entsorgung (Modul C3 und C4) für weiterverwendete Bauteile des Gebäudebestands (Altbestand) berücksichtigt. Den größten Flächenanteil haben in der Regel die Bauteile Boden und Dach mit bis zu 30 Prozent, gefolgt von den Außenwänden (inkl. Fensterflächen) mit ca. 25 Prozent.

Maßgebende Treiber der Umweltwirkungen sind neben der Photovoltaikanlage (KG 440) neu eingebrachte (bzw. instand zu haltende) Dämmschichten, Dichtungsbahnen oder -bänder (z. B. im Gründachaufbau, insbesondere Dachbahnen aus Bitumen und EPDM) sowie Fenster in Herstellung und Entsorgung. Auch der Baustoff Holz hat einen entscheidenden Einfluss auf die Ergebnisse, da dieser aufgrund der Eigenschaft als CO₂-Speicher in der Bilanzierung negativ in der Herstellung und positiv in der Entsorgung bei der Umweltwirkung GWP angerechnet wird. Für weiterverwendete Holzbauteile aus dem Altbestand fällt somit für die Sanierungsvariante bei Holzbauteilen nur die positive Umweltwirkung im Rahmen der Entsorgung an. Dies bewirkt beispielsweise hohe Umweltwirkungen des GWP der Halle E aufgrund der Dachkonstruktion (KG 460) in Massivholzbauweise aus Brettschichtholz. Ebenfalls ausgewiesen ist der nach QNG zu bilanzierende Sockelbetrag für kleinteilige Komponenten der Haustechnik. Die Komponenten der Anlagentechnik haben abgesehen von der Photovoltaikanlage und dem Sockelbetrag (KG 400) einen sehr geringen Einfluss auf die Umweltwirkungen.

Vor allem bei PENRT weisen die Hallen aus BAK I und II höhere Umweltwirkungen auf als neuere Hallen.

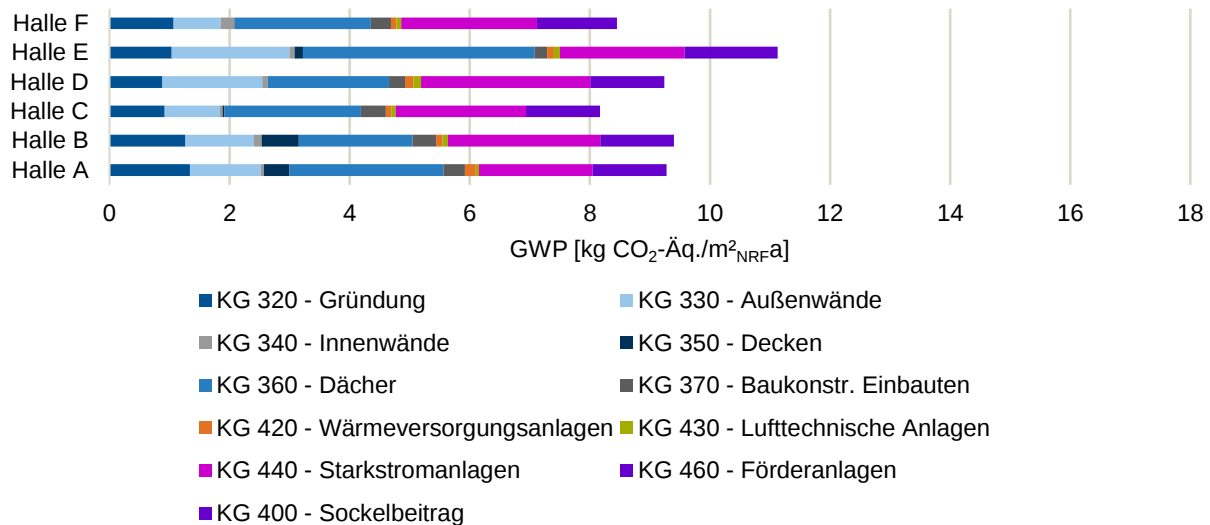


Abbildung 35: Fallstudie, GWP Baukonstruktion und TGA nach Bauteilgruppen, Modul A – C, Sanierungsvariante (eigene Darstellung)

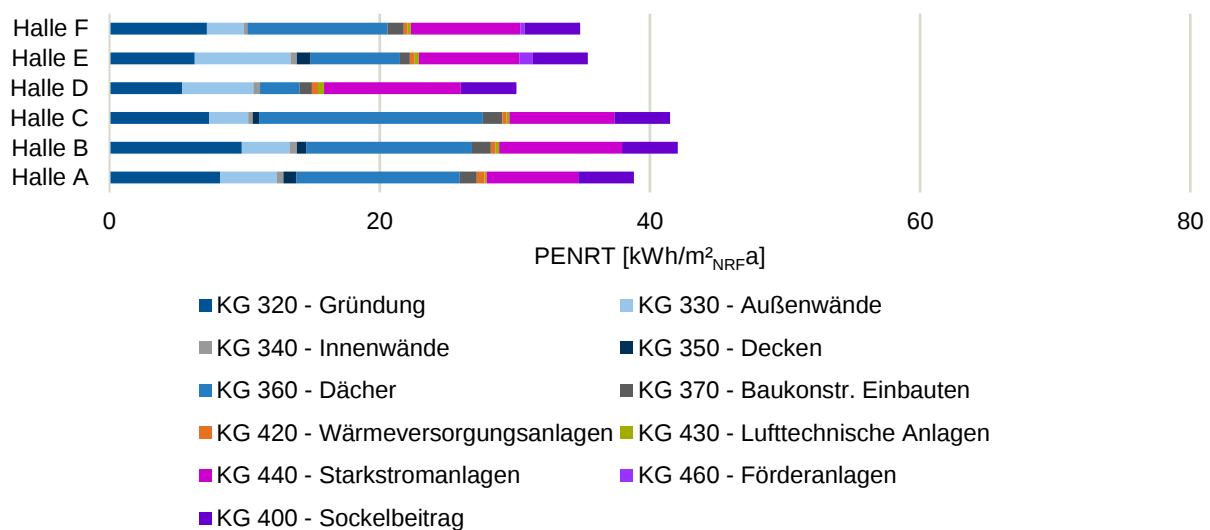


Abbildung 36: Fallstudie, PENRT Baukonstruktion und TGA nach Bauteilgruppen, Modul A – C, Sanierungsvariante (eigene Darstellung)

In den folgenden Abbildungen (Abbildung 37 und Abbildung 38) sind die Ergebnisse der Baukonstruktion und TGA-Ausstattung für die Umweltwirkungen GWP und PENRT für die Neubauvariante ersichtlich.

Neben der Photovoltaikanlage weisen Gründung (KG 320) und Dächer (KG 360) die meisten Umweltwirkungen auf. Aufgrund der sporthallenspezifischen Kubatur weisen KG 320 (Gründung) und KG 360 (Dächer) im Verhältnis sehr große Flächen auf. Bei der Gründung sind zudem die Stahlbetonbauteile für Fundament und Bodenplatte wesentlich für die Umweltwirkungen, die Halle E ist aufgrund der Plattengründung aus Stahlbeton ein Ausreißer. Die hohen

Umweltwirkungen der Dächer sind den Dichtungsbahnen im Gründachaufbau (insbesondere bei PENRT), den Dämmschichten sowie der Ausführung in Massivholzbauweise mit Brettschichtholz zuzuordnen. Die Außen- und Innenwände (KG 330 bzw. KG 340) weisen einen vergleichsweise geringen Anteil an den Umweltwirkungen auf, was insbesondere auf die Ausführung in Holzständerbauweise zurückzuführen ist.

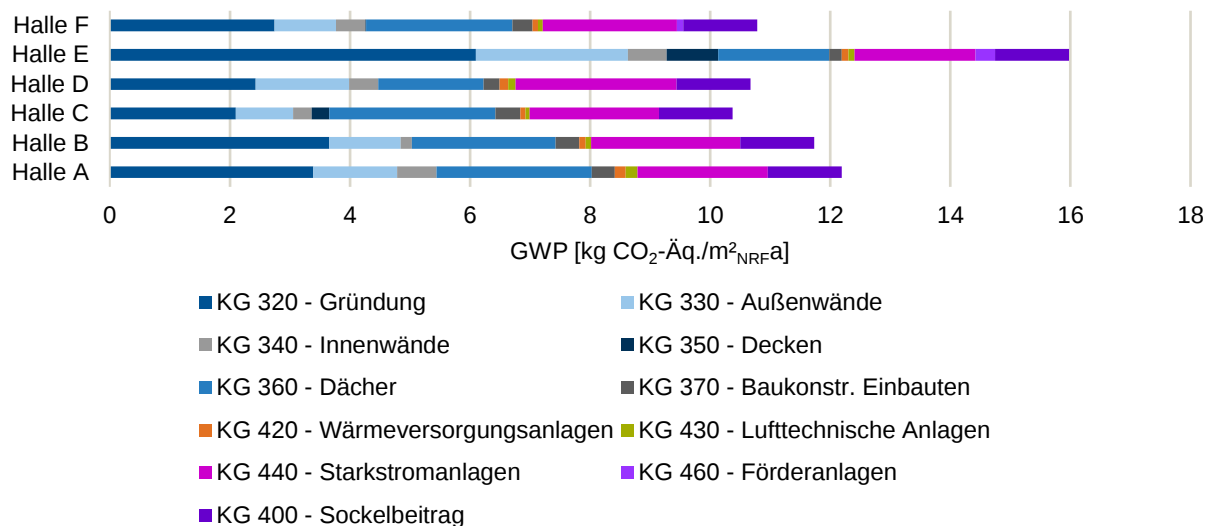


Abbildung 37: Fallstudie, GWP Baukonstruktion und TGA nach Bauteilgruppen, Modul A – C, Neubauvariante (eigene Darstellung)

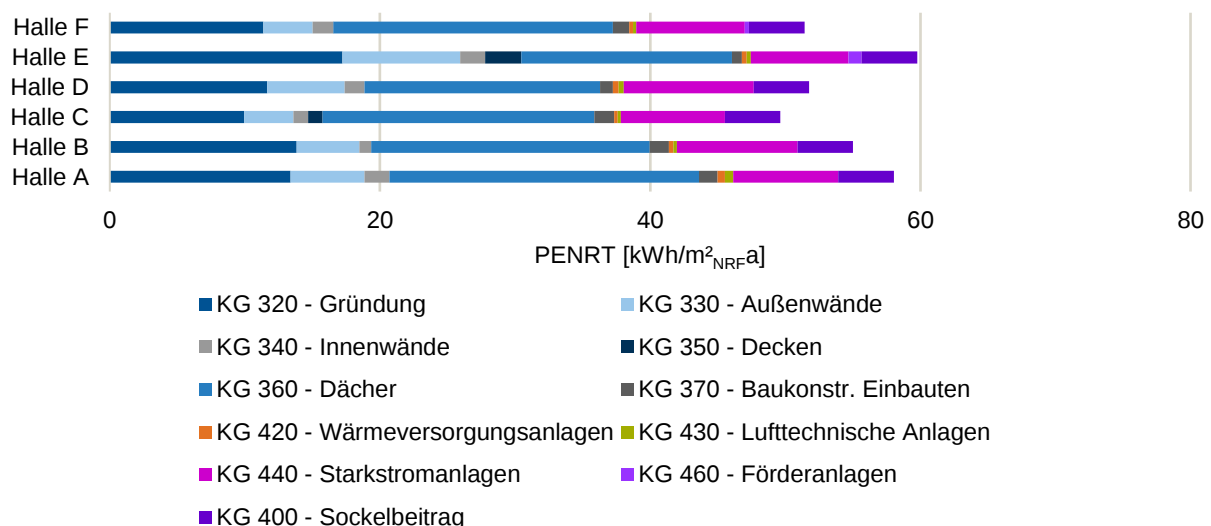


Abbildung 38: Fallstudie, PENRT Baukonstruktion und TGA nach Bauteilgruppen, Modul A – C, Neubauvariante (eigene Darstellung)

Zum Vergleich sind nachstehend ebenfalls die Umweltwirkungen für den Ursprungszustand nach Baujahr dargestellt. Gerade die älteren Sporthallen A, B und C weisen aufgrund der Konstruktionen ohne bzw. mit wenig Dämmung und Ziegeldach bzw. mit Dachpappe belegtem Flachdach

insbesondere bei GWP vergleichsweise wenig Umweltwirkungen auf. Bei der Halle E ist wiederum die Plattengründung aus Stahlbeton zu berücksichtigen. Das Dach der Halle F mit Stehfalzensystem aus Aluminium und raumseitiger Tragschale aus Feinblech verursacht einen großen Anteil der Umweltwirkungen dieser Halle.

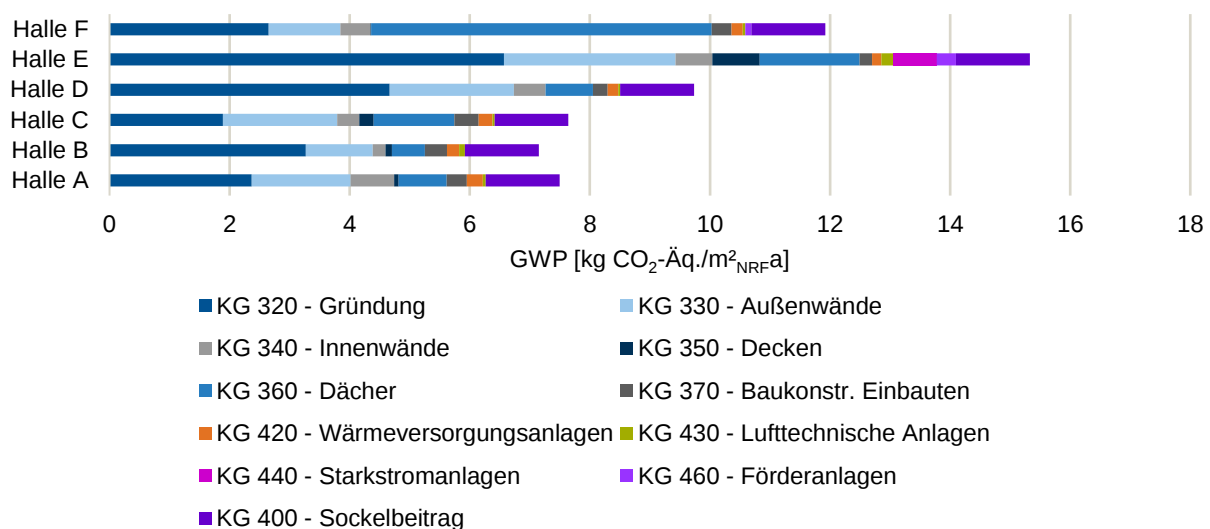


Abbildung 39: Fallstudie, GWP Baukonstruktion und TGA nach Bauteilgruppen, Modul A – C, Ursprungszustand (eigene Darstellung)

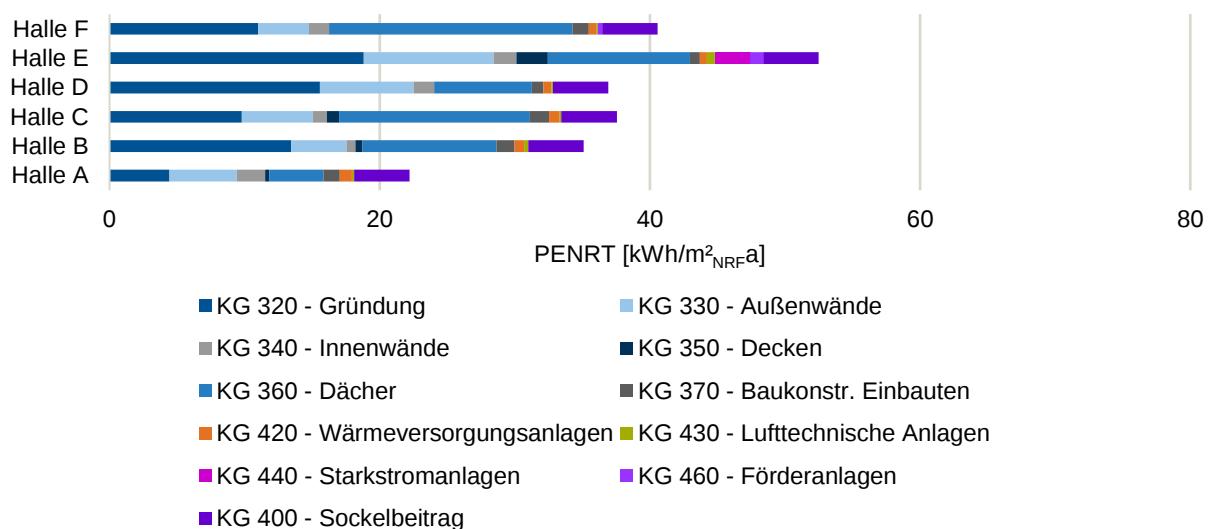


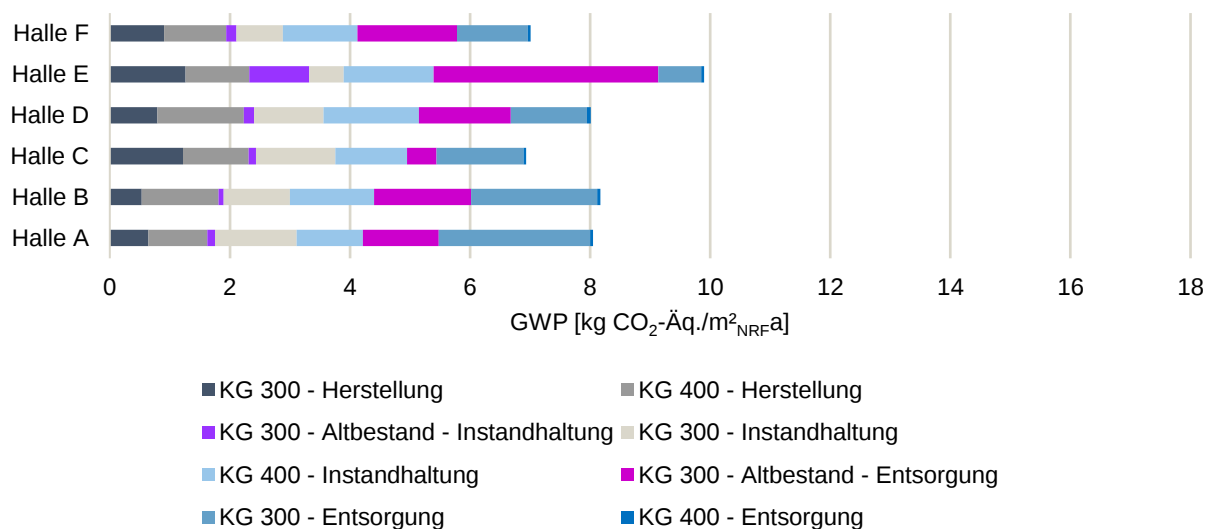
Abbildung 40: Fallstudie, PENRT Baukonstruktion und TGA nach Bauteilgruppen, Modul A – C, Ursprungszustand (eigene Darstellung)

Allgemein lässt sich beobachten, dass die Ergebnisse der sechs Fallstudien für die Sanierungs- und Neubauvariante im Vergleich zum Ursprungszustand (Bestand) deutlich näher beieinander liegen (siehe Tabelle 19). So weisen diese eine deutlich niedrigere Standardabweichung (relativ zum Mittelwert) auf.

Tabelle 19: Fallstudie, Gegenüberstellung (Mittelwert und Standardabweichung) der Ergebnisse für Baukonstruktion und TGA, Ursprungszustand, Sanierungs- und Neubauvariante (eigene Darstellung)

Gesamtergebnis Baukonstruktion und TGA (Modul A – C)	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ² _{NRFa}]	PENRT [kWh/m ² _{NRFa}]
Mittelwert Ursprungszustand	9,88 ± 2,94	37,48 ± 8,89
Mittelwert Sanierungsvariante	9,25 ± 0,97	37,02 ± 4,20
Mittelwert Neubauvariante	12,03 ± 1,86	54,43 ± 3,30

Exemplarisch ist in Abbildung 41 und Abbildung 42 die jeweilige Verteilung der Umweltwirkungen der Baukonstruktion und TGA nach Lebenszyklusphasen für die Sanierungsvariante dargestellt. Bei der Betrachtung zeigt sich, dass bei GWP in der Regel die Entsorgung die meisten Umweltwirkungen aufweist, bei PENRT die Herstellung. Die kleinteiligen Komponenten der Haustechnik (KG 400 – Sockelbetrag) sind in der Darstellung nicht berücksichtigt. Sind bei PENRT für ältere Hallen aufgrund des höheren Sanierungsaufwands insgesamt auch höhere Umweltwirkungen für KG 300 zu verzeichnen, ist das GWP stärker von der konkreten Ausführung und den damit verbundenen Baustoffen abhängig. So wird beispielsweise für Halle A und D mit Steildach und Halle B mit oberster Geschossdecke die Dämmung mit Mineralwolle statt PU-Schaum ausgeführt und es sind weniger Abdichtungsschichten erforderlich, wodurch die Umweltwirkungen des GWP wesentlich geringer ausfallen. Bei der Neubauvariante nach Lebenszyklusphasen weist ebenfalls die Entsorgung (GWP) bzw. Herstellung (PENRT) die meisten Umweltwirkungen auf.

**Abbildung 41: Fallstudie, GWP Baukonstruktion und TGA nach Lebenszyklusphasen, Modul A – C, Sanierungsvariante (eigene Darstellung)**

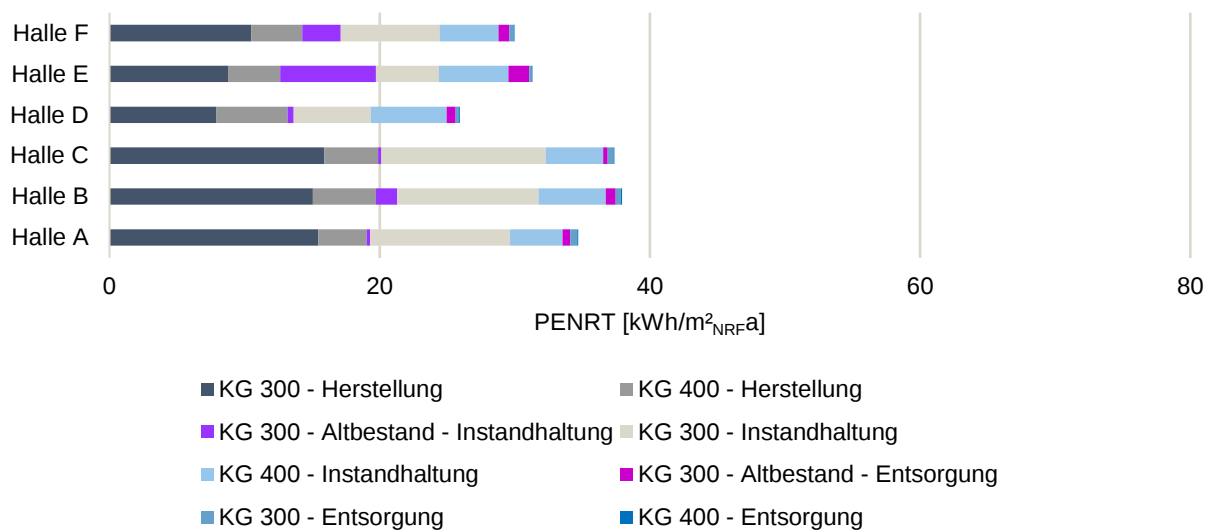


Abbildung 42: Fallstudie, PENRT Baukonstruktion und TGA nach Lebenszyklusphasen, Modul A – C, Sanierungsvariante

Unter Berücksichtigung der Wiederverwendungs- und Recyclingpotenziale der Baukonstruktion und TGA (Modul D1) reduzieren sich die Umweltwirkungen in der Summe um etwa ein Viertel. In Abbildung 43 und Abbildung 44 sind die Gutschriften für Modul D1 für die Sanierungsvariante ersichtlich. Die Einsparungen für die Sanierungsvariante liegen im Mittel bei 29 Prozent für GWP und 27 Prozent bei PENRT. Im Neubau lassen sich durch eine Aktivierung aller Wiederverwendungs- und Recyclingpotenziale 28 Prozent an GWP und 25 Prozent an PENRT einsparen. Vor allem der Baustoff Holz weist durch die Verdrängung fossiler Primärenergie durch die energetische Verwertung des nachwachsenden Rohstoffes bei PENRT Gutschriften auf. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass mit Modul D1 das theoretische Wiederverwendungs- und Recyclingpotenzial erfasst wird. In der Praxis wird dieses nicht immer umgesetzt und ist durch den Ausbau der Kreislaufwirtschaft im Bausektor und innovative Entsorgungskonzepte stärker zu fördern (Meier-Dotzler, 2023). Aus diesem Grund werden die Ergebnisse im weiteren Verlauf ohne Modul D dargestellt. Im Anhang sind ebenfalls die Ergebnisse für Modul D ausgewiesen.

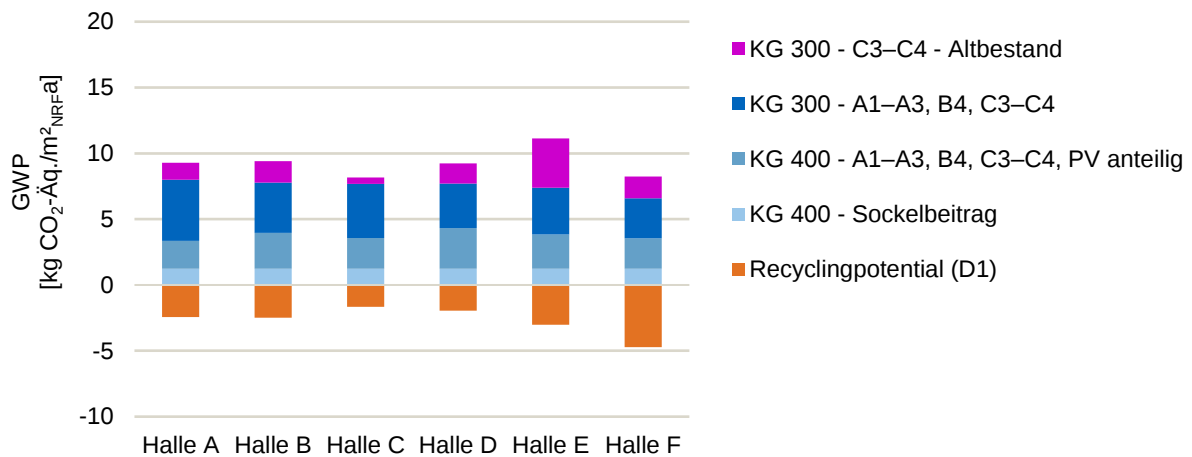


Abbildung 43: Fallstudie, GWP Baukonstruktion und TGA, Modul A – D1, Sanierungsvariante (eigene Darstellung)

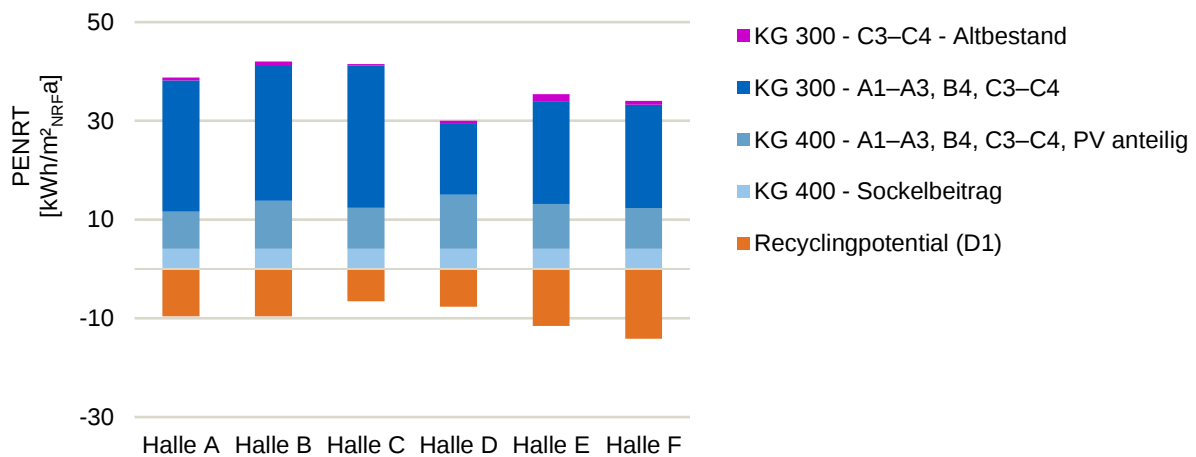


Abbildung 44: Fallstudie, PENRT Baukonstruktion und TGA, Modul A – D1, Sanierungsvariante (eigene Darstellung)

Im Rahmen der Ökobilanzierung wird ebenfalls die Masse der verbauten Baukonstruktion und Anlagentechnik berechnet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 45 dargestellt. Dabei ist ein Zusammenhang zwischen der jeweils resultierenden Masse und Größe der Halle erkennbar. Eine Besonderheit stellt die Halle E dar. Als Einfachhalle weist die Halle eine sehr große Masse auf. Dies ist auf die Plattengründung mit einer 80 cm dicken Stahlbetonplatte und auf den im Vergleich zu den anderen Hallen hohen Anteil an Außenwänden in Stahlbetonbauweise (da erdreichberührend) zurückzuführen.

Bei der Sanierungsvariante ist ein Großteil der Masse dem weiterverwendeten Altbestand (73 bis 96 Prozent) zuzuordnen. Je älter das Baujahr, desto mehr neue Bauteile und damit Masse sind einzubringen. Wie in der Abbildung 45 ersichtlich ist, übersteigt die für einen Neubau erforderliche Masse in der Regel die Masse des Bestands. Somit fällt in der Summe bei einem

Abriss und Neubau (inkl. Rückbau) nahezu doppelt so viel Material zur Verwertung oder Entsorgung bzw. Wiederwendung, Rückgewinnung und / oder zum Recycling an.

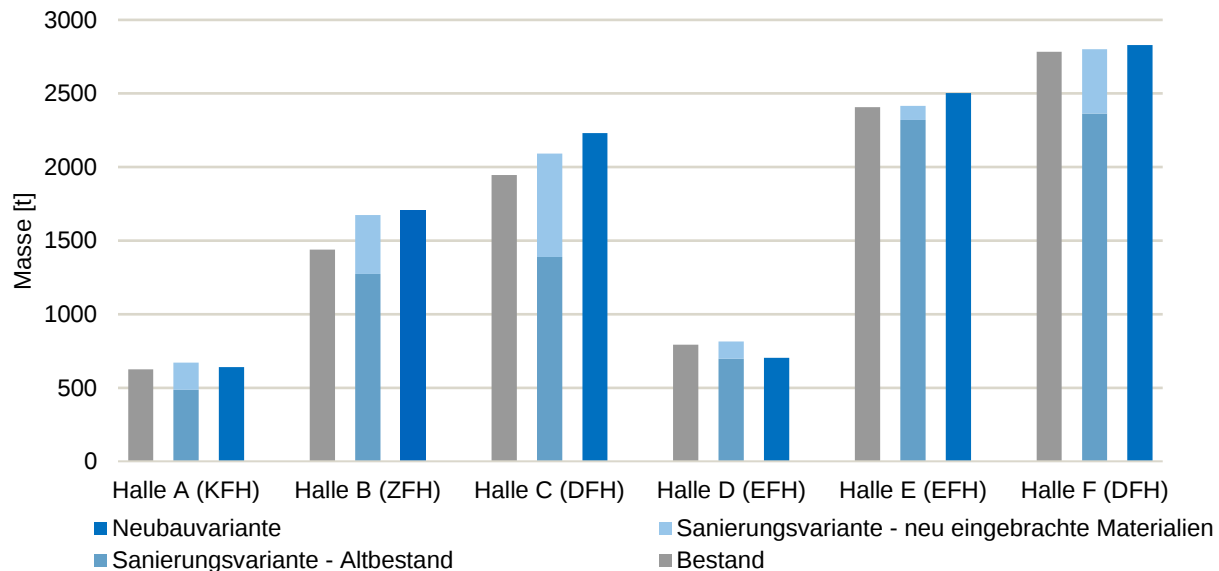


Abbildung 45: Fallstudie, Massenbilanz, Bestand-, Sanierungs- und Neubauvariante (eigene Darstellung)

3.2.4. Sportfunktionale Einbauten

Im Weiteren sind die Umweltwirkungen für die berücksichtigten sportfunktionalen Einbauten nach Standardmaßen als absolute Werte dargestellt. Im Rahmen der Sanierungs- und Neubauvarianten werden die projektspezifischen Flächen berücksichtigt. In Klammern ist jeweils angegeben, welcher Kostengruppe die Bauteile in der Bilanzierung zugeordnet sind.

Die wesentlichen Umweltwirkungen sind den Bauteilgruppen Sportgeräte und Sportboden, gefolgt von Trennwand und Tribüne zuzuschreiben. Wesentlich für die Umweltwirkungen der Sportgeräte sind Bauteile aus Stahl und Aluminium. Die hohen Umweltwirkungen des Sportbodens resultieren vor allem auf dem im Bodenaufbau enthaltenen Gummischaum (Schwingträger) bzw. der flächigen Elastiksicht (Sandwichboden), im Rahmen der Ökobilanz als Schaumgummi berücksichtigt. Für eine präzisere Bewertung der Umweltwirkungen der sportfunktionalen Einbauten wie Sportgeräte und Sportböden sind konkretere Informationen zu den verwendeten Materialien (z. B. Beschichtung bzw. Lackierung, Gummischaum bzw. Elastiksicht) notwendig. Bisher liegen jedoch kaum konkrete baustoff- bzw. bauteilbezogene Datensätze sowie Umweltproduktdeklarationen (EPD) für sportfunktionale Einbauten vor. Eine Ausnahme bildet beispielsweise der weichelastische Bodenbelag von Regupol (Stadionwelt, 2023).

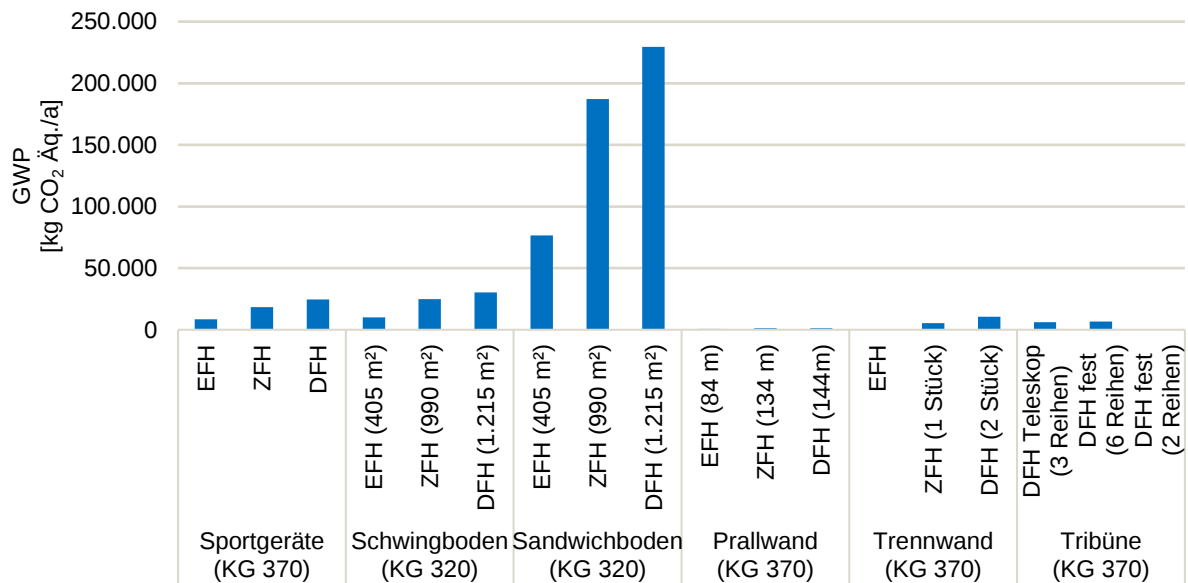


Abbildung 46: Sportfunktionale Einbauten, GWP, absolut (eigene Darstellung)

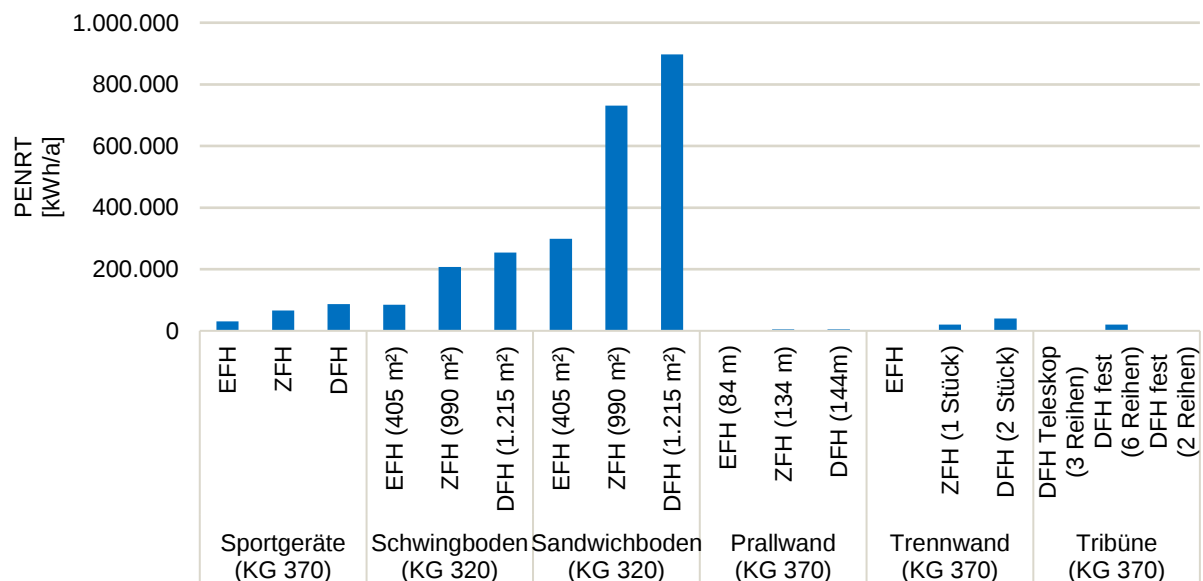


Abbildung 47: Sportfunktionale Einbauten, PENRT, absolut (eigene Darstellung)

Die sportfunktionalen Einbauten (KG 320: Sportboden und KG 370: Sportgeräte, Prallwand, ggf. Trennwände, ggf. Tribünen) haben bei der Sanierungsvariante einen durchschnittlichen Anteil von ca. 13 Prozent am GWP und ca. 17 Prozent am PENRT bezogen auf alle Bauteile der KG 300. Bei der Neubauvariante liegen die Anteile bei durchschnittlich ca. 9 Prozent am GWP und ca. 10 Prozent am PENRT. Aufgrund zusätzlicher Bauteile wie Trennwände und ggf. Tribünen weisen die sportfunktionalen Einbauten bei größeren Hallen entsprechend höhere Umweltwirkungen auf.

Im Verhältnis zur Gesamtsumme der Umweltwirkungen gehen bei der Sanierungsvariante im Mittel ca. 2 Prozent des GWP auf die sportfunktionalen Einbauten zurück, bei PENRT ca. 4 Prozent. Bei der Neubauvariante umfassen diese im Mittel ca. 2 Prozent des GWP und ca. 3 Prozent des PENRT.

Der Anteil der sportfunktionalen Einbauten an der gesamten Masse des Gebäudes liegt sowohl bei der Sanierung als auch dem Neubau bei durchschnittlich etwa 1,8 Prozent. Auch hier weisen die sportfunktionalen Einbauten bei Kleinsport- und Einfachhallen eine geringere Masse auf als die größeren Hallen mit Trennwänden und ggf. Tribünen.

3.2.5. Gesamtbetrachtung

Im Folgenden werden die Ergebnisse für Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung sowie des Betriebs gesamtheitlich diskutiert. Für die dargestellte Sanierungsvariante (siehe Abbildung 48 und Abbildung 49) ist hierbei auch die Entsorgung (Modul C3 und C4) des Altbestands für die weiterverwendete Konstruktion, die bei einer Komplettsanierung gemäß Bilanzierungsvorgaben nach QNG ebenfalls berücksichtigt wird, ersichtlich.

Auch in der Gesamtbetrachtung liegen die Ergebnisse der Fallstudien recht nah beieinander. Der Mittelwert für GWP beträgt $19,58 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./m}^2_{\text{NRFa}}$ mit einer Standardabweichung von $\pm 1,37 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./m}^2_{\text{NRFa}}$, für PENRT ergeben sich $73,17 \pm 7,41 \text{ kWh/m}^2_{\text{NRFa}}$.

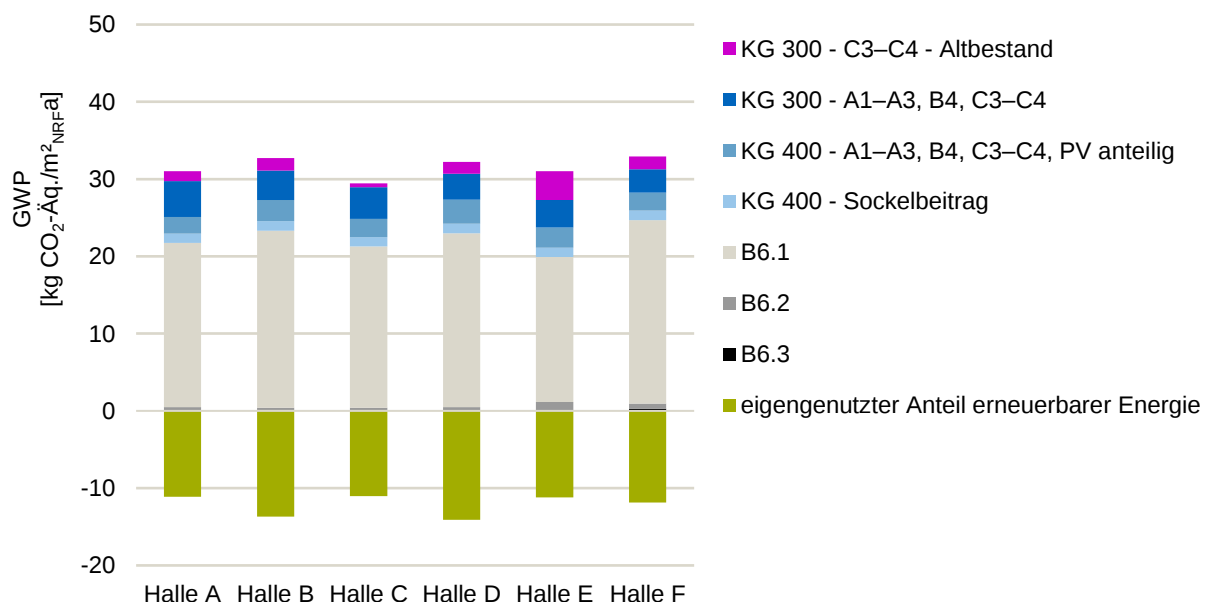


Abbildung 48: Fallstudie, GWP Gesamt mit Altbestand, Modul A – C, Sanierungsvariante (eigene Darstellung)

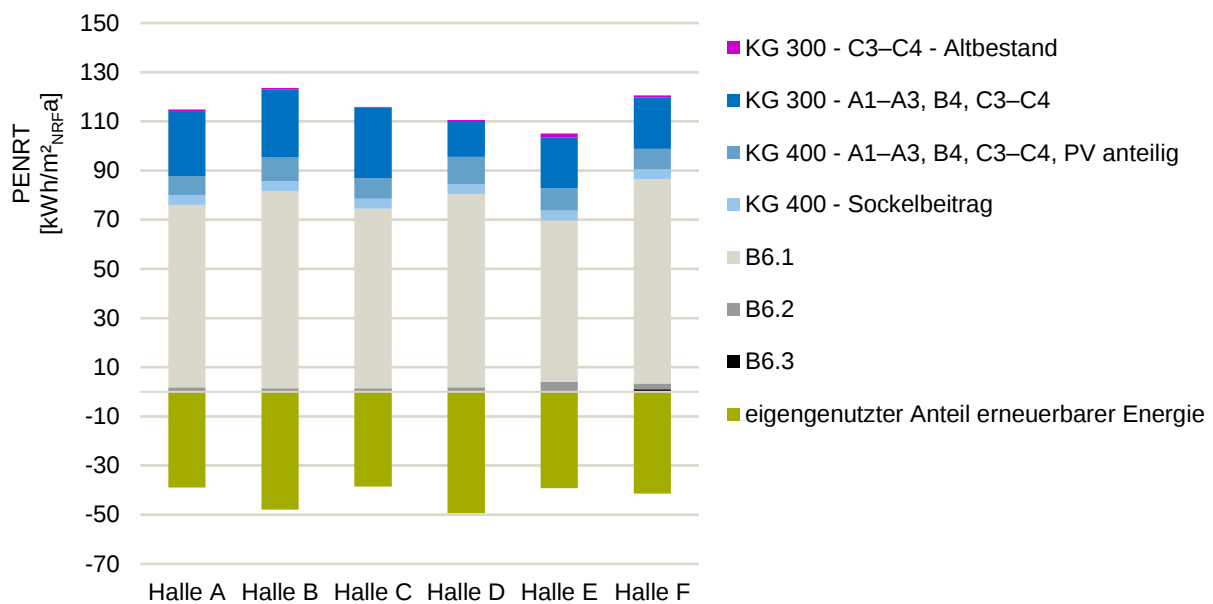


Abbildung 49: Fallstudie, PENRT Gesamt mit Altbestand, Modul A – C, Sanierungsvariante (eigene Darstellung)

Zur Einordnung sind ebenfalls die Ergebnisse der Ökobilanzierung für den Ursprungszustand nach Baujahr dargestellt. Grundsätzlich ist in den Auswertungen ersichtlich, dass mit sinkendem Energiebedarf im Betrieb im Zuge der Sanierung oder dem Neubau, unter Berücksichtigung von vor Ort erzeugter, erneuerbarer Energie, die Ausführung der Baukonstruktion und TGA aus ökologischer Sicht zunehmend an Bedeutung gewinnt. Bei der Sanierung kommt der Baukonstruktion und TGA mit im Mittel 47 Prozent (GWP) bzw. 51 Prozent (PENRT) etwa die Hälfte der Umweltwirkungen zu. Im Neubau beträgt der Anteil im Mittel 58 Prozent (GWP) bzw. 64 Prozent (PENRT). Im Vergleich dazu betragen die anteiligen Umweltwirkungen der Baukonstruktion und TGA bei Sporthallen mit Baujahr vor 1978 im Ursprungszustand weniger als 10 Prozent.

Wesentlich für die Umweltwirkungen im Ursprungszustand (siehe Abbildung 50 und Abbildung 51) ist der Energiebedarf im Betrieb, der sich mit fortschreitendem Baujahr zunehmend reduziert. Daneben ist ersichtlich, dass im Gegensatz dazu die Umweltwirkungen für Baukonstruktion und TGA bei Hallen neueren Baujahres höhere Werte aufweisen. Ein Grund dafür sind beispielsweise die höheren Dämmstoffstärken und umfangreichere Anlagentechnik (z. B. Aufzugs- oder Photovoltaikanlagen). So weist die Halle A aus BAK I für Baukonstruktion und TGA das geringste GWP und PENRT auf, die Hallen E und F aus BAK IV die höchsten. Es ist darauf hinzuweisen, dass die verwendeten Datensätze nach ÖKOBAUDAT die aktuellen und nicht die historischen Produktionsprozesse berücksichtigen.

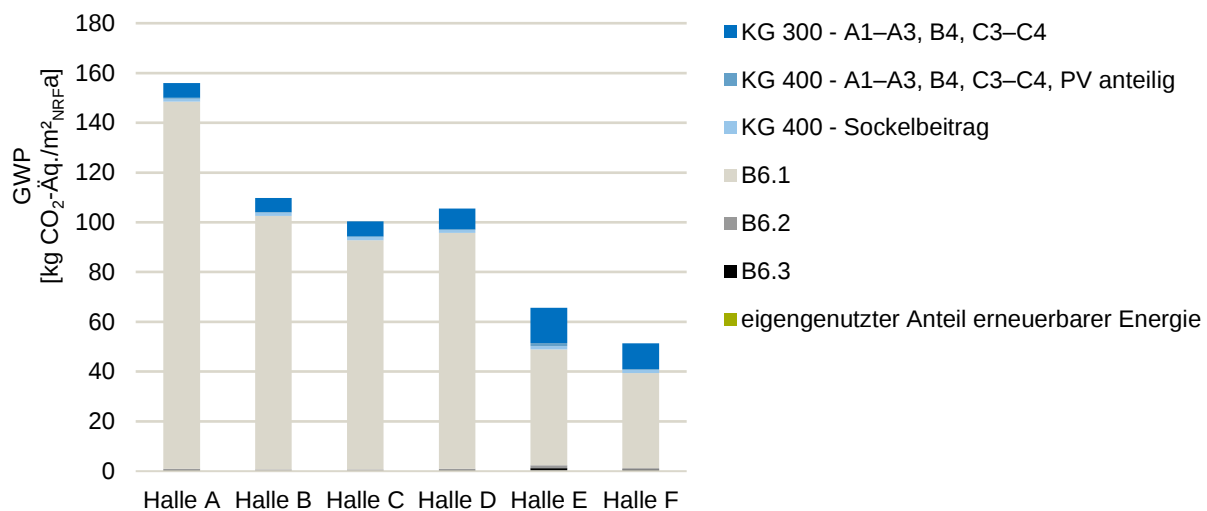


Abbildung 50: Fallstudie, GWP Gesamt, Modul A – C, Ursprungszustand (eigene Darstellung)

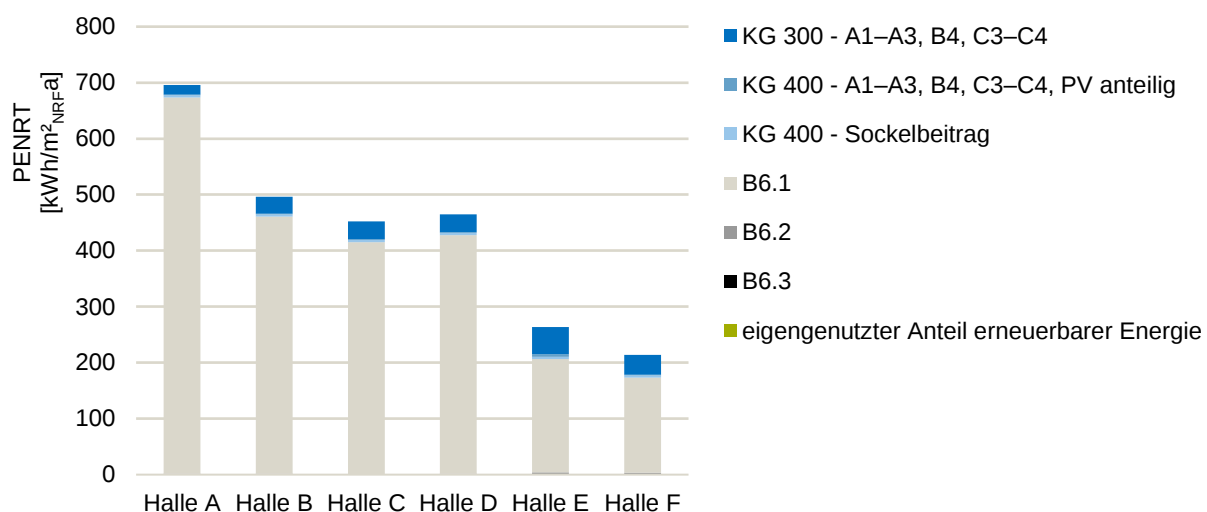


Abbildung 51: Fallstudie, PENRT Gesamt, Modul A – C, Ursprungszustand (eigene Darstellung)

3.2.6. Vergleich Sanierung und Neubau

Nachfolgend werden die Ergebnisse für die Sanierungsvariante und die Neubauvariante im Vergleich diskutiert.

Wie beschrieben ist nach QNG bei einer Komplettsanierung für die weiterverwendete Konstruktion ebenfalls die Entsorgung (Modul C3 und C4) anzurechnen. Für einen repräsentativen Vergleich ist neben der Entsorgung der weiterverwendeten Konstruktion auch die Entsorgung der abzubrechenden Konstruktion für die Sanierungs- und Neubauvariante dargestellt, die nach QNG dem vorherigen Gebäudezyklus zuzuordnen wäre. Die Ergebnisse, ohne Ausweisung des Moduls D, sind in Abbildung 52 und Abbildung 53 ersichtlich. Die Neubauvariante weist trotz eines geringeren Energieverbrauchs im Betrieb und trotz einer sehr ambitionierten Konstruktion

mit hohem Holzanteil (Außenwand, Dach, teilweise Innenwände) bei allen Fallbeispielen eine höhere Umweltwirkung auf. Die Sanierungsvariante basiert auf dem unsanierten Gebäudezustand gemäß Baujahr. Mit Berücksichtigung bereits erfolgter Teilsanierungsmaßnahmen würde sich der Ressourceneinsatz für die Sanierungsvariante nochmals reduzieren. Durch die Weiternutzung der Grundstruktur im Rahmen der Sanierung verringern sich nicht nur Umweltwirkungen, sondern es wird auch das Abfallaufkommen (siehe Kapitel 3.2.3) verringert.

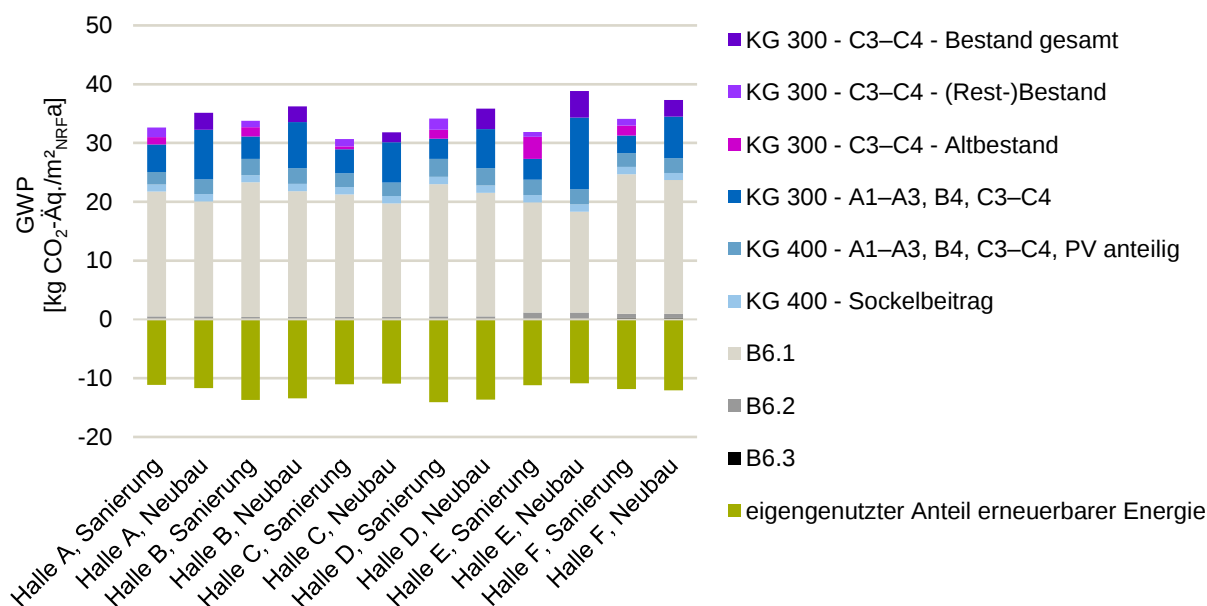


Abbildung 52: Fallstudie, GWP Gesamt inkl. Komplettbestand, Modul A – C, Sanierungs- und Neubauvariante im Vergleich (eigene Darstellung)

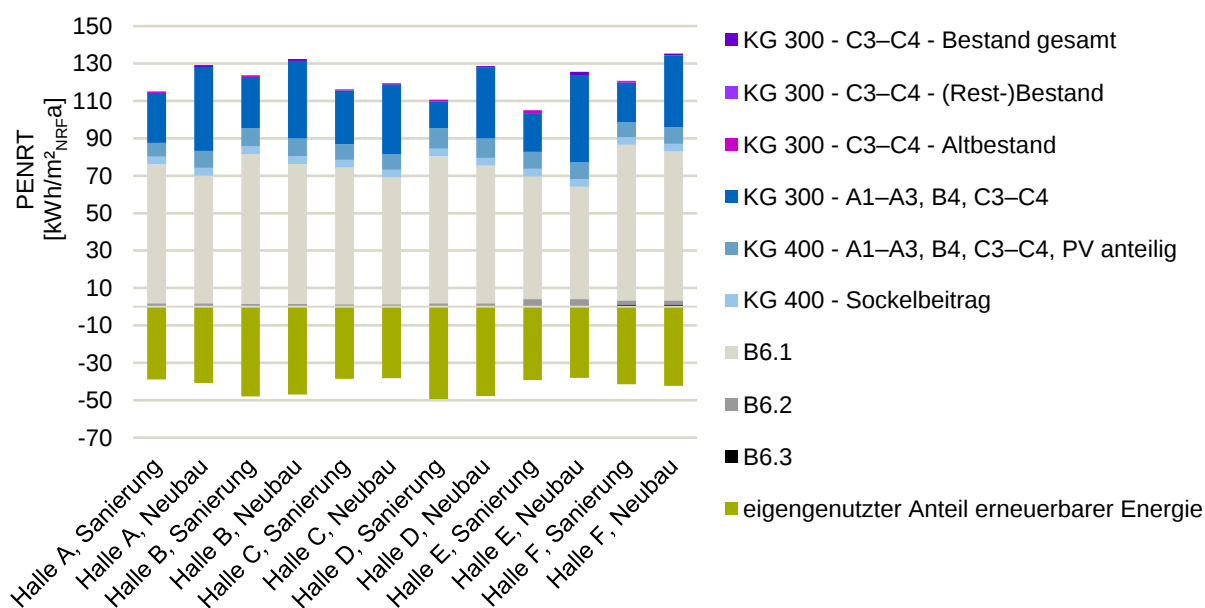


Abbildung 53: Fallstudie, PENRT Gesamt inkl. Komplettbestand, Modul A – C, Sanierungs- und Neubauvariante im Vergleich (eigene Darstellung)

Für den Vergleich bezogen auf die Umweltwirkungen GWP und PENRT ausschlaggebend ist jedoch der Ressourcenaufwand für neu eingebrachte Materialien und den Betrieb, die je nach Fallstudie variieren. In Abbildung 54 und Abbildung 55 sind diese daher im Detail dargestellt.

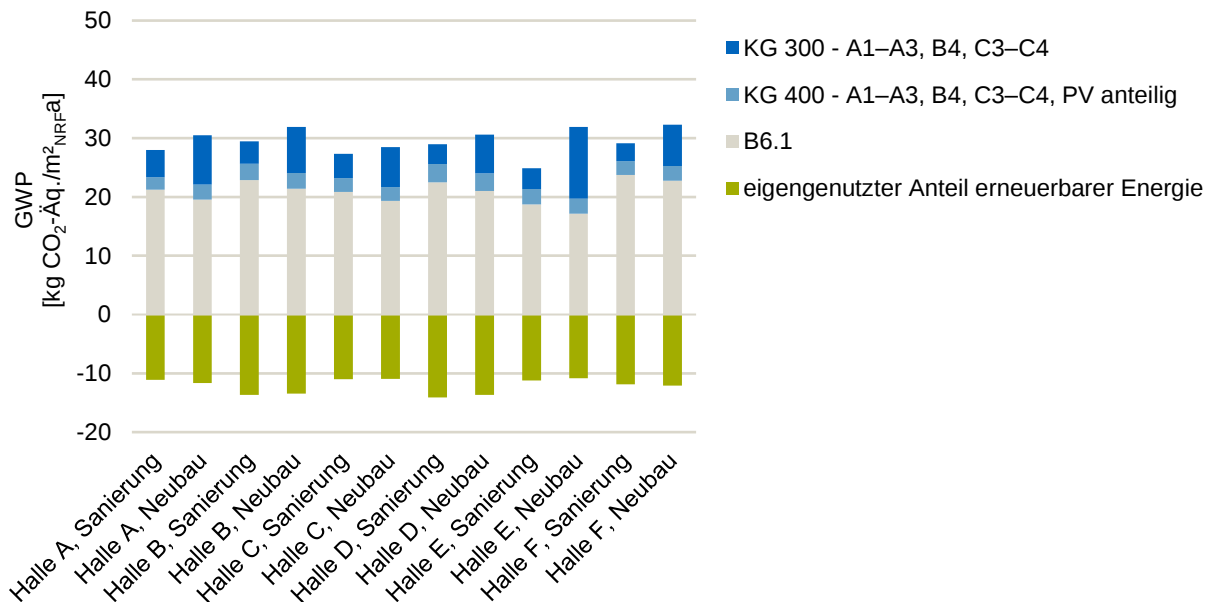


Abbildung 54: Fallstudie, GWP Baukonstruktion und TGA (ohne Sockelbetrag), Betrieb nach GEG und eigengenutzter Anteil erneuerbarer Energie, Modul A – C, Sanierungs- und Neubauvariante im Vergleich (eigene Darstellung)

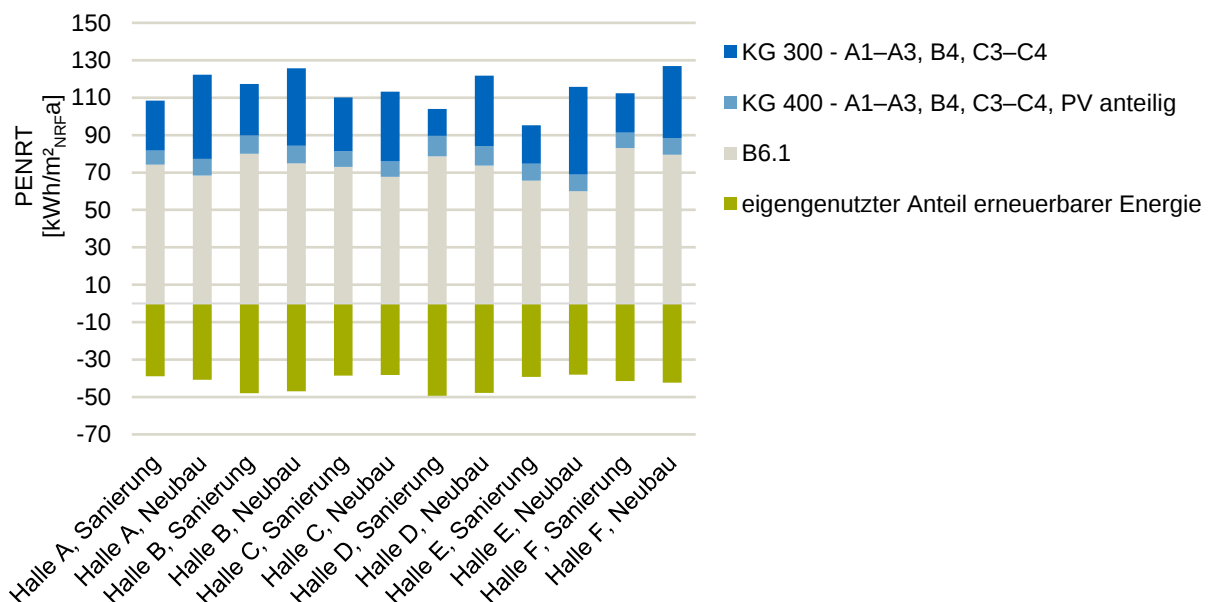


Abbildung 55: Fallstudie, PENRT Baukonstruktion und TGA (ohne Sockelbetrag), Betrieb nach GEG und eigengenutzter Anteil erneuerbarer Energie, Modul A – C, Sanierungs- und Neubauvariante im Vergleich (eigene Darstellung)

In allen Fallstudien weist die Sanierungsvariante geringere Umweltwirkungen auf. Der Unterschied ist je nach Fallbeispiel unterschiedlich ausgeprägt: Bei GWP liegt dieser zwischen 0,42

und 3,62 kg CO₂-Äq./m²_{NRFA}, bei Primärenergie nicht erneuerbar zwischen 3,15 und 20,08 kWh/m²_{NRFA}. Wesentlich für die Unterschiede sind die Bauteile der KG 300, die aufgrund der individuellen Eigenschaften der Hallen variieren wie beispielsweise die Art der Dachausführung oder der Anteil an Außenwänden gegen Erdreich.

Nachfolgend wird zur Vollständigkeit auch der Vergleich der Sanierungs- und Neubauvariante unter Berücksichtigung des Moduls D dargestellt (siehe Abbildung 56 und Abbildung 57). Das Modul D beinhaltet neben dem Recyclingpotenzial (D1) ebenfalls eine Gutschrift für GWP für exportierte Energie (D2) aufgrund bei Dritten potenziell vermiedenen Treibhausgasemissionen, in diesem Fall durch Photovoltaik erzeugte Energie. Aufgrund der großen Dachflächen von Sporthallen ergibt sich bei allen Fallbeispielen ein Energieüberschuss. In der Gesamtbetrachtung ergeben sich dadurch Vorteile für die Neubauvariante bei den Hallen der BAK I und II, die dazu führen, dass die Neubauvariante bei Halle A und C bei GWP und Halle C bei PENRT weniger Umweltwirkungen verursacht.

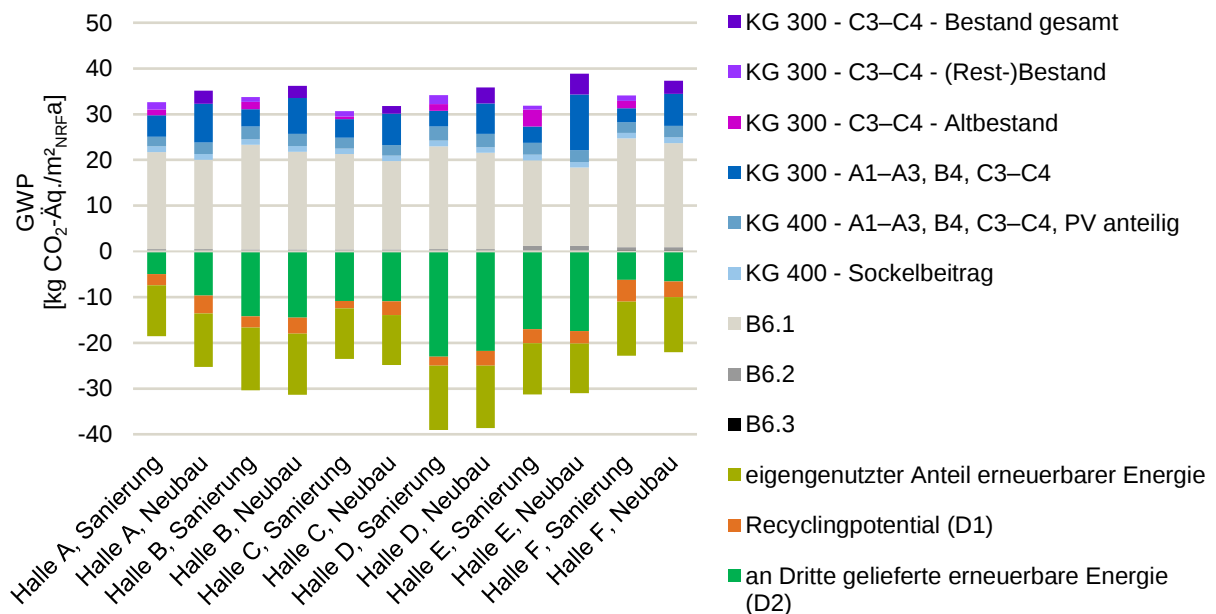


Abbildung 56: Fallstudie, GWP Gesamt inkl. Komplettbestand, Modul A – D, Sanierungs- und Neubauvariante im Vergleich (eigene Darstellung)

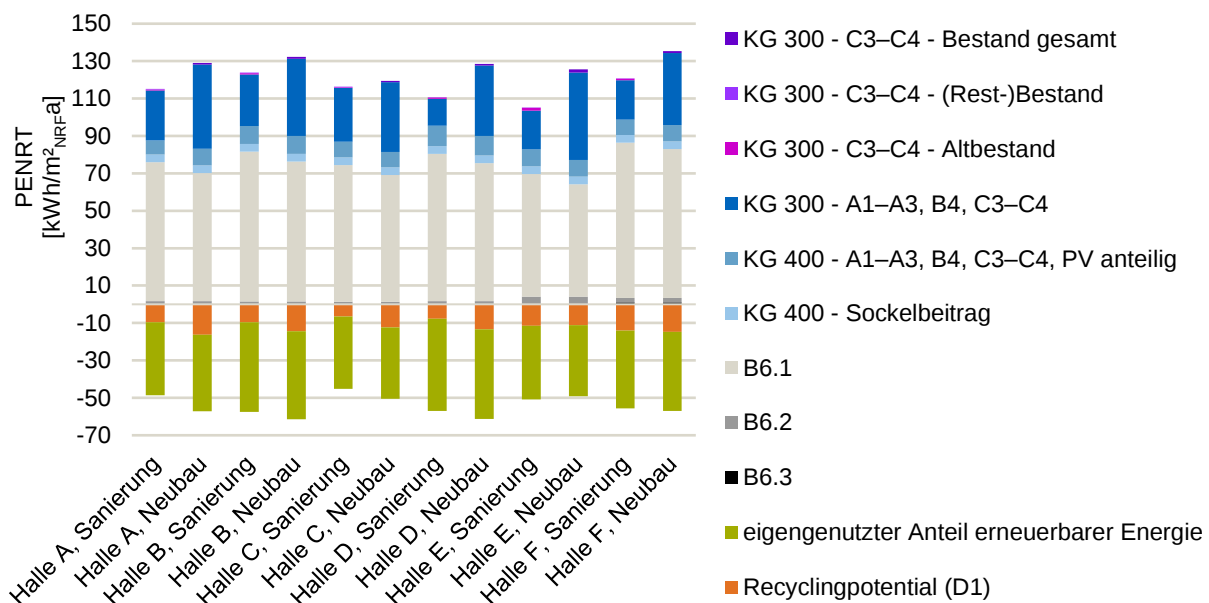


Abbildung 57: Fallstudie, PENRT Gesamt inkl. Komplettbestand, Modul A – D, Sanierungs- und Neubauvariante im Vergleich (eigene Darstellung)

3.3. Ergebnisvergleich mit anderen Publikationen

Zur Validierung der Ergebnisse der Fallstudie werden diese mit Ergebnissen bestehender Publikationen verglichen.

In Bezug auf den Endenergiebedarf ist die Publikation nach BMVBS, 2011 wesentlich. Da sich die Einteilung in Baualtersklassen in der genannten Publikation und der vorliegenden Dissertation jedoch unterscheiden, ist ein direkter Vergleich nicht möglich. Dennoch zeigen sich ähnliche Ergebnisse für die Fallbeispiele im Ursprungszustand (siehe Kapitel 3.2.2) wie die in BMVBS, 2011 berechneten Bandbreiten der Endenergiebedarfe für Sporthallen unterschiedlicher Baualtersklassen. Zur Veranschaulichung sind diese als Vergleichswerte in den Gebäudesteckbriefen in Anhang A.1 ersichtlich. Geringe Abweichungen liegen vor allem im Bereich der Hallen aus BAK I und IV. Dass der Endenergiebedarf der Halle A von 1940 (ca. 734 kWh/m²a) oberhalb der nach BMVBS, 2011 angegebenen Bandbreite von 400 – 600 kWh/m²a liegt, ist dadurch zu erklären, dass im Rahmen des Forschungsprojekts mit Mittelwerten für Bauten bis 1976 gerechnet wurde. Hierfür wurden teilweise bessere energetische Eigenschaften angenommen, als die Halle von 1940 aufweist. Die Halle wurde vor der Einführung von Mindestanforderungen an den baulichen Wärmeschutz errichtet. Zudem weist die Halle ein sehr hohes A/V-Verhältnis auf. Die Hallen aus BAK IV liegen mit ca. 172 kWh/m²a (Halle E) und ca. 147 kWh/m²a (Halle F) etwas unterhalb der nach BMVBS, 2011 angegebenen 200 – 300 kWh/m²a für Sporthallen ab Baujahr 1995. Auch hier wurde nach BMVBS, 2011 ein Mittelwert für Bauten ab 1995 bis 2009 gebildet, wogegen die

untersuchten Fallbeispiele aus 2013 und 2015 bereits teilweise bessere energetische Eigenschaften, wie z. B. bei Wärmeübergangskoeffizienten der Außenbauteile, aufweisen.

Für die energetischen Kennwerte der Bauteile der wärmeübertragenden Hüllfläche ist zur Validierung vor allem die Bekanntmachung zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand BMWi & BMI, 2020 wesentlich, auf welche bereits bei der Datenaufnahme Bezug genommen wurde. Der Großteil der aufgenommenen Bauteile liegt im Bereich der Pauschalwerte für Wärmeübergangskoeffizienten der jeweiligen Baujahre bzw. Baualtersklasse nach BMWi & BMI, 2020, welche ebenfalls im Rahmen der Gebäudesteckbriefe in Anhang A.1 ersichtlich sind. Abweichungen ergeben sich auch hier vor allem für die neueren Hallen E und F. In der Publikation werden für Gebäude nach 2002 keine weiteren Zeitspannen differenziert. Somit ist auch hier zu erklären, dass die beiden genannten Fallbeispiele, die nach Vorgaben der EnEV 2009 errichtet wurden, teilweise einen niedrigeren U-Wert aufweisen als die Pauschalwerte nach BMWi & BMI, 2020 für Gebäude ab 2002.

Vergleichbare Studien, die sich konkret mit den Umweltwirkungen von Sporthallen im Bestand sowie insbesondere der Sanierung dieser beschäftigen, gibt es bisher nicht. Näherungsweise wird für einen Abgleich der Ergebnisse der Neubauvariante die Studie nach Braune et al., 2021 herangezogen, in welcher die Treibhausgasemissionen der Gebäudekonstruktion (Konstruktion und Anlagentechnik) von Bürogebäuden bezogen auf den Neubau untersucht wird. Aus dieser ergibt sich ein Mittelwert von $8,7 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./m}^2_{\text{NRFa}}$ bei der Auswertung nach Bilanzierungsregeln nach DGNB inkl. Modul D. Die Ergebnisse der Neubauvarianten der Fallbeispiele nach Bilanzierungsregeln nach QNG liegen mit einem Durchschnittswert von $8,7 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./m}^2_{\text{NRFa}}$ für KG 300 und KG 400 inkl. dem Sockelbeitrag für KG 400 und Modul D1 sehr nahe. Nichtsdestotrotz wird der Vergleich aufgrund der Unterschiede wie Gebäudetyp, Datensatz und Effizienzstandard als nur grob aussagekräftig bewertet.

Weiter werden die Ergebnisse der Fallstudie mit den Anforderungswerten des QNG für Sporthallen (LCA-Klasse K5) verglichen. Für alle Fallbeispiele liegt der berechnete Gesamtwert für Baukonstruktion und TGA, Betrieb und Nutzung unterhalb des Anforderungswerts 2 und erreicht das Ambitionsniveau Premium. In Tabelle 20 sind die Kennwerte nach QNG für den baulichen Teil (KG300 und KG 400) sowie die Ergebnisse der Fallbeispiele anhand der Mittelwerte dargestellt (BMVBS, 2022). Die Ergebnisse der Fallbeispiele des GWP für Baukonstruktion und TGA liegen im Bereich der Kennwerte nach QNG. Dagegen liegen die Ergebnisse des PENRT überwiegend oberhalb der Kennwerte nach QNG, vor allem bei der Neubauvariante. Hier sind vor allem die aufgrund der Kubatur von Sporthallen im Verhältnis sehr großen Boden- und Dachflächen

hervorzuheben. Besonders die Dichtungsbahnen aus Bitumen (vier Schichten im Gründachaufbau), Dachbahnen aus EPDM und PU-Schaum weisen hohe Werte bei PENRT auf.

Tabelle 20: Fallstudie, Vergleich GWP und PENRT der Baukonstruktion und TGA mit Kennwerten nach QNG, Sanierung und Neubau (BMVBS, 2022)

	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ² _{NRFa}]	PENRT [kWh/m ² _{NRFa}]
Kennwert für KG 300 und KG 400 (Modul A1-A3, B4, C3-C4, D1, ohne PV-Anlage) Niveau 1 - Plus	10,5	30,6
Kennwert für KG 300 und KG 400 (Modul A1-A3, B4, C3-C4, D1, ohne PV-Anlage) Niveau 2 – Premium	9	27,7
Fallstudie: Sanierung (Mittelwert)	7,1	29,1
Fallstudie: Neubau (Mittelwert)	9,7	46,3

3.4. Ergänzung der bautypologischen Clusterung von Sporthallen mit Ergebnissen der Fallstudie

Im Folgenden werden die wesentlichen Erkenntnisse, die im Rahmen der Fallstudie in Bezug auf die baualtersklassenspezifischen Eigenschaften der Sporthallen gewonnen werden konnten, beschrieben. Zwar handelt es sich um Beobachtungen anhand ausgewählter Fallbeispiele, die Sporthallen stellen jedoch gültige Beispielgebäude der entsprechenden Bauepoche dar.

Im Bereich der Baukonstruktion zeichnen sich die Fallbeispiele durch individuelle Ausführungen aus, was sich in der Art der jeweils umgesetzten Baukonstruktion (z. B. Streifen- oder Plattenfundament, Holzbauweise oder Massivbauweise aus Mauerwerk oder Porenbeton) zeigt. Daher lässt sich im Rahmen der sechs untersuchten Fallbeispiele auf keine allgemein für Sporthallen der jeweiligen BAK typische Konstruktionsarten zurückschließen. Tendenziell weisen die Hallen der BAK III und IV einen höheren Anteil an Bauteilen in Stahlbeton auf, u. a. bedingt aufgrund der teilweise im Gelände abgesenkten Baukörper. Die energetischen Eigenschaften der Baukonstruktion wie die Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile der Gebäudehülle wurden durch den Vergleich mit anderen Publikationen verifiziert (siehe Kapitel 3.3). Detaillierte Eigenschaften der Fallbeispiele sind in Anhang A.1 und A.2 nachvollziehbar aufgeführt.

In Bezug auf die Ausführung der technischen Gebäudeausrüstung (z. B. Heizungsübergabe) lassen sich anhand der Eigenschaften der Fallstudien (siehe Anhang A.1) folgende Erkenntnisse zusammenfassen:

- Vor 1978 (BAK I und II) erfolgt die Heizungsübergabe der Sporthalle vorwiegend über Luftheizung, in BAK III und IV über Deckenstrahl- oder Fußbodenheizung.
- Bei der Wärmeerzeugung über Gas ist in BAK I und II ein Standard-Gebläsekessel typisch, in BAK III ein Niedertemperaturkessel und in BAK IV ein Brennwertkessel, gegebenenfalls in Kombination mit einer Wärmepumpe.
- Eine zentrale Warmwassererzeugung ist der Regelfall.
- Es sind vorwiegend hybride Lüftungskonzepte umgesetzt, neben freier Lüftung über Fenster besteht eine mechanische Lüftungsunterstützung.
- In BAK I bis III werden zur Beleuchtung vorwiegend Leuchtstofflampen (T5 oder T8) mit konventionellem oder elektrischem Vorschaltgerät eingesetzt, ab BAK IV findet bereits teilweise LED-Technik Anwendung.
- Ab BAK IV sind Photovoltaikanlagen auf den Sporthallendächern realisiert.

In Tabelle 21 sind die Ergebnisse für den Endenergiebedarf der Fallbeispiele im Vergleich zu BMVBS, 2011 (siehe auch Kapitel 3.3) ersichtlich. Die Werte beziehen sich auf den Ursprungszustand der Sporthallen ohne Berücksichtigung von Sanierungsmaßnahmen. Darauf aufbauend werden für die in der vorliegenden Arbeit zu Grunde gelegten BAK die ersichtlichen Bereiche als Orientierungswerte für den Endenergiebedarf angenommen.

Für die Ableitung des Energiebedarfs für BAK V werden die Energiebedarfswerte der bilanzierten Neubauvariante der Fallstudie herangezogen. Da die Neubauvariante eine Unterschreitung der energetischen Vorgaben nach GEG 2023 darstellt (Unterschreitung KfW-Effizienzgebäude 40), wird für alle Fallbeispiele eine Variante nach Vorgaben GEG 2023 bilanziert sowie unterschiedliche Wärmeerzeugungsarten (neben Wasser-Wasser-Wärmepumpe auch Luft-Wasser-Wärmepumpe und Fernwärme) berücksichtigt. Die Ergebnisse liegen im Bereich von ca. 10 – 150 kWh/m²a.

Tabelle 21: Spezifischer Endenergiebedarf von Sporthallen nach Baualtersklasse im Ursprungszustand (Fallstudie und BMVBS, 2011) (eigene Darstellung)

Baualtersklasse	Spez. Endenergiebedarf der Fallbeispiele [kWh/m²a]	Spez. Endenergiebedarf nach BMVBS, 2011 [kWh/m²a]	Abgeleitete Orientie- rungswerte spez. Endenergiebedarf [kWh/m²a]
BAK I (vor 1951)	ca. 730	400 - 600	500 – 750
BAK II (1951 bis 1977)	ca. 410, ca. 370		300 – 500
BAK III (1978 bis 1994)	ca. 390	250 - 450	250 – 450
BAK IV (1995 bis 2020)	ca. 170, ca. 150	200 – 300	100 – 250
BAK V (ab 2021)	ca. 16	-	10 – 150

Entsprechend den beschriebenen Erkenntnissen im Rahmen der Fallstudie lässt sich die in Kapitel 2 entwickelte bautypologische Clusterung, wie in Abbildung 58 auf der folgender Seite ersichtlich, ergänzen bzw. konkretisieren (siehe blaue Schrift).



Abbildung 58: Ergänzung der abgeleiteten bautypologischen Clusterung in Baualtersklassen für Sporthallen mit Ergebnissen der Fallstudie (eigene Darstellung)

3.5. Diskussion und Zusammenfassung der Ergebnisse der Fallstudie

Die Ergebnisse der Fallbeispiele der Landeshauptstadt München zeigen, dass die Sporthallen der BAK I bis III in energetisch ungenügendem Zustand sind (siehe Kapitel 3.2.2). Diese Sporthallen weisen auch trotz teilweise durchgeführter Sanierungsmaßnahmen (Variante Status quo) im Mittel einen Endenergiebedarf von ca. 326 kWh/m²a auf. Die gesamte Verteilung der Sporthallen nach Baujahr ist in Kapitel 2.1.1 beschrieben. In der Landeshauptstadt München bilden die Sporthallen aus BAK II (Baujahr 1951 – 1977) über 50 Prozent des Gebäudebestands an Sporthallen ab. Mit den Hallen aus BAK I und III liegt der Anteil bei 78 Prozent.

Im Rahmen der Fallstudie wurde eine energetische Sanierung unter Berücksichtigung des Sanierungsstandards der Landeshauptstadt München untersucht (Unterschreitung KfW-Effizienzgebäude 40, siehe Kapitel 3.1.5). Dabei handelt es sich um einen sehr ambitionierten Energiestandard für die Sanierung. Das Einsparpotenzial des Endenergiebedarfs der bilanzierten Sanierung liegt bei den vier Fallbeispielen aus BAK I bis III bei jeweils über 90 Prozent, sowohl in Bezug auf den unsanierten Gebäudezustand nach Baujahr als auch unter Berücksichtigung bereits erfolgter Sanierungsmaßnahmen. Der Endenergiebedarf der vier Hallen im sanierten Zustand liegt im Mittel bei ca. 19 kWh/m²a (siehe Kapitel 3.2.2).

Des Weiteren wurden die Umweltwirkungen GWP und PENRT für die energetische Sanierung der Sporthallen untersucht und die Ergebnisse in Kapitel 3.2.3 bis 3.2.5 beschrieben.

Bei der Bilanzierung wurden auch die sportfunktionalen Einbauten berücksichtigt (siehe Kapitel 3.2.4). Mit einem Anteil von durchschnittlich ca. 13 Prozent am GWP und ca. 17 Prozent am PENRT bezogen auf alle Bauteile der KG 300 wird deren Einfluss in Bezug auf die beiden betrachteten Umweltwirkungen eher niedrig bewertet. Der Anteil der sportfunktionalen Einbauten an der gesamten Masse des Gebäudes liegt bei durchschnittlich etwa 1,8 Prozent.

Bei der Sanierung haben vor allem die Photovoltaikanlage sowie Dämmung, Dichtungsbahnen oder -bänder im Bereich der im Verhältnis großen Dachflächen sowie die Fenster einen hohen Anteil an den Umweltwirkungen (siehe Kapitel 3.2.3). Auch der Baustoff Holz hat einen entscheidenden Einfluss auf die Ergebnisse der Sanierungsvariante, da dieser aufgrund der Eigenschaft als CO₂-Speicher in der Bilanzierung negativ in der Herstellung und positiv in der Entsorgung bei der Umweltwirkung GWP angerechnet wird. Für weiterverwendete Holzbauteile aus dem Altbestand fällt somit für die Sanierungsvariante bei Holzbauteilen nur die positive Umweltwirkung im Rahmen der Entsorgung an.

Das Verhältnis der Umweltwirkungen durch die Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung der Baukonstruktion und TGA-Ausstattung (KG 300 und KG 400) zum Gebäudebetrieb (B6.1, B6.2, B6.3 und eigengenutzter Anteil erneuerbarer Energien) ist in etwa ausgeglichen. Bei GWP ist das Verhältnis zwischen Baukonstruktion und Betrieb im Mittel bei 48 Prozent : 52 Prozent, bei PENRT ist der Anteil der Baukonstruktion mit 51 Prozent im Vergleich zum Betrieb (49 Prozent) etwas höher (siehe auch Kapitel 3.2.5).

Durch die Sanierung ergeben sich deutliche Einsparungen bei GWP und PENRT durch die erhebliche Reduzierung des Energiebedarfs im Betrieb. Beispielhaft wird die jährliche Treibhausgaseinsparung der Sanierung im Vergleich zum Weiterbetrieb der Sporthallen im Status quo berechnet. Die Einsparung ergibt sich aus der Summe des GWP für Betrieb und Instandhaltung des Status quo abzüglich des GWP der Sanierungsvariante für Herstellung (inkl. Sockelbetrag für KG 400) und Betrieb sowie Instandhaltung (weitergenutzter sowie neu eingebrachter Bauteile) und Entsorgung (neu eingebrachter Bauteile). Die Entsorgung des Altbestands (inkl. weitergenutzter Bauteile) wird zur Vergleichbarkeit in beiden Szenarien nicht berücksichtigt. Bei den vier Fallbeispielen aus BAK I bis III können demnach im Mittel jährlich ca. 62 kg CO₂-Äq./m²_{NRF} in Bezug auf den bereits teilsanierten Gebäudezustand eingespart werden. Auf die Einzelgebäude unterschiedlicher Größe hochgerechnet ergeben sich für das Einsparpotenzial folgende Werte:

- Halle A: KSH, BAK I, ca. 24 t CO₂-Äq./a
- Halle B: ZFH, BAK II, ca. 86 t CO₂-Äq./a
- Halle C: DFH, BAK II, ca. 127 t CO₂-Äq./a
- Halle D: EFH, BAK III, ca. 50 t CO₂-Äq./a

Darüber hinaus haben Sporthallen aufgrund der großen Dachflächen ein großes Potenzial für die Erzeugung von erneuerbarer Energie durch Photovoltaik. Die Ergebnisse weisen bei allen Fallbeispielen einen Energieüberschuss auf, wodurch Energie an Dritte geliefert werden kann (siehe Kapitel 3.2.6). Dies setzt jedoch voraus, dass die Dachfläche nicht durch sonstige Nutzungen belegt ist.

Es zeigt sich außerdem, dass die Umweltwirkungen, die durch die Sanierung aufgrund Herstellung neuer Bauteile (KG 300 und KG 400) entstehen, durch die hohe Einsparung im Betrieb der Hallen nach wenigen Jahren ausgeglichen sind. Der Ressourceneinsatz gemessen an der Umweltwirkung GWP amortisiert sich für die Hallen bis 1994 (BAK I bis III) innerhalb von drei Jahren bezogen auf den teilsanierten Gebäudezustand (Status quo). Hierfür wird der Gesamtaufwand

an GWP der Sanierungsvariante für die Herstellung (inkl. Sockelbetrag für KG 400) der jährlichen Einsparung des Betriebs, der Instandhaltung und der Entsorgung (siehe oben) gegenübergestellt. Für Hallen neueren Baujahrs erhöht sich die Amortisationszeit bezogen auf GWP aufgrund der geringeren Einsparung im Gebäudebetrieb auf bis zu sieben Jahre. Bezogen auf den Primärenergieaufwand nicht erneuerbar ergeben sich für die Hallen bis 1994 Amortisationszeiten von bis zu fünf Jahren, bei neueren Hallen bis zu acht Jahren.

Ebenfalls wurde im Rahmen der Fallstudie für jedes Fallbeispiel eine vergleichbare Neubauvariante betrachtet. Für die Bauteilaufbauten und TGA-Ausstattung wird sich an aktuellen, beispielhaften Neubauprojekten der LHM sowie den aktuellen Anforderungen an die Gebäudehülle der LHM orientiert (siehe Kapitel 3.1.6). Aufgrund des resultierenden geringen Energiebedarfs im Betrieb (Unterschreitung KfW-Effizienzgebäude 40) und des hohen Anteils an Bauteilen in Holzbauweise weist die Variante vergleichsweise niedrige Umweltwirkungen auf (siehe Kapitel 3.2). Bei der Neubauvariante überwiegen im Verhältnis leicht die Umweltwirkungen der Baukonstruktion und TGA-Ausstattung, was auf den niedrigen Energiebedarf im Betrieb zurückzuführen ist. Im Mittel werden 58 Prozent des GWP und 64 Prozent des PENRT durch die Herstellung, die Instandhaltung und Entsorgung verursacht. In der Auswertung nach Braune et al., 2021 wurde ein Zusammenhang zwischen der Energieeffizienz im Betrieb und dem GWP der Baukonstruktion (KG 300 und KG 400) nachgewiesen. Demnach wies der Anteil der am wenigsten energieeffizienten Gebäude der Studie im Mittel auch ein geringeres GWP der Baukonstruktion auf als die energieeffizientesten Gebäude.

Für die Sporthallen im Neubau konnten wie in der Sanierungsvariante vor allem die Photovoltaikanlage, die bei der Ausführung als Gründach erforderlichen Dichtungsbahnen sowie die Dämmung der im Verhältnis großen Dachflächen mit hohem Anteil an den Umweltwirkungen identifiziert werden. Ebenso weisen die Sporthallen mit hohem Anteil an Bauteilen in Stahlbeton höhere Umweltwirkungen auf (siehe Kapitel 3.2.3).

Der Anteil der sportfunktionalen Einbauten liegt bei der Neubauvariante bei durchschnittlich ca. 9 Prozent am GWP und ca. 10 Prozent am PENRT bezogen auf die Bauteile der KG 300. Der Anteil der sportfunktionalen Einbauten an der gesamten Masse des Gebäudes liegt bei der Neubauvariante ebenfalls bei durchschnittlich etwa 1,8 Prozent.

Abweichend von den Vorgaben nach QNG wurde für einen repräsentativen Vergleich der Neubauvariante mit der Sanierung für den Neubau die Entsorgung (Modul C3 und C4) der Baukonstruktion (KG 300) der abzubrechenden Bestandshalle betrachtet, für die Sanierungsvariante neben der Entsorgung der weiterverwendeten Konstruktion auch die Entsorgung der

abzubrechenden Konstruktion. Die Entsorgung der abzubrechenden Konstruktion wäre nach QNG dem vorherigen Gebäudezyklus zuzuordnen. Als wesentliche Vergleichsgrößen für die Umweltwirkungen GWP und PENRT zählen daher neu eingebrachte Bauteile sowie der Gebäudebetrieb. In dem direkten Vergleich (ohne Berücksichtigung von Modul D) weist die Sanierungsvariante niedrigere Umweltwirkungen als der Neubau auf (siehe Kapitel 3.2.6) und ist einem Ersatzneubau vorzuziehen.

Ebenfalls haben die Auswertungen der Massenbilanz der Baukonstruktion (KG 300 und KG 400) gezeigt, dass bei der Sanierungsvariante der Großteil der Masse dem weiterverwendeten Altbestand (von 73 bis 96 Prozent) zuzuordnen ist (siehe Kapitel 3.2.3). Die für einen Neubau erforderliche Masse übersteigt in der Regel die Masse des Bestands. Somit fällt in der Summe bei einem Abriss und Neubau (inkl. Rückbau) nahezu doppelt so viel Material zur Verwertung oder Entsorgung bzw. Wiederwendung, Rückgewinnung und / oder zum Recycling an, was einen weiteren Vorteil der Sanierung darstellt.

Ziel muss es daher sein, die energetische Ertüchtigung des Sporthallenbestands unter Berücksichtigung des Bestandserhalt zu fördern und in die breite Umsetzung zu bringen. Damit einher gehen bedeutende Einsparungen an Treibhausgasemissionen. Bei der Sanierung sind ebenfalls weitere Aspekte wie Brandschutz, Statik, Inklusion und Sportfunktionalität zu berücksichtigen, die im Rahmen der Arbeit nicht betrachtet wurden.

Sämtliche Berechnungsergebnisse der Fallstudie sind in Anhang A.1 ersichtlich.

4. Zusammenfassung und Schlussfolgerung

4.1. Verifizierung der Forschungsthesen

Die vorliegende Arbeit bietet eine praxisorientierte Betrachtung des Gebäudetyps Sporthalle am Beispiel des Sporthallenbestands der Landeshauptstadt München. Die entwickelte bautypologische Clusterung für Sporthallen stellt hierfür die Grundlage dar. Bei der anschließenden Untersuchung von Sporthallen aus verschiedenen Baualtersklassen wurden etablierte Methoden auf den in der Forschung bisher wenig repräsentierten Gebäudetyp angewendet. Durch die detaillierte Analyse konnten wertvolle Erkenntnisse für den Umgang mit dem Gebäudebestand an Sporthallen gewonnen werden. Die Ergebnisse zeigen den Handlungsbedarf und die vorhandenen Potenziale in Bezug auf die Sanierung von Sporthallen auf. Aufgrund einer ähnlichen Verteilung von Sporthallen nach Baualter und der bestehenden Nachweise für den deutschlandweiten Sanierungsstau bei Sportstätten werden die vorliegenden Beobachtungen am Beispiel der LHM als auf ganz Deutschland übertragbar angesehen. Abschließend ist zu diskutieren, ob die in Kapitel 1.5 eingeführten Forschungsthesen verifiziert werden können und die Fragestellungen zu beantworten sind.

4.1.1. Bautypologische Clusterung zur energetischen Bewertung des Sporthallenbestands in Deutschland (Ableitung These 1)

These 1:

„Mit Hilfe der Entwicklung einer bautypologischen Clusterung für Sporthallen lässt sich der Sporthallenbestand in Deutschland beschreiben und energetisch bewerten.“

Mit Hilfe einer Gebäudetypologie, wie sie beispielsweise für Wohngebäude existiert, lassen sich Gebäude in Abhängigkeit des Baujahres hinsichtlich ihrer energetischen Qualität klassifizieren. Daran kann anschaulich demonstriert werden, welche Einsparpotenziale bei den verschiedenen Gebäudetypen einer Gesamtheit bestehen.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde eine bautypologische Clusterung für den spezifischen Gebäudetyp Sporthallen entwickelt (siehe Kapitel 2). Diese untergliedert sich in fünf Baualtersklassen und berücksichtigt die Entwicklung der Anforderungen an den Wärmeschutz für Gebäude in Deutschland (siehe Kapitel 2.1). Darüber hinaus wurden sporthallenspezifische Merkmale auf Basis von Literaturquellen und dem Sporthallenbestand der Landeshauptstadt München sowie weiterer Städte untersucht und die Clusterung um repräsentative Merkmale, wie z. B. der Verteilung nach Baujahr oder der Größe, ergänzt (siehe Kapitel 2.2). Anhand einer Fallstudie wurden für die Baualtersklassen I bis IV typische Sporthallen im Detail untersucht (siehe

Kapitel 3). Die Ergebnisse wurden durch Vergleich mit bestehenden Publikationen verifiziert und deren Gültigkeit bestätigt (siehe Kapitel 3.3). Im Rahmen der Fallstudie konnten weitere Eigenschaften der Sporthallen nach Baualtersklassen festgestellt und die bautypologische Clusterung nochmals ergänzt werden (siehe Kapitel 3.4).

Darüber hinaus stellen die Gebäudesteckbriefe in Anhang A.1, die Übersicht der Baukonstruktion (Anhang A.2) sowie die Übersicht der sportfunktionalen Einbauten (Anhang A.3) ein Nachschlagewerk für Sporthallen im Bestand im Sinne eines „Sporthallenkatalogs“ dar. Hierin sind sämtliche Eigenschaften der in der Fallstudie betrachteten Sporthallen ersichtlich. Über die energetischen Eigenschaften hinaus werden auch Ergebnisse für die Umweltwirkungen GWP und PENRT für Sporthallen im Bestand ausgegeben. Ebenso sind die Umweltwirkungen für die Sanierung sowie einen Neubau dargestellt.

Die entwickelte bautypologische Clusterung des Sporthallenbestands in fünf Baualtersklassen bietet somit eine übersichtliche Einteilung von Sporthallen, die insbesondere die energetischen Merkmale von Sporthallen beinhaltet. Damit kann die Clusterung als Grundlageninformation zur Einschätzung des energetischen Zustands einer Bestandssporthalle herangezogen werden und ermöglicht eine Vorabbewertung einer Sporthalle, ohne detaillierte Informationen aufnehmen zu müssen.

Die entwickelte Clusterung ermöglicht es insbesondere Eigentümer*innen von großen Gebäudebeständen, Sporthallen energetisch zu bewerten, Sanierungsbedarfe in Abhängigkeit vom jeweiligen Baujahr zu erkennen und so insbesondere Maßnahmen zielgerichteter zu priorisieren. Als Hauptanwenderin wird die öffentliche Verwaltung gesehen, da sie den Großteil an Sporthallen in Deutschland besitzt und meist eine Vielzahl von Gebäuden verwaltet.

Folglich kann These 1 verifiziert werden.

Auf dieser Basis kann die Forschungsfrage 1 *„Wie lässt sich der Sporthallenbestand in Deutschland anhand von Bautypen und Baujahren typologisch clustern, um spezifische energetische Sanierungsbedarfe zu identifizieren?“* wie folgt beantwortet werden.

Der Sporthallenbestand in Deutschland lässt sich entsprechend der entwickelten bautypologischen Clusterung in fünf Baualtersklassen einteilen. Wesentliche Grundlage hierfür ist die Entwicklung der Anforderungen an den Wärmeschutz für Gebäude in Deutschland, womit sich der Fortschritt des energiesparenden Bauens beschreiben lässt (siehe Kapitel 2.1). Mit Ergänzung um sporthallenspezifische Merkmale (siehe Kapitel 2.2) sowie Ergebnisse der durchgeführten Fallstudie (siehe Kapitel 3) besteht somit eine übersichtliche Einteilung von Sporthallen nach

Baualter, die die energetischen Merkmale von Sporthallen unterschiedlicher BAK beschreibt. Damit ist die entwickelte Clusterung die Grundlage, um spezifische energetische Sanierungsbedarfe zu identifizieren.

4.1.2. Sanierung von Sporthallen als wichtiger Beitrag zu einem klimaneutralen Gebäudebestand in Deutschland (Ableitung These 2)

These 2:

„Die energetische Sanierung des Sporthallenbestands leistet einen wichtigen Beitrag zur Erreichung eines klimaneutralen Gebäudebestands in Deutschland.“

Der Betrieb der Sportstätten in Deutschland ist mit ca. 7,4 Mio. t CO₂-Äq. für etwa 1 Prozent der jährlichen Treibhausgasemissionen in Deutschland verantwortlich (Bleher, 2016; Umweltbundesamt, 2024b). Bezogen auf die jährlichen Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor liegt der Betrieb der Sportstätten bei einem Anteil von ca. 7 Prozent (Umweltbundesamt, 2024a). Die 35.409 Sporthallen nach Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport et al., 2002 in Deutschland, die zur Verifizierung der Thesen für die Gesamtanzahl an Sporthallen zugrunde gelegt werden, haben daran mit etwa einem Drittel den größten Anteil.

Neben der Entwicklung einer bautypologischen Clusterung (siehe Kapitel 2 und 3.4) wurden im Rahmen einer Fallstudie typische Sporthallen aus den unterschiedlichen Baualtersklassen im Detail untersucht (siehe Kapitel 3). Dabei weisen die Sporthallen der BAK I bis III einen energetisch unzureichenden Zustand auf (siehe Kapitel 3.2.2). Selbst unter Berücksichtigung teilweise umgesetzter Sanierungsmaßnahmen haben die Gebäude noch einen hohen Endenergiebedarf von über 300 kWh/m²a. Bei Sporthallen besteht ein deutschlandweit nachgewiesener akuter Sanierungsstau (siehe Kapitel 1.3).

87 Prozent der Sportgebäude in Deutschland sind der BAK I bis III (bis 1994) zuzuordnen (IWU et al., 2022). Der Großteil davon (66 Prozent) wurde vor 1978 und damit vor Inkrafttreten der ersten Wärmeschutzverordnung errichtet. Diese Gebäude haben heute ihren ersten Lebenszyklus von 50 Jahren überschritten oder sind kurz davor. Auch in der Landeshauptstadt München liegt der Anteil an Sporthallen mit Baujahr vor 1978 bei ca. 60 Prozent (siehe Kapitel 2.2.1).

Entsprechend hat sich für die Hallen der BAK I (bis 1951), BAK II (1951 bis 1977), und BAK III (1978 bis 1994) ein hohes Einsparpotenzial im Gebäudebetrieb durch die Sanierung gezeigt (siehe Kapitel 3.2.2). Im Rahmen der Fallstudie wurde für die Fallbeispiele eine energetische Sanierung in Anlehnung an den Sanierungsstandard der Landeshauptstadt München (Unterschreitung KfW-Effizienzgebäude 40, siehe Kapitel 3.1.5) untersucht. Das Einsparpotenzial durch die Sanierung bezogen auf den Endenergiebedarf bei den vier Fallbeispielen aus BAK I

bis III liegt bei jeweils über 90 Prozent. Dies gilt sowohl in Bezug auf den unsanierten Gebäudezustand nach Baujahr als auch unter Berücksichtigung bereits erfolgter Sanierungsmaßnahmen (Status quo).

Zur Erreichung der Klimaneutralität Deutschlands bis 2045 (Bundesregierung, 2022) hat sich der Bund u. a. zum Ziel gesetzt, den Endenergieverbrauch in Deutschland bis 2045 um 45 Prozent im Vergleich zum Jahr 2008 zu senken. Die öffentliche Hand soll hierbei als Vorbild vorangehen (Bundesregierung, 2023).

Im Bereich der Sporthallen liegt wie beschrieben das wesentliche Potenzial zur Energieeinsparung bei den Sporthallen aus BAK I bis III, die etwa 87 Prozent des Sporthallenbestands in Deutschland darstellen. Durch die Sanierung dieser Hallen kann aufgrund der erheblichen Reduktion des Energiebedarfs um über 90 Prozent ein bedeutender Beitrag zur Erreichung des Klimaziels im Gebäudesektor geleistet werden. Da die öffentliche Hand Eigentümerin von über 80 Prozent der Sporthallen in Deutschland ist (siehe Kapitel 2.2.3), hat sie direkte Einflussmöglichkeiten auf die Reduzierung des Energiebedarfs durch die energetische Sanierung der Gebäude.

Unter anderem zur Beantwortung der Forschungsfrage 2 „*Welche Wirkung hat die energetische Sanierung von Sporthallen in Deutschland zur Reduktion von CO₂-Emissionen und zur Erreichung der nationalen Klimaziele?*“ wird im Folgenden auf die Reduktion von Treibhausgasemissionen durch die Sanierung von Sporthallen eingegangen.

Für eine Hochrechnung auf den Bestand an Sporthallen in Deutschland wird von einer durchschnittlichen Nettoraumfläche von ca. 986 m² (siehe Kapitel 2.2.2) und von einer Anzahl von 30.806 Sporthallen mit Baujahr bis 1994 (Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport et al., 2002, IWU et al., 2022) ausgegangen. Umgerechnet in Treibhausgasemissionen ergibt sich rein für den jährlichen Betrieb der Hallen eine Einsparung von ca. 2,1 Mio. t CO₂-Äq. durch die Sanierung bezogen auf den Status quo. In Relation zu den geschätzten jährlichen Treibhausgasemissionen in Höhe von 2,5 Mio. t CO₂-Äq. (Bleher, 2016) für Heizung, Warmwasser und Beleuchtung für Sporthallen in Deutschland im Jahr 2016 können diese durch die bilanzierte Sanierung der Hallen mit Baujahr bis 1994 somit um ca. 80 Prozent reduziert werden.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden ebenfalls die Umweltwirkungen der Baukonstruktion und TGA-Ausstattung betrachtet. Die jährliche Treibhausgaseinsparung bei einer Sanierung im Vergleich zum Weiterbetrieb der Hallen im aktuellen Zustand für die vier Sporthallen aus BAK I, BAK II und BAK III liegt im Mittel bei ca. 62 kg CO₂-Äq./m²_{NRF}. Dabei werden die Umweltwirkungen für die Herstellung, Betrieb, Instandhaltung und Entsorgung berücksichtigt (vgl. Kapitel 3.5).

Selbst unter Berücksichtigung der Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung neu eingebrachter Baustoffe können nach Hochrechnung auf die Sporthallen in Deutschland somit mit der Sanierung aller Hallen aus BAK I bis III die jährlichen Treibhausgasemissionen im Vergleich zum Status quo um ca. 1,9 Mio. t CO₂-Äq. gesenkt werden.

Die Bundesregierung hat sich als Zwischenziele gesetzt, bis 2030 die Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 um 65 Prozent und bis 2040 um 88 Prozent zu mindern. Gemäß Klimaschutzgesetz sollen die jährlichen Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor von 118 Mio. t CO₂-Äq. im Jahr 2020 demnach auf ca. 67 Mio. t CO₂-Äq. im Jahr 2030 bzw. ca. 23 Mio. t CO₂-Äq. in 2040 reduziert werden. (Bundesumweltministerium [BMUV], 2022)

Durch die Sanierung der Sporthallen in Deutschland aus BAK I bis III können deren jährliche Treibhausgasemissionen um ca. 1,9 Mio. t CO₂-Äq. gesenkt werden. Dabei sind die Umweltwirkungen für die Herstellung, Betrieb, Instandhaltung und Entsorgung berücksichtigt.

Somit leistet die Sanierung der Sporthallen in Deutschland einen wirksamen Beitrag zur Reduktion der Treibhausgasemissionen und trägt damit zur Erreichung der Klimaziele bei.

Der Fokus sollte zunächst auf die Sporthallen aus BAK II gelegt werden, da diese den Großteil der Hallen umfassen, in der Regel keinen Auflagen hinsichtlich Denkmalschutz unterliegen und bisher nur punktuelle Sanierungsmaßnahmen durchgeführt wurden (siehe Kapitel 2.2.1).

Darüber hinaus haben die Ergebnisse der Fallstudie gezeigt, dass durch die Nutzung der großen Dachflächen von Sporthallen zur Erzeugung erneuerbarer Energie durch Photovoltaik mehr Energie erzeugt werden kann, als durch die Sporthallen benötigt wird (siehe Kapitel 3.2.6). Durch die Belieferung Dritter mit diesem Überschuss können weitere Treibhausgasemissionen eingespart werden. Die Nutzung der Dachfläche durch Photovoltaik steht jedoch im Konflikt mit der Nutzung als Aufenthaltsfläche (siehe Kapitel 2.2.7), weswegen künftig auch Fassadenflächen für die Erzeugung erneuerbarer Energie betrachtet werden müssen.

Hervorzuheben ist neben der direkten Treibhausgaseinsparung auch die Wirkung der Sportstätte als Vorbild in die Stadtgesellschaft (siehe Kapitel 1.3), deren Beitrag nicht direkt in einer Treibhausgaseinsparung messbar ist.

These 2 kann entsprechend verifiziert und Fragestellung 2 beantwortet werden.

4.1.3. Sanierung statt Abriss und Neubau aufgrund niedrigerer ökologischer Auswirkungen (Ableitung These 3)

These 3:

„Die energetische Sanierung einer Sporthalle ist aufgrund niedrigerer Umweltwirkungen dem Neubau vorzuziehen.“

Wie in Kapitel 4.1.2 beschrieben birgt die energetische Sanierung des Gebäudebestands an Sporthallen in Deutschland ein hohes Einsparpotenzial an Treibhausgasemissionen. Wesentlich hierfür ist die hohe Einsparung im Gebäudebetrieb (siehe Kapitel 3.2.2).

Zusätzlich zur Sanierung wurde im Rahmen der Fallstudie für alle Fallbeispiele auch eine vergleichbare Neubauvariante betrachtet, die sich am aktuellen Baustandard der LHM orientiert (siehe Kapitel 3.1.6) und ebenfalls einen niedrigen Energiebedarf im Betrieb aufweist (siehe Kapitel 3.2.2). Für die Neubauvariante wurden ebenfalls die Umweltwirkungen GWP und PENRT untersucht und ausgewertet (siehe Kapitel 3.2.3 bis 3.2.5).

Für einen repräsentativen Vergleich der Neubauvariante mit der Sanierung wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit dem Neubau auch die Entsorgung (Modul C3 und C4) der Baukonstruktion (KG 300) der abzubrechenden Bestandshalle zugeschrieben. Für die Sanierungsvariante wird neben der Entsorgung der weiterverwendeten Konstruktion auch die Entsorgung der abzubrechenden Konstruktion betrachtet. Die Entsorgung der abzubrechenden Konstruktion wäre nach QNG dem vorherigen Gebäudezyklus zuzuordnen. Im Vergleich wäre somit die Sanierung mit Umweltwirkungen für Austausch (fällt in der Regel für weitergenutzte Bauteile nicht an) und Entsorgung weitergenutzter Bauteile des Altbestands im Nachteil, obwohl die Entsorgung dieser Bauteile auch bei einem Neubau anfällt. Als wesentliche Vergleichsgrößen für die Umweltwirkungen GWP und PENRT zählen daher neu eingebrachte Bauteile sowie der Gebäudebetrieb. In dem direkten Vergleich weist die Sanierungsvariante über alle Fallbeispiele niedrigere Umweltwirkungen als der Neubau auf (siehe Kapitel 3.2.6) und ist einem Ersatzneubau vorzuziehen.

Durch die Weiternutzung der Grundstruktur im Rahmen der Sanierung reduzieren sich nicht nur die Umweltwirkungen, sondern auch das Abfallaufkommen deutlich. Die Auswertungen haben gezeigt, dass in der Summe bei einem Abriss und Neubau (inkl. Rückbau) nahezu doppelt so viel Material zur Verwertung oder Entsorgung bzw. Wiederwendung, Rückgewinnung und / oder zum Recycling anfällt, was einen weiteren Vorteil der Sanierung darstellt (siehe Kapitel 3.2.3).

Demnach ist aus ökologischer Sicht die energetische Ertüchtigung des Sporthallenbestands unter Berücksichtigung des Bestandserhalts dem Neubau vorzuziehen und somit kann These 3 verifiziert werden.

Die Forschungsfrage 3 *„Werden die Umweltwirkungen, die durch die energetische Sanierung einer Sporthalle entstehen, im Laufe der weiteren Nutzungsdauer durch die Einsparung im Betrieb ausgeglichen?“* wird wie folgt beantwortet.

Im Rahmen der Fallstudie hat sich für alle Fallbeispiele gezeigt, dass die Umweltwirkungen, die durch die Sanierung aufgrund der Herstellung neuer Bauteile (KG 300 und KG 400) entstehen, durch die hohe Einsparung im Betrieb der Hallen nach wenigen Jahren ausgeglichen sind (siehe Kapitel 3.5). Bei der Betrachtung wird der Gesamtaufwand an GWP der Sanierungsvariante für die Herstellung neu eingebrachter Bauteile der jährlichen Einsparung des Betriebs, der Instandhaltung und der Entsorgung gegenübergestellt. Der Ressourceneinsatz gemessen an der Umweltwirkung GWP amortisiert sich für die Hallen bis Baujahr 1994 (BAK I bis III) innerhalb von drei Jahren bezogen auf den teilsanierten Gebäudezustand (Status quo). Für Hallen neueren Baujahrs erhöht sich die Amortisationszeit bezogen auf GWP aufgrund der geringeren Einsparung im Gebäudebetrieb auf bis zu sieben Jahre. Bezogen auf den Primärenergieaufwand nicht erneuerbar ergeben sich für die Hallen bis 1994 Amortisationszeiten von bis zu fünf Jahren, bei neueren Hallen bis zu acht Jahren (siehe Kapitel 3.5).

4.2. Empfehlungen für die Praxis

Der Bausektor, der für 38 Prozent des weltweiten CO₂-Ausstoßes verantwortlich ist, spielt eine Schlüsselrolle im Kampf gegen den Klimawandel (UN Environment Programme, 2020).

Bei der zukünftigen Entwicklung des Bauens nehmen also die Planenden eine entscheidende, verantwortungsvolle Position ein. Die aktuell verfügbaren Planungswerkzeuge sind dafür weiterzuentwickeln. Seit der Anwendung des QNG in Verbindung mit der Bundesförderung für effiziente Gebäude haben insbesondere Softwarehersteller Programme zur energetischen Bilanzierung von Gebäuden um die Auswertung mittels Ökobilanzierung erweitert. Um die Anwendung in der Breite zu fördern und verlässliche sowie vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, sind einheitliche Rechenwege umzusetzen und eine Transparenz zu gewährleisten. Einen Vorteil kann hierbei die Verknüpfung mit BIM-basierten Werkzeugen (Bauwerksdatenmodellierung) bieten. Insbesondere für die Anwendung auf eine Sanierung hat sich im Rahmen der vorliegenden Arbeit gezeigt, dass bei den Planungswerkzeugen noch Optimierungspotenzial besteht. Die Bilanzierung und Visualisierung der ökologischen Auswirkungen einer Sanierung ist eine wesentliche Argumentationsgrundlage für den Bestandserhalt und muss mit Planungswerkzeugen standardmäßig auszuwerten sein.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen auch, dass eine gänzlich klimaneutrale Sanierung oder Errichtung von Sporthallen mit den verwendeten Baumaterialien inkl. deren Produktions-

und Entsorgungsprozessen nicht möglich ist. Hier besteht weiterer Entwicklungsbedarf für die Baupraxis. Die Produktionsprozesse bei der Herstellung von Baustoffen müssen weiter optimiert und der Einsatz nachwachsender, erneuerbarer und klimaneutraler Ressourcen gesteigert werden (z. B. bei Dichtungsbahnen). Ebenso ist hinsichtlich der Entsorgung die Kreislauffähigkeit von Baustoffen zu fördern und unter anderem ein Rückbau und Recycling zu ermöglichen.

Ein weiteres Ziel muss die Entwicklung verifizierter baustoff- bzw. bauteilbezogener Datensätze zu Umweltwirkungen sein. Insbesondere im Bereich der sportfunktionalen Einbauten wie Sportböden oder Sportgeräte werden neben transparenten Informationen zur Beschaffenheit der Bauprodukte Daten zu deren Umweltwirkungen in Form von Umweltproduktdeklarationen benötigt.

4.3. Empfehlungen für die Politik

Als Baustein zur Erreichung der Klimaneutralität Deutschlands bis 2045 (Bundesregierung, 2022) hat sich der Bund u. a. zum Ziel gesetzt, den Endenergieverbrauch in Deutschland bis 2045 um 45 Prozent im Vergleich zum Jahr 2008 zu senken. Die öffentliche Hand soll dabei im Bereich der öffentlichen Gebäude als Vorbild vorangehen. (Bundesregierung, 2023)

Mit dieser Arbeit wird am Beispiel kommunaler Sporthallen der Landeshauptstadt München das energetische Defizit und das damit einhergehende Einsparpotenzial bezogen auf den Gebäudebestand an Sporthallen aufgezeigt. Daraus wurde die Notwendigkeit der Bestandssanierung als Beitrag zur Erreichung der Klimaneutralität Deutschlands abgeleitet. Um dem dringenden Sanierungsbedarf gerecht zu werden, müssen den Eigentümer*innen von Sporthallen, wie Kommunen und Vereinen, entsprechende Investitionsmittel bereitgestellt und langfristig gesichert werden. Dadurch können der Energieverbrauch und die damit verbundenen Treibhausgasemissionen signifikant gesenkt werden.

Die aktuell verfügbaren Informationen über die Anzahl, Nutzung und den Zustand des Gebäudebestands von Sportstätten sind teils veraltet und reichen für eine zielgerichtete Steuerung von Sanierungsprogrammen nicht aus. Daher wird empfohlen im Rahmen einer deutschlandweiten Erhebung aktuelle Informationen zu sammeln und dabei auch bauliche Charakteristika zu berücksichtigen.

Für die erforderliche mehrjährige Sanierungsoffensive sind ausreichend und gut qualifizierte Fachkräfte erforderlich. Mit geeigneten Programmen muss daher dem Fachkräftemangel in der Baubranche entgegengewirkt werden (Bundesministerium für Arbeit und Soziales [BMAS], 2019). Besondere Bedeutung kommt hierbei der Aus- und Weiterbildung von Fachkräften zu. Nachhaltige Gebäudeplanung und -umsetzung sollte hierbei stärker in den Fokus rücken. Im Austausch mit Herstellern wurde beispielsweise berichtet, dass seit Jahren kaum spezifische

Aus- und Weiterbildungsformate im Bereich der Wärmepumpentechnologie angeboten werden. Spezifische Fortbildungsprogramme, z. B. zu zukunftsfähigen Wärmekonzepten wie Wärmepumpen, sind allerdings dringend nötig, um die Sanierungsoffensive umsetzen zu können. Ebenso sollte der Sportstättenbau in die Aus- und Weiterbildung aufgenommen werden. Eine Vertiefungsrichtung des Sportstättenbaus an Universitäten und Hochschulen in Deutschland gibt es bisher nicht.

Mit der Einführung des QNG, das Anforderungen an die ökologische, soziokulturelle und ökonomische Qualität stellt, werden erstmals umfassende Nachhaltigkeitsvorgaben für Gebäude an die Vergabe von Fördermitteln des Bundes geknüpft. Derzeit bestehen jedoch unterschiedliche Rechenregeln gemäß GEG, BEG und der Ökobilanzierung nach QNG, was zu einem erhöhten Planungsaufwand führt. Eine Vereinfachung durch eine Vereinheitlichung wäre daher wünschenswert.

Neben der Förderung des Bestandserhalts und der Sanierung ist allgemein der Ausbau der Kreislaufwirtschaft im Bausektor durch die Politik stärker zu unterstützen. Ein Beispiel ist der Einsatz von Recyclingbaustoffen im Hochbau, wodurch die Umweltwirkungen der Baukonstruktion reduziert werden können.

4.4. Empfehlungen für Kommunen

Der Betrieb und die Instandhaltung von Sporthallen in Deutschland verursacht bei den Eigentümer*innen und Betreiber*innen, in der Regel Kommunen, jährliche Kosten von über 5 Milliarden Euro (an der Heiden et al., 2012) und ist für 2,5 Mio. t Treibhausgasemissionen pro Jahr (Bleher, 2016) verantwortlich. Kommunen haben direkte Einflussmöglichkeiten auf diese Gebäude. Wie in vorliegender Arbeit nachgewiesen wird, bietet die Sanierung von Sporthallen im Bestand ein großes Potenzial zur Energieeinsparung und zur Erzeugung erneuerbarer Energien. Dadurch ergibt sich ebenfalls eine Kosteneinsparung im Betrieb. Als öffentliche Gebäude und zentrale Infrastruktur des Sports haben die Sporthallen auch eine große Vorbildwirkung in die Gesellschaft. Das Vorleben eines energieeffizienten Betriebs der Sporthallen trägt zur Stärkung des Umweltbewusstseins der Bevölkerung bei und regt zum Nachahmen an.

Die Priorisierung, Steuerung und Umsetzung der Sanierung des kommunalen Gebäudebestands, unter anderem Sporthallen, erfordert individuelle Sanierungsfahrpläne. Hierfür bilden Informationen zum Gebäudezustand, wie etwa die Bauweise, sowie zum Gebäudebetrieb, insbesondere Energieverbrauchsdaten, eine wesentliche Grundlage. Die genannten Informationen liegen oftmals in verschiedenen Medien, auf unterschiedliche Abteilungen verteilt und nur lückenhaft vor. Am Beispiel der in dieser Arbeit durchgeführten Fallstudie erwies sich die Recherche

der Gebäudeinformationen als sehr mühsam. Um diese Hürde zu überwinden, sollten geeignete Dokumentationsstrukturen genutzt werden, um Informationen für den Bestand an Sportstätten zu erheben, zu sammeln und auszuwerten. Zur besseren Analyse des Gebäudebestands sollte die Energieverbrauchserfassung zudem getrennt für Gebäude bzw. Gebäudeteile unterschiedlicher Nutzung erfolgen, damit spezifische Verbrauchsdaten erhoben werden können.

Bisher finden ökologische Aspekte bei Entscheidungen zur Immobilienentwicklung öffentlicher Gebäude, unter anderem bei Sportstätten, nur wenig Beachtung. So stehen beispielsweise bei der Entscheidung zwischen Sanierung oder Neubau bei Sporthallen meist nutzungsspezifische Aspekte wie Funktionalität, Raumprogramm, Barrierefreiheit und Zugänglichkeit (siehe Kapitel 2.2.1) im Mittelpunkt. Im Sinne der Klimaneutralität müssen verstärkt die ökologischen Auswirkungen in den Blick genommen und geeignete Lösungen für ein Bauen im Bestand unter Berücksichtigung der nutzungsspezifischen Aspekte entwickelt werden. Die Bedarfsplanung ist hinsichtlich zukünftiger Entwicklungen der Sportnachfrage zu bewerten und räumliche Wechselwirkungen auf Quartiersebene hinsichtlich Bedarfsabdeckung und Mehrfachnutzung zu berücksichtigen. Ziel muss sein, die bestehenden Hallenkapazitäten optimal zu nutzen. Sämtliche Beteiligte wie Bauherr*innen, Architekt*innen und Fachplaner*innen sowie Nutzende sind dabei gefragt, gemeinsam zukunftsfähige, kreative Konzepte zur Schaffung bzw. Aufrechterhaltung von Sport- und Bewegungsräumen im Sinne der Klimaneutralitätsziele zu erarbeiten.

Um die Bewertung der ökologischen Auswirkungen mit dem Ziel der Reduzierung dieser zu ermöglichen, müssen die Umweltwirkungen von Bauvorhaben durch Ökobilanzierung standardmäßig erhoben werden. Die Ergebnisse müssen auch bei der Immobilienentwicklungsplanung berücksichtigt werden.

Die beschriebenen Empfehlungen können auch auf weitere Eigentümer*innen von Sportstätten wie Vereine übertragen werden.

4.5. Relevanz und weiterführender Forschungsbedarf

Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit ist der Gebäudetyp Sporthalle, einem in der Forschung bisher wenig repräsentierten Gebäudetyp. Der Gebäudebestand an Sporthallen in Deutschland weist einen akuten und weiter anwachsenden Sanierungsstau auf (Deutscher Bundestag, 2024). Die entwickelte bautypologische Clusterung des Sporthallenbestands in fünf Baualtersklassen bietet eine übersichtliche Einteilung von Sporthallen nach Baualter, die insbesondere die energetischen Merkmale der Gebäude beinhaltet. Diese Grundlage ermöglicht es Eigentümer*innen von Sporthallen, den energetischen Zustand der Gebäude in Abhängigkeit vom jeweiligen Baujahr zu bewerten.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde weiter eine Fallstudie mit sechs Fallbeispielen aus unterschiedlichen Baualtersklassen durchgeführt. Es wurde nachgewiesen, dass insbesondere die Hallen der BAK I (bis 1951), BAK II (1951 bis 1977), und BAK III (1978 bis 1994) in energetisch ungenügendem Zustand sind. Im Rahmen einer Hochrechnung wurde ein erhebliches Einsparpotenzial durch die Sanierung der in die Jahre gekommenen Sporthallen in Deutschland ermittelt. Damit leistet die Sanierung von Sporthallen einen wirksamen Beitrag zur Reduktion der Treibhausgasemissionen und trägt zur Erreichung der nationalen Klimaziele bei.

Die Gebäudesteckbriefe im Anhang (siehe Anhang A.1) inkl. der Übersicht der Baukonstruktionen (Anhang A.2) sowie der sportfunktionalen Einbauten (siehe Anhang A.3) stellen ein Nachschlagewerk für Sporthallen im Bestand unterschiedlicher Baualtersklassen im Sinne eines „Sporthallenkatalogs“ dar.

Die Ergebnisse bieten Anknüpfungspunkte für weitere Auswertungen mit dem Ziel, charakteristische Kennwerte für den Bestand, die Sanierung und den Neubau von Sporthallen abzuleiten. Dafür sind weitere Fallbeispiele zu untersuchen. Dies gilt insbesondere für die Ableitung von Kennwerten der Ökobilanzierung, da die Ergebnisse stark von der jeweiligen Ausführung, insbesondere der Baukonstruktion, abhängig sind. Es kann auf der Vorgehensweise und den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit aufgebaut werden.

Bei der Sanierung liegt der Fokus im Rahmen der vorliegenden Arbeit auf der energetischen Modernisierung. Weitere Aspekte wie Statik, Schall- oder Brandschutz ebenso wie die Sanierung potenziell verbauter Schadstoffe, beispielsweise Asbest oder Lindan, die toxische Auswirkungen auf Menschen und Natur aufweisen, wurden nicht gesondert betrachtet. Die Auseinandersetzung mit diesen Themen erfordert weiterer Forschung. Auch mögliche Auflagen des Denkmalschutzes wurden vernachlässigt, hierfür ist eine Prüfung im Einzelfall erforderlich.

Weiterer Forschungsbedarf ergibt sich ebenfalls für die Untersuchung ökonomischer Aspekte wie Herstellungs- und Betriebskosten. Aufgrund der vergangenen Pandemie sowie der Energiekrise und den damit verbundenen Preisschwankungen bei Baumaterialien, wie etwa Rohstoffen und Treibstoffen, gestaltet sich die genaue Bezifferung von Herstellungskosten als herausfordernd und kann aufgrund der Volatilität der Märkte stark schwanken. Ebenfalls sind die Kosten von lokalen Gegebenheiten wie beispielsweise bei Grundwasserwärmepumpen von der Tiefe des Grundwasserleiters, der Beschaffenheit des Bodens und örtlichen geologischen Bedingungen abhängig und werden von der Verfügbarkeit von Arbeitskräften und anderen regionalen Faktoren beeinflusst.

Darüber hinaus erfordert eine nachhaltige Sanierung, dass neben der Energieeffizienz auch soziale Aspekte wie Inklusion und Sportfunktionalität berücksichtigt werden. Daher ist zu prüfen, wie die Aufenthaltsqualität für alle, z. B. Kinder, Menschen mit Behinderung oder ältere Menschen, in Sporthallen gefördert werden kann. Ebenso ist die Entwicklung im Sport- und Bewegungsverhalten zu berücksichtigen und z. B. Sporträume unterschiedlichen Ausstattungskomforts sowie multifunktionale Nutzungsmöglichkeiten zu schaffen (vgl. Bach et al., 2018). Es werden daher ganzheitliche Planungskonzepte benötigt.

Abschließend lässt sich festhalten, dass der Erhalt und die energetische Sanierung der Sporthallen in Deutschland als zentrale Infrastruktur des Sports aus vielfältigen Perspektiven gefördert werden sollten: Sie leisten einen wichtigen Beitrag zur Gesundheitsvorsorge, stärken das soziale Miteinander und unterstützen nicht zuletzt die Erreichung der nationalen Klimaziele in erheblichem Maße.

Die vorliegenden Ergebnisse bieten eine wertvolle Grundlage, um praktische und politische Entscheidungen zu beeinflussen und die Transformation bestehender Sporthallen voranzutreiben. Für die weitere Umsetzung empfiehlt sich eine enge Zusammenarbeit mit Kommunen sowie die Verteilung der Ergebnisse über bestehende Netzwerke wie der Hochschule München und der Denkfabrik „Sportainable“. Gleichzeitig unterstreichen die vorliegenden Ergebnisse die Notwendigkeit weiterer Forschungsaktivitäten, um den Zustand von Sporthallen kontinuierlich zu analysieren und nachhaltige Sanierungskonzepte zu entwickeln.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anzahl der erhobenen Sporthallen aus dem Jahr 2000 und 2022 (Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport et al., 2002; Repenning et al., 2023) (eigene Darstellung).....	2
Abbildung 2: Jährliche Treibhausgasemissionen durch den Betrieb deutscher Sportstätten (Darstellung nach Bleher, 2016)	3
Abbildung 3: Sportstättendefinition nach Bach (Bach & Ziemainz, 2004).....	4
Abbildung 4: Anteil von Sportgebäuden im Gebäudesektor (IWU et al., 2022) (eigene Darstellung).....	6
Abbildung 5: Gesamtausgaben für Sportstättenbau, Modernisierung, Pflege und Betrieb (Top 10) (BMW, 2018)	7
Abbildung 6: Sportstätten nach Sportstundenvolumen im Jahr 2010 (Darstellung nach an der Heiden et al., 2014)	7
Abbildung 7: Sportgebäude in Deutschland nach Baualtersklasse (IWU et al., 2022) (eigene Darstellung).....	8
Abbildung 8: Schematischer Aufbau der Arbeit (eigene Darstellung).....	16
Abbildung 9: Entwicklung der Anforderungen zum energiesparenden Bauen (BMVBS, 2011, 2013; BMVBS, 2024; Gierga & Erhorn, 1994; Reiß et al., 2013) (eigene Darstellung).....	20
Abbildung 10: Baualtersklassen für Nichtwohngebäude (eigene Darstellung)	21
Abbildung 11: Abgeleitete bautypologische Clusterung in Baualtersklassen für Sporthallen in Anlehnung an die Entwicklung des Wärmeschutzes (eigene Darstellung)	22
Abbildung 12: Auswertung der Sporthallen der LHM nach Baujahr (Daten aus CAFM und eigene Recherche) (eigene Darstellung)	26
Abbildung 13: Auswertung der Maßnahmen der Schulbauprogramme (SBP) 1–3 mit Sporthallen (Schulbau und Kitabau in München, o.J.) (eigene Darstellung)	27
Abbildung 14: Auswertung der Sporthallen der LHM (Daten aus CAFM und eigene Recherche) und der Stadt Köln (Stadt Köln, Persönliche Mitteilung, 22. Februar 2023) nach Baujahr (eigene Darstellung)	28
Abbildung 15: Verteilung der Sporthallen in Deutschland nach Größe (Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport et al., 2002) (eigene Darstellung)	30
Abbildung 16: Verteilung des Sporthallenbestands der LHM nach Größe (Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 00329, 2021) (eigene Darstellung)	31
Abbildung 17: Verteilung der Sporthallen der LHM nach Baujahr und Größe (Daten aus CAFM und Datenbank Vermietung) (eigene Darstellung)	32

Abbildung 18: Verteilung der Sporthallen der Stadt Köln nach Baujahr und Größe (Stadt Köln, Persönliche Mitteilung, 22. Februar 2023) (eigene Darstellung)	32
Abbildung 19: Eigentümerstruktur der Sporthallen bzw. -einheiten in München (Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 00329, 2021) (eigene Darstellung)	34
Abbildung 20: Auswertung der Sporthallen der LHM nach Nutzungsspezifika (Daten aus CAFM und Datenbank Vermietung, Untersuchungsrahmen 248 Liegenschaften) (eigene Darstellung)	40
Abbildung 21: Schulerweiterung ONMS I + NMS II ENKPLATZ (Burtscher – Durig ZT GmbH, 2019)	41
Abbildung 22: Unterschiedliche Dachflächennutzung auf Sporthallen der LHM (Google Maps, o.D.)	41
Abbildung 23: Energieträger in Sportgebäuden in Deutschland (IWU et al., 2022) (eigene Darstellung).....	46
Abbildung 24: Auswertung der Sporthallen der LHM nach Baujahr, Größe und Abschnitte mit wesentlichen Änderungen der Anforderungen an den Wärmeschutz (Daten aus CAFM und Datenbank Vermietung; Gierga & Erhorn, 1994; IWU et al., 2021; Reiß et al., 2013) (eigene Darstellung).....	46
Abbildung 25: Art der Energieerzeugung der Sporthallen der LHM (Daten aus dem Energieinformationssystem der LHM, Untersuchungsrahmen 248 Liegenschaften) (eigene Darstellung).....	47
Abbildung 26: Ergänzung der abgeleiteten bautypologischen Clusterung in Baualtersklassen für Sporthallen um sporthallenspezifische Merkmale (eigene Darstellung).....	51
Abbildung 27: 3D-Modell Halle A (eigene Darstellung).....	53
Abbildung 28: 3D-Modell Halle B (eigene Darstellung).....	54
Abbildung 29: 3D-Modell Halle C (eigene Darstellung)	54
Abbildung 30: 3D-Modell Halle D (eigene Darstellung)	54
Abbildung 31: 3D-Modell Halle E (eigene Darstellung).....	55
Abbildung 32: Halle F (eigene Aufnahme).....	55
Abbildung 33: Fallstudie, spezifischer Endenergiebedarf nach DIN 18599 (eigene Darstellung)	76
Abbildung 34: Fallstudie, anteilige Wärmeverluste der Bautechnik in Prozent, Ursprungszustand (eigene Darstellung)	77
Abbildung 35: Fallstudie, GWP Baukonstruktion und TGA nach Bauteilgruppen, Modul A – C, Sanierungsvariante (eigene Darstellung)	80
Abbildung 36: Fallstudie, PENRT Baukonstruktion und TGA nach Bauteilgruppen, Modul A – C, Sanierungsvariante (eigene Darstellung)	80

Abbildung 37: Fallstudie, GWP Baukonstruktion und TGA nach Bauteilgruppen, Modul A – C, Neubauvariante (eigene Darstellung)	81
Abbildung 38: Fallstudie, PENRT Baukonstruktion und TGA nach Bauteilgruppen, Modul A – C, Neubauvariante (eigene Darstellung)	81
Abbildung 39: Fallstudie, GWP Baukonstruktion und TGA nach Bauteilgruppen, Modul A – C, Ursprungszustand (eigene Darstellung)	82
Abbildung 40: Fallstudie, PENRT Baukonstruktion und TGA nach Bauteilgruppen, Modul A – C, Ursprungszustand (eigene Darstellung).....	82
Abbildung 41: Fallstudie, GWP Baukonstruktion und TGA nach Lebenszyklusphasen, Modul A – C, Sanierungsvariante (eigene Darstellung)	83
Abbildung 42: Fallstudie, PENRT Baukonstruktion und TGA nach Lebenszyklusphasen, Modul A – C, Sanierungsvariante	84
Abbildung 43: Fallstudie, GWP Baukonstruktion und TGA, Modul A – D1, Sanierungsvariante (eigene Darstellung).....	85
Abbildung 44: Fallstudie, PENRT Baukonstruktion und TGA, Modul A – D1, Sanierungsvariante (eigene Darstellung).....	85
Abbildung 45: Fallstudie, Massenbilanz, Bestand-, Sanierungs- und Neubauvariante (eigene Darstellung)	86
Abbildung 46: Sportfunktionale Einbauten, GWP, absolut (eigene Darstellung)	87
Abbildung 47: Sportfunktionale Einbauten, PENRT, absolut (eigene Darstellung)	87
Abbildung 48: Fallstudie, GWP Gesamt mit Altbestand, Modul A – C, Sanierungsvariante (eigene Darstellung)	88
Abbildung 49: Fallstudie, PENRT Gesamt mit Altbestand, Modul A – C, Sanierungsvariante (eigene Darstellung)	89
Abbildung 50: Fallstudie, GWP Gesamt, Modul A – C, Ursprungszustand (eigene Darstellung).....	90
Abbildung 51: Fallstudie, PENRT Gesamt, Modul A – C, Ursprungszustand (eigene Darstellung).....	90
Abbildung 52: Fallstudie, GWP Gesamt inkl. Komplettbestand, Modul A – C, Sanierungs- und Neubauvariante im Vergleich (eigene Darstellung)	91
Abbildung 53: Fallstudie, PENRT Gesamt inkl. Komplettbestand, Modul A – C, Sanierungs- und Neubauvariante im Vergleich (eigene Darstellung)	91
Abbildung 54: Fallstudie, GWP Baukonstruktion und TGA (ohne Sockelbetrag), Betrieb nach GEG und eigengenutzter Anteil erneuerbarer Energie, Modul A – C, Sanierungs- und Neubauvariante im Vergleich (eigene Darstellung)	92

Abbildung 55: Fallstudie, PENRT Baukonstruktion und TGA (ohne Sockelbetrag), Betrieb nach GEG und eigengenutzter Anteil erneuerbarer Energie, Modul A – C, Sanierungs- und Neubauvariante im Vergleich (eigene Darstellung)	92
Abbildung 56: Fallstudie, GWP Gesamt inkl. Komplettbestand, Modul A – D, Sanierungs- und Neubauvariante im Vergleich (eigene Darstellung)	93
Abbildung 57: Fallstudie, PENRT Gesamt inkl. Komplettbestand, Modul A – D, Sanierungs- und Neubauvariante im Vergleich (eigene Darstellung).....	94
Abbildung 58: Ergänzung der abgeleiteten bautypologischen Clusterung in Baualtersklassen für Sporthallen mit Ergebnissen der Fallstudie (eigene Darstellung)	99

Abkürzungsverzeichnis

Äq.	Äquivalent
BAK	Baualtersklasse
BAU	Baureferat, Landeshauptstadt München
BGF	Bruttogrundfläche nach DIN 277-1
BIM	Building Information Modeling - deutsch: Bauwerksdatenmodellierung
BISp	Bundesinstitut für Sportwissenschaft
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (ehemals Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie)
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
BNB	Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen
BRI	Bruttorauminhalt nach DIN 277-1
CAFM	Computer-Aided Facility Management
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DFH	Dreifachhalle
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
DIN	Deutsches Institut für Normung
DOG	Deutsche Olympische Gesellschaft
DOSB	Deutsch Olympischer Sportbund
DVS	Deutsche Vereinigung für Sportwissenschaft e.V.
EFH	Einfachhalle
EnEV	Energieeinsparverordnung
EPD	Environmental Product Declaration - deutsch: Umweltproduktdeklaration
EPS	Expandierter Polystyrolhartschaum
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GWP	Global Warming Potential - deutsch: Treibhausgaspotenzial
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KG	Kostengruppe
KSH	Kleinsporthalle
LHM	Landeshauptstadt München
NRF	Nettoraumfläche nach DIN 277-1
NUF	Nutzungsfläche nach DIN 277-1

PENRT	Primary Energy Non-Renewable Total - deutsch: gesamte nicht erneuerbare Primärenergie
PV	Photovoltaik
QNG	Qualitätssiegel nachhaltiges Gebäude
RBS	Referat für Bildung und Sport, Landeshauptstadt München
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
XPS	Extrudierter Polystyrolhartschaum
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient
WDVS	Wärmedämmverbundsystem
WSVO	Wärmeschutzverordnung
ZFH	Zweifachhalle

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Maße von Sporthallen (Darstellung nach Roskam, 1961 und DIN 18032-1:2014-11) (eigene Darstellung)	29
Tabelle 2: Durchschnittliche Raumflächen der Sporthallen der LHM (Daten aus CAFM, Auswertung von 152 Sporthallen) und Auswertungen der Bundesländer Baden-Württemberg, Brandenburg, Hansestadt Bremen und Sachsen-Anhalt (BMVBS, 2013) (eigene Darstellung)..	33
Tabelle 3: Nutzungszeiten der Sportanlagen der LHM (Darstellung nach Sitzungsvorlage Nr. 08-14 / V 07034, 2011)	36
Tabelle 4: Außerschulische Belegung der städtischen Sporthallen der LHM im Jahr 2019 (Darstellung nach Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 00329, 2021)	36
Tabelle 5: Nebenräume für Sporthallen (DIN 18032-1:2014-11).....	38
Tabelle 6: Ausbildung der Kubatur von Sporthallen (in Anlehnung an Ludwig et al., 2014; Roskam, 1961, Tabelle C) (eigene Darstellung)	40
Tabelle 7: Anschluss von Sporthallen am Beispiel von Schulsportanlagen der LHM (Google Maps, o.D.) (eigene Darstellung)	42
Tabelle 8: Mittel- bzw. Vergleichswerte für die Gebäudekategorie Sporthalle (eigene Darstellung).....	44
Tabelle 9: Endenergiebedarfswerte von Sporthallen nach Baualtersklasse (BMVBS, 2011) (eigene Darstellung)	45
Tabelle 10: Übersicht über Fallbeispiele der Detailanalyse (eigene Darstellung)	53
Tabelle 11: Darstellung der Lebenszyklusphasen gemäß DIN EN 15643 (Darstellung nach DIN EN 15643:2021-12; BMVBS, 2023a)	59
Tabelle 12: (Teil-)Bilanzgrößen in Anlehnung an die Nachweisführung nach QNG (BMVBS, 2023a)	63
Tabelle 13: Anforderungen an die Gebäudehülle nach Beschluss der LHM (Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 05040, 2022)	65
Tabelle 14: Aufbau eines Sportbodens als Schwingboden (eigene Darstellung).....	70
Tabelle 15: Aufbau einer Prallwand (eigene Darstellung)	71
Tabelle 16: Flächen- bzw. Raumkennwerte der Fallbeispiele (eigene Darstellung)	75
Tabelle 17: Fallstudie, Betriebsenergie nach QNG, Modul B, Sanierungsvariante (eigene Darstellung).....	78
Tabelle 18: Fallstudie, Betriebsenergie nach QNG, Modul B, Neubauvariante (eigene Darstellung).....	78

Tabelle 19: Fallstudie, Gegenüberstellung (Mittelwert und Standardabweichung) der Ergebnisse für Baukonstruktion und TGA, Ursprungszustand, Sanierungs- und Neubauvariante (eigene Darstellung).....	83
Tabelle 20: Fallstudie, Vergleich GWP und PENRT der Baukonstruktion und TGA mit Kennwerten nach QNG, Sanierung und Neubau (BMVBS, 2022)	96
Tabelle 21: Spezifischer Endenergiebedarf von Sporthallen nach Baualtersklasse im Ursprungszustand (Fallstudie und BMVBS, 2011) (eigene Darstellung).....	98
Tabelle A- 1: Gebäudesteckbrief Halle A, Vergleichswerte nach BMWi & BMI, 2020 und BMVBS, 2011 (eigene Darstellung)	134
Tabelle A- 2: Gebäudesteckbrief Halle B, Vergleichswerte nach BMWi & BMI, 2020 und BMVBS, 2011 (eigene Darstellung)	137
Tabelle A- 3: Gebäudesteckbrief Halle C, Vergleichswerte nach BMWi & BMI, 2020 und BMVBS, 2011 (eigene Darstellung)	140
Tabelle A- 4: Gebäudesteckbrief Halle D, Vergleichswerte nach BMWi & BMI, 2020 und BMVBS, 2011 (eigene Darstellung)	143
Tabelle A- 5: Gebäudesteckbrief Halle E, Vergleichswerte nach BMWi & BMI, 2020 und BMVBS, 2011 (eigene Darstellung)	146
Tabelle A- 6: Gebäudesteckbrief Halle F, Vergleichswerte nach BMWi & BMI, 2020 und BMVBS, 2011 (eigene Darstellung)	149
Tabelle A- 7: Übersicht über die bilanzierten opaken Konstruktionen inklusive der spezifischen Materialkennwerte und Zuordnung des Baustoffs für die Ökobilanzierung des Ursprungszustands, Status quo und der Sanierungsvariante (eigene Darstellung)	152
Tabelle A- 8: Übersicht über die bilanzierten opaken Konstruktionen inklusive der spezifischen Materialkennwerte und Zuordnung des Baustoffs für die Ökobilanzierung der Neubauvariante (eigene Darstellung).....	208
Tabelle A- 9: Übersicht über die bilanzierten Fensterkonstruktionen inklusive der spezifischen Materialkennwerte und Zuordnung der Baustoffe für die Ökobilanzierung des Ursprungszustands, Status quo und der Sanierungsvariante (eigene Darstellung)	215
Tabelle A- 10: Übersicht über die bilanzierten sportfunktionalen Einbauten und die Zuordnung der Baustoffe für die Ökobilanzierung (eigene Darstellung).....	221

Literaturverzeichnis

- an der Heiden, I., Meyrahn, F., Huber, S., Ahlert, G., Kokot, A. & Preuß, H. (2012). *Die wirtschaftliche Bedeutung des Sportstättenbaus und ihr Anteil an einem zukünftigen Sportsatellitenkonto*. https://sportsatellitenkonto.de/wp-content/uploads/2019/12/02_BMWi-Veroeffentlichung-20130201-SpSK-III.pdf (aufgerufen am 18.01.2025).
- an der Heiden, I., Meyrahn, F., Preuß, H., Ahlert, G., Sonnenberg, A., Stöver, B. & Wolter, M. I. (2014). *Sportstätten im demografischen Wandel: Forschungsbericht - Langfassung*. https://sportsatellitenkonto.de/wp-content/uploads/2019/12/08_BMI-51-13-Endbericht-Sportdemografie-20141205.pdf (aufgerufen am 18.01.2025).
- aquatherm GmbH (Hrsg.). (2013). *aquatherm orange system - Sportbodenheizung: Technische Information Flächenheizsysteme für Sportstätten*.
- Bach, L., Behacker, R., Erlenwein, A., Klages, A., Meyer-Buck, H., Stucke, N., Tonhäuser, G., Ott, P. & Palmen, M. (2018). *11 Thesen zur Weiterentwicklung von Sportanlagen* (2. überarbeitete Fassung). Bundesinstitut für Sportwissenschaft. https://www.bisp-sportinfrastruktur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sportentwicklung/11_Thesen.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (aufgerufen am 18.01.2025).
- Bach, L. & Ziemainz, H. (2004). *Sportstätten-Management: Neue Wege für vereinseigene kommunale Sportstätten. Zukunftsorientierte Sportstättenentwicklung: Bd. 6*.
- Beirat Umwelt und Sport. (2022, 13. Dezember). *Positionierung des Beirats „Umwelt und Sport“ beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) zu Energie, Sportstätten und Nachhaltigkeit*. <https://www.bmu.de/ME10428> (aufgerufen am 10.03.2024).
- Beusker, E., Stoy, C. & Pollalis, S. N. (2012). Estimation model and benchmarks for heating energy consumption of schools and sport facilities in Germany. *Building and Environment*, 49(1), 324–335. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.08.006>.
- Bleher, D. (2016, 17. November). *Energieverbrauch deutscher Sportstätten*. Landessportbund Hessen e.V. 6. Sportinfra, F13 - Energetische Modernisierung von Sportanlagen, Frankfurt a. M. https://2016.sportinfra.de/media/Vortraege%202016/F13%20Energetische%20Modernisierung%20von%20Sportanlagen/F13_Vortrag_DanielBleher.pdf (aufgerufen am 09.03.2024).
- Boulderwelt München Ost. (2022). *Bouldern in der größten Boulderhalle Münchens — Klettern ohne Furcht und Tadel*. <https://www.boulderwelt-muenchen-ost.de/> (aufgerufen am 15.04.2022).
- Braune, A., Ekhvaia, L. & Quante, K. (2021). *BENCHMARKS FÜR DIE TREIBHAUSGASEMISSIONEN DER GEBÄUDEKONSTRUKTION: Ergebnisse einer Studie mit 50 Gebäuden*. https://static.dgnb.de/fileadmin/dgnb-ev/de/themen/Klimaschutz/Toolbox/102021_Studie-Benchmarks-fuer-die-Treibhausgasemissionen-der-Gebaeudekonstruktion.pdf (aufgerufen am 18.01.2025).
- Bremer Energie Institut (Hrsg.). (2011). *Der energetische Sanierungsbedarf und der Neubaubedarf von Gebäuden der kommunalen und sozialen Infrastruktur: Abschlussbericht*. https://digital.zlb.de/viewer/api/v1/records/15475718/files/media/BEI500_024_0431_Gutachten.pdf (aufgerufen am 18.01.2025).
- Breuer, C. (2014). *Sportentwicklungsbericht 2013/2014: Analyse zur Situation der Sportvereine in Deutschland*. https://www.bisp.de/SharedDocs/Downloads/Publikationen/Publikationssuche_SEB/SEB_2013_2014_komplett.pdf?__blob=publicationFile&v=9 (aufgerufen am 25.12.2024).
- Breuer, C. & Feiler, S. (2019). *Sportvereine in Deutschland: Organisationen und Personen: Sportentwicklungsbericht für Deutschland 2017/2018 - Teil 1* (März 2019). *Sportentwicklungsbericht für Deutschland 2017/2018: Teil 1*. Bundesinstitut für Sportwissenschaft. ISBN 978-3-96523-005-7.

-
- Breuer, C. & Feiler, S. (2021). *Sportvereine in Deutschland: Ergebnisse aus der 8. Welle des Sportentwicklungsberichts: Sportentwicklungsbericht für Deutschland 2020-2022 - Teil 1*. ISBN 978-3-96523-058-3.
- Breuer, C., Feiler, S. & Rossi, L. (2021). *Auswirkungen der COVID-19-Pandemie auf die Sportvereine in Deutschland: Ergebnisse der COVID-Zusatzbefragung im Rahmen der 8. Welle des Sportentwicklungsberichts*. ISBN 978-3-96523-057-6.
- Breuer, G. (1997). *Sportstättenbedarf und Sportstättenbau: Eine Betrachtung der Entwicklung in Deutschland (West) von 1945 bis 1990 anhand der baufachlichen Planung, öffentlichen Verwaltung und Sportorganisation*. Zugl.: Köln, Sporthochsch. (Dissertation). sb 67 Verl.-Ges.
- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (Hrsg.). (2024). *Förderprogramm im Überblick*. https://www.bafa.de/DE/Energie/Effiziente_Gebaeude/Foerderprogramm_im_Ueberblick/foerderprogramm_im_ueberblick_node.html (aufgerufen am 23.03.2024).
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.). (2017a). *Beispielhafte U-Werte*. https://www.bbsr-geg.bund.de/GEGPortal/DE/Praxishilfen/Wirtschaftlichkeit/Tabellen/PDF/UWerte.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (aufgerufen am 18.01.2025).
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.). (2017b, 24. Februar). *BNB Nutzungsdauern von Bauteilen*. <https://www.nachhaltigesbauen.de/austausch/nutzungsdauern-von-bauteilen/> (aufgerufen am 18.01.2025).
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.). (2019). *Vergleichswerte für den Energieverbrauch von Nichtwohngebäuden: BBSR-Online-Publikation 20/2019* (BBSR-Online-Publikation 20/2019). https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2019/bbsr-online-20-2019-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (aufgerufen am 23.04.2024).
- Bundesinstitut für Sportwissenschaft (Hrsg.). (2008). *Orientierungshilfe P1/08 - Geräteausstattung für Hallen für Turnen und Spiele: Auszug aus BISp-Schriftenreihe P1/86 und Heft 97 Deutscher Städtetag "Geräteausstattung von Schulsportstätten"* (Schriftenreihe Sportanlagen und Sportgeräte). https://www.bisp.de/SharedDocs/Downloads/Publikationen/sonstige_Publikationen_Ratgeber/OH_Hallen_P1_08.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (aufgerufen am 13.02.2024).
- Bundesministerium für Arbeit und Soziales (Hrsg.). (2019, 13. März). *Strategie gegen Fachkräftemangel in der Bauwirtschaft*. <https://www.bmas.de/DE/Service/Presse/Pressemitteilungen/2019/strategie-gegen-fachkraeftemangel-bauwirtschaft.html> (aufgerufen am 14.04.2024).
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.). (2011). *Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland: BMVBS-Online-Publikation, Nr. 16/2011* (BMVBS-Online-Publikation Nr. 16/2011). https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/ministerien/bmvbs/bmvbs-online/2011/DL_ON162011.pdf;jsessionid=F1C2A8A5E9E2B6D010483B7B0EDA8C6F.live11294?__blob=publicationFile&v=1 (aufgerufen am 23.04.2023).
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.). (2013). *Systematische Datenanalyse im Bereich der Nichtwohngebäude - Erfassung und Quantifizierung von Energieeinspar- und CO₂-Minderungspotenzialen: BMVBS-Online-Publikation, Nr. 27/2013* (BMVBS-Online-Publikation 27/2013). https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/ministerien/bmvbs/bmvbs-online/2013/DL_ON272013.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (aufgerufen am 15.01.2022).
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.). (2017). *Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB), Unterrichtsgebäude, Modul Komplettmodernisierung: Steckbrief 1.1.1 Treibhauspotenzial (GWP)*. https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/steckbriefe/runder_tisch_-_workshops/bestand_komplettmassnahme/v_2017/BNB_UK2017_111.pdf (aufgerufen am 13.02.2024).
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung & Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.). (2009). *Anlagenkennwertekatalog für Nichtwohngebäude - Endbericht: BBSR-Online-Publikation, Nr. 05/2009* (BBSR-Online-Publikation 05/2009).

- https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2009/DL_ON052009.pdf;jsessionid=54C221C1AEF9EF8222D2519A92FB574D.live11314?__blob=publicationFile&v=1 (aufgerufen am 09.04.2023).
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.). (2018). *Sportwirtschaft: Fakten & Zahlen, Ausgabe 2018*. https://sportsatellitenkonto.de/wp-content/uploads/2019/12/14_BMWi_Sportwirtschaft-Fakten-Zahlen-Ausgabe-2018.pdf (aufgerufen am 18.01.2025).
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie & Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (Hrsg.). (2020, 8. Oktober). *Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand*. <https://www.bundesanzeiger.de/pub/publication/dKSgHHFEsKCYusfZibw?0> (aufgerufen am 16.01.2022).
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie & Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat. (2021, 15. April). *Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand*. https://www.bbsr-geg.bund.de/GEG-Portal/DE/ErgaenzendeRegelungen/Bekanntmachungen/Verbrauchsausweise/Download/NWGEnergieverbrauchswerteGEG.pdf;jsessionid=A294032CE85E298C2A63C5CF6537B960.live11314?__blob=publicationFile&v=1 (aufgerufen am 01.04.2024).
- Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMVBS). *Investitionspakt Sportstätten*. <https://investitionspakt-sportstaetten.de/> (aufgerufen am 18.01.2025).
- Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (Hrsg.). (2023a). *Anhang 3.2.1.1 zur Anlage 3: Bilanzierungsregeln des QNG für Nichtwohngebäude, Stand 01.03.2023* (Version 1.3). https://www.qng.info/wp-content/uploads/2023/03/QNG_Handbuch_Anlage-3_Anhang-3211_LCA_Bilanzregeln-NW_v1-3.pdf (aufgerufen am 19.10.2025).
- Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (Hrsg.). (2023b). *Anhang 3.2.1.2 zur Anlage 3: Regeln zur Bestimmung des Anforderungswertes für QNG Nichtwohngebäude, Stand 19.04.2022* (Version 1.3.1). https://www.qng.info/wp-content/uploads/2023/04/QNG_Handbuch_Anlage-3_Anhang-3212_LCA_Anforderung-NW_v1-3.1.pdf (aufgerufen am 19.10.2025).
- Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (Hrsg.). (2023c). *Anhang Nutzungshinweise: Begleitdokument Ökobilanzierung – Rechenwerte 2023, Stand 01.03.2023* (Version 1.0). https://www.qng.info/wp-content/uploads/2023/03/Oekobilanzierung-Rechenwerte_2023_Anhang_Nutzungshinweise_v1-0.pdf (aufgerufen am 19.10.2025).
- Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (Hrsg.). (2023d). *Anlage 1: zum Handbuch des Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude, Stand 01.03.2023*. SIEGELVARIANTEN, Verzeichnis der Gebäude- und Nutzungsarten (Version 1.3). https://www.qng.info/wp-content/uploads/2023/07/QNG_Handbuch_Anlage-1-Siegelvarianten_v1-4.pdf (aufgerufen am 19.10.2025).
- Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (Hrsg.). (2023e). *Handbuch Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude: Siegeldokument der Gewährleistungsmarken „Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude PLUS“ und „Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude PREMIUM“* (Version 1.2). https://www.qng.info/wp-content/uploads/2023/03/QNG_Handbuch_v1-2.pdf (aufgerufen am 19.10.2025).
- Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (Hrsg.). (2024). *Informationsportal Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude: FAQ*. <https://www.qng.info/faq/> (aufgerufen am 25.12.2024).
- Bundesregierung. (2019, 13. September). *CO₂-Ausstoß soll sich bis 2030 mehr als halbieren*. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaziele-und-sektoren-1669268> (aufgerufen am 14.11.2021).
- Bundesregierung. (2022, 7. November). *Generationenvertrag für das Klima*. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672> (aufgerufen am 07.04.2024).
- Bundesregierung. (2023a, 15. März). *Prognose des Umweltbundesamtes für 2022: Treibhausgasemissionen gesunken - Photovoltaik und Windkraft legen zu*.

-
- <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/klimaschutz/emissionsdaten-2022-2171208> (aufgerufen am 30.03.2024).
- Bundesregierung. (2023b, 23. November). *Öffentliche Hand wird Vorbild beim Energiesparen*. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/gesetzesvorhaben/energieeffizienz-gesetz-2184812> (aufgerufen am 07.04.2024).
- Bundesumweltministerium (Hrsg.). (2021, 12. Mai). *Novelle des Klimaschutzgesetzes beschreibt verbindlichen Pfad zur Klimaneutralität 2045*. BMUV - Pressemitteilung Nr. 098/21. <https://www.bmuv.de/pressemitteilung/novelle-des-klimaschutzgesetzes-beschreibt-verbindlichen-pfad-zur-klimaneutralitaet-2045> (aufgerufen am 29.11.2024).
- Burtscher – Durig ZT GmbH (Hrsg.). (2019). *Schülerweiterung ONMS I + NMS II ENKPLATZ - Burtscher-Durig*. <https://www.burtscherdurig.at/work/enkplatz/> (aufgerufen am 05.01.2022).
- Capozzoli, A., Grassi, D. & Causone, F. (2015). Estimation models of heating energy consumption in schools for local authorities planning. *Energy and Buildings*, 105, 302–313. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.024>.
- Capozzoli, A., Piscitelli, M. S. & Brandi, S. (2017). Mining typical load profiles in buildings to support energy management in the smart city context. *Energy Procedia*, 134, 865–874. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.545>.
- Clausnitzer, K.-D., Fette, M., Janßen, K. & Lösch, S. (2016). *Nachdämmung („Aufdopplung“) alter Wärmedämmverbundsysteme an Wohngebäuden*. Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und angewandte Materialforschung IFAM. <https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/a098bc39-ec90-4d5a-b678-ec539727c035/content> (aufgerufen am 18.01.2025).
- Corgnati, S. P., Corrado, V. & Filippi, M. (2008). A method for heating consumption assessment in existing buildings: A field survey concerning 120 Italian schools. *Energy and Buildings*, 40(5), 801–809. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.05.011>.
- Dataholz.eu (Hrsg.). (2024). *Katalog bauphysikalisch und ökologisch geprüfter Holzbauteile*. <https://www.dataholz.eu/index.htm> (aufgerufen am 22.12.2024).
- Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (Hrsg.). (2019). *dena-Gebäudereport kompakt 2019: Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand*.
- Deutscher Bundestag, P. (Hrsg.). (2024, 9. Oktober). *Sanierungsstau bei Sportstätten in Deutschland wächst an*. <https://www.bundestag.de/presse/hib/kurzmeldungen-1023432> (aufgerufen am 04.01.2025).
- Deutscher Olympischer Sportbund e.V. (Hrsg.). (o.J.). *Sportstätten*. <https://www.dosb.de/themen/sportraeume/klima/sportstaetten> (aufgerufen am 18.01.2025).
- Deutscher Olympischer Sportbund e.V. (Hrsg.). (2022). *Demografische Entwicklung*. <https://www.dosb.de/sportentwicklung/demografische-entwicklung> (aufgerufen am 15.04.2022).
- Deutscher Städtetag (Hrsg.). (2002). *Raumtemperaturen und Innenraumbeleuchtung im Gebäudebestand*. https://www.staedtetag.de/files/dst/docs/Dezernat-6/Archiv/hinweise_energiemanagement_4.2.pdf (aufgerufen am 10.01.2025).
- Deutsches Institut für Normung e. V. (2001-04). *DIN 18032-2: Sporthallen - Hallen für Turnen, Spiele und Mehrzwecknutzung: Teil 2: Sportböden, Anforderungen, Prüfungen* (DIN 18032-2:2001-04). Beuth Verlag GmbH.
- Deutsches Institut für Normung e. V. (2002-08). *DIN 18032-4: Sporthallen - Hallen für Turnen, Spiele und Mehrzwecknutzung: Teil 4: Doppelschalige Trennvorhänge* (DIN 18032-4:2002-08). Beuth Verlag GmbH.
- Deutsches Institut für Normung e. V. (2010-10). *DIN 18040-1: Barrierefreies Bauen - Planungsgrundlagen: Öffentlich zugängliche Gebäude* (DIN 18040-1:2010-10). Beuth Verlag GmbH.
- Deutsches Institut für Normung e. V. (2012-10). *DIN EN 15978: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden - Berechnungsmethode* (DIN EN 15978:2012-10). Beuth Verlag GmbH.

- Deutsches Institut für Normung e. V. (2014-07). *DIN 18032-6: Sporthallen - Hallen und Räume für Sport und Mehrzwecknutzung: Teil 6: Bauliche Maßnahmen für Einbau und Verankerung von Sportgeräten* (DIN 18032-6:2014-07). Beuth Verlag GmbH.
- Deutsches Institut für Normung e. V. (2014-11). *DIN 18032-1: Sporthallen - Hallen und Räume für Sport und Mehrzwecknutzung: Grundsätze für die Planung* (DIN 18032-1:2014-11). Beuth Verlag GmbH.
- Deutsches Institut für Normung e. V. (2018-09). *DIN 18599-10:2018-09, Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten* (DIN 18599-10:2018-09). Beuth Verlag GmbH.
- Deutsches Institut für Normung e. V. (2018-09). *DIN 18599-2: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen* (DIN 18599-2:2018-09). Beuth Verlag GmbH.
- Deutsches Institut für Normung e. V. (2021-12). *DIN EN 15643: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden - Berechnungsmethode* (DIN EN 15643:2021-12). Beuth Verlag GmbH.
- Deutsches Institut für Normung e. V. (2022-03). *DIN EN 15804: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte* (DIN EN 15804:2022-03). Beuth Verlag GmbH.
- Direktorium - Stadtplanungsamt der Landeshauptstadt München. (Juni 1963). *Stadtentwicklungsplan einschließlich Gesamtverkehrsplan der Landeshauptstadt München*.
- Egger, S. (2014). *„München wird moderner“: Stadt und Atmosphäre in den langen 1960er Jahren*. Urban Studies. transcript Verlag. ISBN 978-3-8376-2282-9.
- Elia, S. & Battistin, M. (2015). Energy consumption evaluation for sports centers: A method based on optimization classes and qualitative dashboards. *Economics and Policy of Energy and the Environment*, 2015(1), 133–144.
- Energieinstitut Hessen (Hrsg.). (2017). *Historischer Wärmeschutz: Fenster*. <https://www.neidt.de/Downloads/Historische%20Fenster-Eicke-Hennig-2017.pdf> (aufgerufen am 11.01.2025).
- UN Environment Programme (Hrsg.). (2020). *2020 Global Status Report for Buildings and Construction.: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector, Executive Summary*. https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/Buildings%20GSR_Executive_Summary%20FINAL_0.pdf (aufgerufen am 14.04.2024)
- Eßig, N., Sara, L., Magdolen, S. & Siegmund, L. (2015). *Leitfaden Nachhaltiger Sportstättenbau - Kriterien für den Neubau nachhaltiger Sporthallen: Forschungsprojekt im Auftrag des Bundesinstituts für Sportwissenschaft (BISp) Bonn* (1. Auflage). Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft. Sportverlag Strauß. ISBN 978-3-86884-530-3.
- Ettrich, M., Hauser, G. & Hoppe, M. (2011). *Modernisierungsempfehlungen im Rahmen der Ausstellung eines Energieausweises: Energetische, baukonstruktive, bauphysikalische und wirtschaftliche Bewertung von Modernisierungsmaßnahmen. Bauforschung für die Praxis: Bd. 96*. Fraunhofer IRB Verlag. ISBN 978-3-8167-8333-6.
- Eulering, J. (2001). 50 Jahre Sportstättenpolitik in Deutschland. In A. Hummel, A. Rütten & L. Bach (Hrsg.), *Handbuch Technik und Sport: Sportgeräte - Sportausrüstungen - Sportanlagen*. Hofmann. ISBN 3-7780-1801-9.
- Gierga, M. & Erhorn, H. (1994). *Bestand und Typologie beheizter Nichtwohngebäude in Westdeutschland* (IKARUS - ein Entwicklungsvorhaben des Forschungszentrums Jülich im Auftrag des Bundesministers für Forschung und Technologie 5-14). Forschungszentrum Jülich GmbH.
- Google Maps. (o.D.). *Karte von München*. <https://www.google.com/maps/place/Munich/@48.1549958,11.4594364,12> (aufgerufen am 23.03.2024).
- Göring, A., Hübner, H., Kähler, R. S., Weilandt, M., Rütten, A. & Wetterich, J. (März 2018). *Memorandum zur kommunalen Sportentwicklungsplanung: 2., überarbeitete Fassung mit*

-
- dem Fokus auf Sporträume. https://www.sportwissenschaft.de/fileadmin/pdf/download/2018_Memorandum-2-SEP_web.pdf (aufgerufen am 31.03.2024).
- Hamberger Flooring GmbH & Co. KG. (2022, 8. Juni). *München 35 F - HARO Sports*. <https://www.haro-sports.com/produkte/sportbelag/muenchen/muenchen-35-f/> (aufgerufen am 08.02.2024).
- Hochschule München (Hrsg.). (2024, 3. Dezember). *Nachhaltigkeit von Sportstätten (Neubau Indoor): Musterbewertungssystem für die Nachhaltigkeit von Sportstätten (Sporthallen, Schwimmbäder und Großveranstaltungsbauten)*. <https://hm.edu/forschung/forschungsprojekte/projektetails/essig/sportstaetten.de.html> (aufgerufen am 03.12.2024).
- Hörner, M. (2015). *Typische Kenngrößen von Nichtwohngebäuden im Bestand: Querschnittsanalyse der TEK-Datenbank*. IWU.
- Huber, T., Kirig, A. & Muntschick, V. (2014). *Sportivity: Die Zukunft des Sports*. Zukunftsinstitut. ISBN 978-3-938284-85-8.
- Hübner, H. & Wulf, O. (2016). *Bausteine für eine zeitgemäße und zukunftsfähige Sportstätteninfrastruktur in Nordrhein-Westfalen: Kurzfassung*. Forschungsstelle „Kommunale Sportentwicklungsplanung“.
- INFORMATIONSDIENST HOLZ. (2019). *Flachdächer in Holzbauweise* (Holzbau Handbuch Reihe 3, Teil 2, Folge 1). <https://informationsdienst-holz.de/publikationen/2-informationsdienst-holz-holzbau-handbuch/reihe-3-bauphysik/flachdaecher-in-holzbauweise> (aufgerufen am 22.12.2024).
- Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU). (2012). *TABULA: Entwicklung von Gebäudetypologien zur energetischen Bewertung des Wohngebäudebestands in 13 europäischen Ländern*. <https://www.iwu.de/forschung/gebaeudebestand/tabula/> (aufgerufen am 06.01.2022).
- Institut Wohnen und Umwelt GmbH. (2015). *Typologie-gestützte Kennwerte für die energetische Bewertung bestehender Nichtwohngebäude: am Beispiel von 10 Gerichts-, Verwaltungs- und Polizeidienstgebäuden* (1. Auflage). IWU. ISBN 978-3-941140-45-5.
- Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU); Leibnitz-Institut für ökologische Raumentwicklung; Bergische Universität Wuppertal. (2021). *ENOB DataNWG: Projektbeschreibung*. <https://datanwg.de/projektbeschreibung/> (aufgerufen am 30.04.2023).
- Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU); Leibnitz-Institut für ökologische Raumentwicklung; Bergische Universität Wuppertal. (2022). *ENOB DataNWG: Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude*. <https://datanwg.de/forschungsdatenbank/tabellenkonfigurator/> (aufgerufen am 30.04.2023).
- Internationale Vereinigung Sport- und Freizeiteinrichtungen (Hrsg.). (2024, 11. November). *#unserSportraum: Petitionen für die Sanierung/Modernisierung von Sporträumen*. <https://deutschland.iaks.sport/de/news/unsersportraum-petitionen-fuer-die-sanierungmodernisierung-von-sportraeumen> (aufgerufen am 10.01.2025).
- Internationale Vereinigung Sport- und Freizeiteinrichtungen e.V. (Hrsg.). (2023). *Programm 2023 | IAKS Worldwide*. <https://iaks.sport/de> (aufgerufen am 02.11.2024).
- Jägemann, H. & Wohltmann, H. (2006). Sportstätten und Stadtentwicklung. Neue Herausforderungen und Potenziale für den Sportstättenbau. *Raumplanung*(126), 153–156.
- Kampel, W., Carlucci, S., Aas, B. & Bruland, A. (2016). A proposal of energy performance indicators for a reliable benchmark of swimming facilities. *Energy and Buildings*, 129, 186–198. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.033>.
- Katthage, J. (2022). *Nachhaltigkeit von bestehenden Sportfreianlagen: Gesellschaftlicher Nutzen von normierten und wettkampforientierten Sportfreianlagen*. Technische Universität München. <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1657740/document.pdf> (aufgerufen am 01.04.2024).
- Katthage, J. & Thieme-Hack, M. (2017). *Orientierungshilfe „Nachhaltige Sportfreianlagen“: Ansätze zur Umsetzung der nachhaltigen Entwicklung auf Sportfreianlagen*. https://www.bisp-sportinfrastruktur.de/SharedDocs/Downloads/Publikationen/Publikationssuche_Sonderpublikationen/OH_Sportfreianlagen_Nachhaltige.pdf;jsessionid=852B2AE6D48CAB88D3C3987712560E35.2_cid381?__blob=publicationFile&v=4

- (aufgerufen am 18.04.2022).
- Kenkmann, T., Hesse, T., Hülsmann, F., Timpe, C. & Hoppe, K. (Juli 2017). *Klimaschutzziel und –strategie München 2050: Endbericht*. <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Klimaschutzziel-und-strategie-Muenchen-2050.pdf> (aufgerufen am 19.10.2025).
- KfW Bankengruppe (Hrsg.). (2023). *Das Effizienzgebäude: Maßstab für Energieeffizienz | KfW*. <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/%C3%96ffentliche-Einrichtungen/Geb%C3%A4ude-und-Einrichtungen/Bestand-Effizienzhausstufen.html> (aufgerufen am 18.01.2025).
- Kluttig, H., Dirscherl, A. & Erhorn, H. (2003). *Energieverbräuche von Bildungsgebäuden in Deutschland*. <https://www.forum-hausbau.de/data/bildungsgebaeude.pdf> (aufgerufen am 12.04.2024).
- Koch, J., Meyer-Buck, H. & Wieland, H. (1997). *Zukunftsorientierte Sportstättenentwicklung* (1. Aufl.). Meyer und Meyer.
- Lampersberger, P., Benke, G., Grim, M., Hüttler, W., Preßmair, G., Schwarz-Viechtbauer, K. & Szeywerth, F. (2017). *Leitfaden für Entscheidungsträger - Implementierung innovativer Energietechnologien in Sportstätten*. https://www.oeiss.org/fileadmin/user_upload/Main/Forschung/2017_EnergieFit/170830_Leitfaden_Entscheidungstraeger_EnergieFit.pdf (aufgerufen am 19.10.2025).
- Landeshauptstadt München (Hrsg.). (o.J.). *Hintergründe zur Bildungsbauoffensive*. <https://stadt.muenchen.de/infos/bildungsbauoffensive.html> (aufgerufen am 19.10.2025).
- Landeshauptstadt München, Baureferat (Hrsg.). (2013). *Energetische Modernisierung im Rahmen des Konjunkturpaketes II*.
- Landeshauptstadt München, Referat für Bildung und Sport (Hrsg.). (2021). *Leitfaden zum inklusionsorientierten Schulsportstättenbau*. https://stadt.muenchen.de/dam/jcr:902310c5-b814-4ec4-b279-c35dfa079f52/leitfaden_inklusionsorientierter_schulsportstaettenbau.pdf (aufgerufen am 19.10.2025).
- Landessportbund Hessen e.V. (Hrsg.). (2024). *Sportinfra*. <https://www.sportinfra.de/de/startseite/> (aufgerufen am 02.11.2024).
- LIGNOTREND Produktions GmbH (Hrsg.). (2024). *LIGNO Akustik Sport: Technische Daten*. https://lignotrend.com/_Resources/Persistent/e/7/b/e/e7be725f24a02d65bd4e27ccd1b4dd7d66c90183/1503n__2024-07-11_TD%20LIGNO%20Akustik%20Sport_D_k.pdf (aufgerufen am 09.01.2025).
- Ludwig, M., Lotzmann, S., Stellmann, L., Kraner, M., Krauter, A., Voit, P., Schmidt, P. & Linsenhoff, W.-E. (2014). *Sport- und Mehrzweckhallen: Neubau und Sanierung nach DIN 18032. PlanungsPraxis*. Forum Verlag Herkert. ISBN 978-3-86586-362-1.
- Magdolen, S. (2018). Nachhaltigkeitsbewertung von Sporthallen - Methodik und Fallbeispiel. In N. Eßig, R. Kähler, M. Palmen & C. Deuß (Hrsg.), *Nachhaltigkeit und Innovationen von Sportstätten und -räumen: Beiträge der gemeinsamen Jahrestagung der dvs-Kommission Sport und Raum, der IAKS Deutschland und des BISP vom 9.-10. November 2017*. Deutsche Vereinigung für Sportwissenschaft. ISBN 978-3-96523-000-2.
- Meier-Dotzler, C. M. (2023). *Lebenszyklusbasierte ökologische Kennwertentwicklung von Gebäudekonstruktionen im Alt- und Neubau zur Anwendung in 3D-Stadtmodellen*. Technische Universität München. <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1695838/1695838.pdf> (aufgerufen am 09.01.2025).
- Mevort, F. (2009). „Goldener Plan“ und „Zweiter Weg“: Vor 50 Jahren wurden die Weichen für den Sport für alle in Deutschland gestellt. *Olympisches Feuer*, 59(6), S. 48-51.
- Mund, J. (1998). Sportböden in Hallen für Turnen, Spiele und Mehrzwecknutzung. *BISP-Jahrbuch : Forschungsförderung* ... (1997), 33–44.
- Ott, P. (2012). Bauliche Modernisierung von Sportanlagen, orientiert – an veränderte Sportnachfrage, - an neuen Rahmenbedingungen, - an neuen Bautechnologien. In R. S. Kähler (Hrsg.), *Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft: Bd. 225. Sporträume neu denken und entwickeln: 4. und 5. Jahrestagung der dvs-Kommission „Sport und Raum“ 2010 und 2011 in Erlangen-Nürnberg bzw. Kiel*. Feldhaus Ed. Czwalina.
- Ott, P. (2014). Neue Möglichkeiten zur baulichen Anpassung von Sportanlagen an eine veränderte Sportnachfrage. *BISP-Report 2013 - Bilanz und Perspektiven*, 35–47.

-
- Paul Bauder GmbH & Co. KG (Hrsg.). (2024, 13. Februar). *Wärmedämmung mit BauderECO*. <https://www.bauder.de/de/bauder-flachdach/produkte/waermedaemmung/bau-dereco.html> (aufgerufen am 13.02.2024).
- Raffer, C. & Dr. Scheller, H. (Mai 2022). *KfW-Kommunalpanel 2022*. KfW Research. <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-KfW-Kommunalpanel/KfW-Kommunalpanel-2022.pdf> (aufgerufen am 09.04.2023).
- Raffer, C. & Dr. Scheller, H. (Mai 2023). *KfW-Kommunalpanel 2023*. KfW Research. <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-KfW-Kommunalpanel/KfW-Kommunalpanel-2023.pdf> (aufgerufen am 10.03.2024).
- Reiß, J., Erhorn, H., Geiger, M., Roser, A., Gruber, E., Schakib-Ekbatan, K., Winkler, M. & Jensch, W. (2013). *Energieeffiziente Schulen - EnEff:Schule im Rahmen des Begleitforschungsprojektes der Förderinitiative „Energieeffiziente Schulen - EnEff:Schule“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie*. Fraunhofer IRB Verlag.
- Repenning, S., Späing, M., Meyrahn, F., Ahlert, G., an der Heiden, I. & Preuß, H. (November 2023). *Sportstätten in Deutschland - Ergebnisse einer Kommunenbefragung: Aktuelle Daten zur Sportwirtschaft*. Im Auftrag des Bundesinstituts für Sportwissenschaft (BISp). https://sportsatellitenkonto.de/wp-content/uploads/2024/02/Themenbericht_SSK_Sportstaetten.pdf (aufgerufen am 16.12.2024)
- Rittner, V., Mrazek, J., Meyer, M., Becker, A., Meier, R. & Breuer, G. (1989). *Sportinfrastruktur im Kreis Neuss* (Bd. 2).
- Roskam, F. (Hrsg.). (1961). *Sporthallen und Hallenbäder*. Karl Krämer Verlag.
- Rütten, A., Hübner, H., Wetterich, J. & Wopp, C. (2010). *Memorandum zur kommunalen Sportentwicklungsplanung*. https://www.sportwissenschaft.de/fileadmin/pdf/download/Memorandum_Sportentwicklungsplanung_2010.pdf (aufgerufen am 09.01.2025).
- Salleh, M. N. M., Kandar, M. Z. & Sakip, S. R. M. (2016). Benchmarking for Energy Efficiency on School Buildings Design: A Review. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 222, 211–218. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.149>.
- Scharte, K. (2016). *Potenzziale der energetischen Sanierung von Schulgebäuden* (Dissertation). GBV Gemeinsamer Bibliotheksverbund.
- Schlomann, B., Wohlfarth, K., Kleeberger, H., Hardi, L., Geiger, B., Pich, A., Gruber, E., Gerspacher, A., Holländer, E. & Roser, A. (Februar 2015). *Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2011 bis 2013: Schlussbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)*. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI), Technische Universität München (TUM), GfK Retail and Technology GmbH, IREES GmbH. https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccx/2015/Schlussbericht-GHD_2006-2013_Februar2015.pdf (aufgerufen am 09.01.2025).
- Seidl, E. (Hrsg.). (2006). *Lexikon der Bautypen: Funktionen und Formen der Architektur*. Reclam. ISBN 978-3-15-010572-6.
- Sekki, T., Airaksinen, M. & Saari, A. (2017). Effect of energy measures on the values of energy efficiency indicators in Finnish daycare and school buildings. *Energy and Buildings*, 139, 124–132. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.005>.
- Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport, Deutscher Sportbund, Deutscher Städtetag & Ständige Konferenz der Sportminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.). (2002). *Sportstättenstatistik der Länder*. https://cdn.dosb.de/alter_Datenbestand/fm-dosb/arbeitsfelder/umwelt-sportstaetten/Veroeffentlichungen/Sportst_ttenstatistik.pdf (aufgerufen am 19.10.2025)
- Sitzungsvorlage Nr. 08-14 / V 07034 (2011). *Optimale Nutzungsbedingungen für die städtischen Sportanlagen; Flexible Nutzung von Sportanlagen*. Ratsinformationssystem der Landeshauptstadt München. <https://risi.muenchen.de/risi/sitzungsvorlage/detail/2355816> (aufgerufen am 18.01.2025).
- Sitzungsvorlage Nr. 14-20 / V 04256 (2016). *Sportentwicklung in der Landeshauptstadt München*. Ratsinformationssystem der Landeshauptstadt München. <https://risi.muenchen.de/risi/sitzungsvorlage/detail/3793045> (aufgerufen am 18.01.2025).

- Sitzungsvorlage Nr. 14-20 / V 08874 (2017). *Sportbauprogramm*. Ratsinformationssystem der Landeshauptstadt München. <https://risi.muenchen.de/risi/sitzungsvorlage/detail/4471639> (aufgerufen am 07.04.2024).
- Sitzungsvorlage Nr. 14-20 / V 13988 (2019). *Vollzugshinweise zur Schulbauverordnung (Flächenbandbreiten) Aktualisierung der Standard-Raumprogramme für Grundschulen, Mittelschulen, Realschulen und Gymnasien sowie Schulsportanlagen*. Ratsinformationssystem der Landeshauptstadt München. <https://risi.muenchen.de/risi/sitzungsvorlage/detail/5322235> (aufgerufen am 18.01.2025).
- Sitzungsvorlage Nr. 14-20 / V 15958 (2019). *Nutzungsbedingungen für die städtischen Schulsportanlagen Evaluation und Optimierung der Vergabe*. Ratsinformationssystem der Landeshauptstadt München. <https://risi.muenchen.de/risi/sitzungsvorlage/detail/5607418> (aufgerufen am 14.11.2021).
- Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 00329 (2021). *Infrastrukturkonzept Sporthallen in München*. Ratsinformationssystem der Landeshauptstadt München. <https://risi.muenchen.de/risi/sitzungsvorlage/detail/5996733> (aufgerufen am 07.04.2024).
- Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 05040 (2022). *Grundsatzbeschluss II Klimaneutrales München 2035 und klimaneutrale Stadtverwaltung 2030: Von der Vision zur Aktion*. Ratsinformationssystem der Landeshauptstadt München. <https://risi.muenchen.de/risi/sitzungsvorlage/detail/6895803> (aufgerufen am 02.11.2024).
- Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 11411 (2024). *Kommunale Wärmeplanung für München*. Ratsinformationssystem der Landeshauptstadt München. <https://risi.muenchen.de/risi/sitzungsvorlage/detail/8041544> (aufgerufen am 02.11.2024).
- Soccerworld Deutschland. (2022, 15. April). <https://www.soccerworld-muenchen.de/muenchen/> (aufgerufen am 15.04.2022).
- Spieker, E. (2022). *Wir bauen das moderne Deutschland*. Bundeszentrale für politische Bildung. <https://www.bpb.de/shop/zeitschriften/apuz/muenchen-1972-2022/512575/wir-bauen-das-moderne-deutschland/> (aufgerufen am 26.12.2024).
- Spindler, E. A. (Hrsg.). (2007). *Management und Modernisierung von Turn- und Sporthallen: PPP-Konzepte, zeitgemäße Sanierung und energieeffiziente Nutzung* (1. Aufl.). Müller.
- sportainable gUG (Hrsg.). (2024, 2. November). *sportainable | Die Denkfabrik für nachhaltigen Sport*. <https://www.sportainable.eco/> (aufgerufen am 02.11.2024).
- Stadionwelt (Hrsg.). (2023, 31. August). *Erste EPD: „Ein wichtiges Signal in Sachen Nachhaltigkeit“*. <https://www.stadionwelt.de/news/63437/erste-epd-ein-wichtiges-signal-in-sachen-nachhaltigkeit> (aufgerufen am 24.03.2024).
- Stadionwelt (Hrsg.). (2024). *Das Sportplatzwelt-ABC: Sportboden (Indoor)*. <https://www.sportplatzwelt.de/fachwissen/25231/das-sportplatzwelt-abc-sportboden-indoor> (aufgerufen am 09.01.2025).
- Statistisches Amt der Landeshauptstadt München. (2020). *München in Zahlen 2020*. https://stadt.muenchen.de/dam/jcr:41a1a93d-b903-478f-afbb-d7f488ed906e/LHM_Stat.%20Faltkarte_deutsch_2020.pdf (aufgerufen am 18.01.2025).
- Südwestrundfunk (Hrsg.). (2022, 7. November). *ARD Themenwoche 2022 „WIR GESUCHT“: Umfrage zum Zusammenhalt: Das Wir-Gefühl in Deutschland leidet*. <https://www.swr.de/ard-themenwoche/wir-gesucht-umfrage-zusammenhalt-und-miteinander-in-deutschland-100.html> (aufgerufen am 09.03.2024).
- u-wert.net GmbH (Hrsg.). (2024). *ubakus Bauteilkatalog*. <https://www.ubakus.de/bauteilkatalog/> (aufgerufen am 05.01.2025).
- Wallrodt, S. & Thieme, L. (2021). *Grundlagen für einen digitalen Sportstättenatlas: Entwicklung einer Systematik anhand von Parametern zur digitalen bundesweiten Erfassung von Sportstätten*. https://www.bisp.de/SharedDocs/Downloads/Publikationen/Publikationssuche_Sonderpublikationen/GrundlagenDigitalerSportstaettenatlas.pdf;jsessionid=6B33A512409CCC6C878D461E920D332F.internet961?__blob=publicationFile&v=6 (aufgerufen am 26.02.2024).
- Wetterich, J., Eckl, S. & Schabert, W. (2003). *Grundlagen zur Sportstättenentwicklung. Projektbericht. Beiträge zur Stadtentwicklung Rottenburg am Neckar*.

Anhang

A.1 Gebäudesteckbriefe der Fallbeispiele

Halle A – Baualtersklasse I (bis 1951)

Tabelle A- 1: Gebäudesteckbrief Halle A, Vergleichswerte nach BMWi & BMI, 2020 und BMVBS, 2011 (eigene Darstellung)

Allgemein					
Hallentyp	KSH		NRF gesamt [m ²]		444
Nutzung	Schulsporthalle, Vereinssport		NGF-GEG (beheizt) [m ²]		361
Baujahr	1941		davon Sporthallenfläche [m ²]		228
Sanierung	2011 (Sanierung inkl. Erweiterung)		Flächenanteil Sporthalle in %		0,63
			davon Nebenräume [m ²]		134
			BGF (gesamt) [m ²]		523
Vollgeschosse	1		lichte Höhe Sporthalle [m]		5,93
Beschreibung			Bruttorauminhalt [m ³]		2.411
Kellergeschoss	-		Nettovolumen (beheizt) [m ³]		1.639
Dachform	Walmdach		Thermische Hüllfläche [m ²]		1.242
Bauweise	Mauerwerk und Holztragwerk		Fassadenfläche [m ²] (AW, beheizt)		346
Gründung	Streifenfundament		Fensterfläche [m ²] (ohne Oberlichter, beheizt)		73
Kubatur	Flügelform		davon Sporthalle bzw. -räume [m ²]		70
A/V Verhältnis	0,76		davon Nebenräume [m ²]		3
Dachfläche [m ²]	587		Fensterflächenanteil		21%
		Ursprungs- zustand	Status quo	Sanierung	Neubau
Konstruktion					
Dach/oberste Geschossdecke	Vergleichswert Massiv/Holz- konstr. Dach 2,1/1,4- 2,6 OGD 2,1/0,8- 1,0	oberste Geschossdecke (Sporthalle), Flachdach (Nebenräume); Holzkonstruktion	Erneuerung und Dämmung oberste Geschossdecke	Zwischen- und Aufsparrendämmung oberste Geschossdecke / Aufsparrendämmung und Begrünung	
U-Wert Dach	[W/m ² K]	1,5	0,25	0,15	0,13
U-Wert OGD	[W/m ² K]	2,6	0,21	0,15	0,13
Außenwand	Vergleichswert 1,0-3,0, je nach Wand- aufbau	Mauerwerk, tlw. verkleidet		Außendämmung mit Hinterlüftung	
U-Wert Außenwand	[W/m ² K]	1,2; 2,0		0,15	0,15
Boden gegen Erdreich	Vergleichswert 1,0-2,3	Holzdielen, Stampfbeton, ungedämmt	Erneuerung Bodenplatte und Dämmung	Innendämmung mit Schaumglas	

				und Trittschall- dämmung	
U-Wert Boden gegen Erdreich	[W/m²K]	2,0	0,2-0,27	0,25	0,2
Fenster	Vergleichswert 2,9-5,0	Holzfenster einfach	Holzrahmen, Zweischeibe- nisoliervergla- sung	Dreifachvergla- sung, Rahmen optimiert	Dreifachvergla- sung, Rahmen optimiert
U-Wert Fenster	[W/m²K]	5,0	2,3	0,9	0,9
n ₅₀	[h-1]	4,5	4,5	1,3	0,5
q ₅₀	[mh-1]	6,0	6,0	1,7	0,6

TGA

Wärmeerzeugung	Gebälsekessel (Gas)	Brennwertkes- sel (Gas)	Wärmepumpe mit PV und Speicher	Wärmepumpe mit PV und Speicher
Wärmeübergabe	Luftheizung (Sporthalle)	Wandheizung (Sporthalle)	Fußbodenhei- zung	Fußbodenhei- zung
Warmwassersystem	zentral	zentral mit Speicher	zentral mit Speicher	zentral mit Speicher
Lüftung (Sporthalle)	mechanisch und Fensterlüf- tung	Fensterlüftung	mechanisch und Fensterlüf- tung	mechanisch und Fensterlüf- tung
Beleuchtung	LS-Lampen mit KVG	LED-Beleuch- tung	LED-Beleuch- tung mit Prä- senzmeldung	LED-Beleuch- tung mit Prä- senzmeldung
Photovoltaik			16 kWp in Süd- Ausrichtung auf Steildach	23 kWp in Süd- Ausrichtung auf Flachdach

Energetische Bilanzierung (nach GEG 2023)

Spez. Endenergiebe- darf (brennwert- bezogen)	Vergleichswert 400-600 [kWh/m²a]	733,90	341,38	23,30	18,31
davon Heizung	[kWh/m²a]	657,04	290,01	14,71	10,85
davon Warmwasser	[kWh/m²a]	41,07	37,37	2,52	1,99
davon Beleuchtung	[kWh/m²a]	17,15	6,67	0,00	0,00
davon Belüftung	[kWh/m²a]	12,65	7,32	6,07	5,46
Spez. Primärenergie- bedarf	[kWh/m²a]	752,86	355,30	41,94	32,96

Ökobilanzierung GWP (nach QNG)

KG 300 - C3-C4 - Alt- bestand	[kg CO ₂ - Äq./m² _{NRFA}]	-		1,267	-
KG 300 - A1-A3, B4, C3-C4	[kg CO ₂ - Äq./m² _{NRFA}]	5,952		4,650	8,407
KG 400 - Sockelbeitrag	[kg CO ₂ - Äq./m² _{NRFA}]	1,230		1,230	1,230
KG 400 - A1-A3, B4, C3-C4, PV anteilig	[kg CO ₂ - Äq./m² _{NRFA}]	0,314		2,128	2,553
B6.1 (Betrieb nach GEG)	[kg CO ₂ - Äq./m² _{NRFA}]	147,466		21,223	19,546
B6.2 (Betrieb, betriebs- bedingter und nicht re- gulierter Anteil)	[kg CO ₂ - Äq./m² _{NRFA}]	0,505		0,505	0,505
B6.3 (Energiebedarf der Nutzer)	[kg CO ₂ - Äq./m² _{NRFA}]	0,000		0,000	0,000
eigegenutzter Anteil erneuerbarer Energie	[kg CO ₂ - Äq./m² _{NRFA}]	0,000		-11,130	-11,673
Recyclingpotenzial (Modul D1)	[kg CO ₂ - Äq./m² _{NRFA}]	-1,722		-2,441	-3,929

an Dritte gelieferte erneuerbare Energie (Modul D2)	[kg CO ₂ -Äq./m ² _{NRFA}]	0,000		-4,994	-9,680
Ökobilanzierung PENRT (nach QNG)					
KG 300 - C3–C4 - Altbestand	[kWh/m ² _{NRFA}]	-		0,588	-
KG 300 - A1–A3, B4, C3–C4	[kWh/m ² _{NRFA}]	17,032		26,605	44,970
KG 400 - Sockelbeitrag	[kWh/m ² _{NRFA}]	4,110		4,110	4,110
KG 400 - A1–A3, B4, C3–C4, PV anteilig	[kWh/m ² _{NRFA}]	1,075		7,502	8,954
B6.1 (Betrieb nach GEG)	[kWh/m ² _{NRFA}]	671,631		74,265	68,397
B6.2 (Betrieb, betriebsbedingter und nicht regulierter Anteil)	[kWh/m ² _{NRFA}]	1,769		1,769	1,769
B6.3 (Energiebedarf der Nutzer)	[kWh/m ² _{NRFA}]	0,000		0,000	0,000
eigengenutzter Anteil erneuerbarer Energie	[kWh/m ² _{NRFA}]	0,000		-38,946	-40,845
Recyclingpotenzial (Modul D1)	[kWh/m ² _{NRFA}]	-6,355		-9,616	-16,267

Halle B – Baualtersklasse II (1951 bis 1977)

Tabelle A- 2: Gebäudesteckbrief Halle B, Vergleichswerte nach BMWi & BMI, 2020 und BMVBS, 2011 (eigene Darstellung)

Allgemein					
Hallentyp	ZFH	NRF gesamt [m ²]	1.266		
Nutzung	Schulsporthalle, Vereinssport	NGF-GEG (beheizt) [m ²]	1.266		
Baujahr	1970	davon Sporthallenfläche [m ²]	936		
Sanierung	1996, 2013	Flächenanteil Sporthalle in %	0,74		
		davon Nebenräume [m ²]	330		
		BGF (gesamt) [m ²]	1.320		
Vollgeschosse	1	lichte Höhe Sporthalle [m]	7,75		
Beschreibung		Bruttorauminhalt [m ³]	9.913		
Kellergeschoss	-	Nettovolumen (beheizt) [m ³]	7.927		
Dachform	Flachdach	Thermische Hüllfläche [m ²]	3.686		
Bauweise	Holzständerbauweise mit Faserbetonplatten, Holztragwerk	Fassadenfläche [m ²] (AW, beheizt)	1.047		
Gründung	Streifenfundament	Fensterfläche [m ²] (ohne Oberlichter, beheizt)	316		
Kubatur	Anbauform	davon Sporthalle bzw. -räume [m ²]	287		
A/V Verhältnis	0,46	davon Nebenräume [m ²]	29		
Dachfläche [m ²]	1.308	Fensterflächenanteil	30%		
		Ursprungszustand	Status quo	Sanierung	Neubau
Konstruktion					
Dach/oberste Geschossdecke	Vergleichswert Massiv/Holzkonstr. Dach 1,3/0,8-1,4 OGD 0,6-2,1/0,6-0,7	oberste Geschossdecke (Sporthalle); Flachdach (Nebenräume); Holzkonstruktion	Dämmung Flachdach Nebenräume und oberste Geschossdecke	Zwischen- und Aufsparrendämmung mit Begrünung	
U-Wert Dach	[W/m ² K]	0,63	0,3	0,15	0,13
U-Wert OGD	[W/m ² K]	0,70	0,33	0,15	0,13
Außenwand	Vergleichswert 0,5-1,4, je nach Wandaufbau	Holzständerkonstruktion, Eternitplatten		Gefachdämmung und Außendämmung, vorgehängte Faserzementplatten	
U-Wert Außenwand	[W/m ² K]	0,51; 0,53		0,15	0,15
		Mauerwerk		WDVS	
U-Wert Außenwand	[W/m ² K]	1,8		0,15	0,15
Boden gegen Erdreich	Vergleichswert 0,6-1,2	Sportboden, Stahlbeton, kaum gedämmt	Dämmeinlage unter Sportboden	Innendämmung mit Schaumglas und Trittschalldämmung	
U-Wert Boden gegen Erdreich	[W/m ² K]	0,9; 2,5	0,61; 2,5	0,25	0,2

Fenster	Vergleichswert 2,7-4,3	Holzrahmen, zweifach	Holzrahmen, Isolierverglasung	Dreifachverglasung, Rahmen optimiert	
U-Wert Fenster	[W/m²K]	2,7	1,3	0,9	0,9
		Lichtband Polycarbonat		Optimierte Profilfassade	
U-Wert Fenster	[W/m²K]	3,00		0,9	0,9
		Lichtkuppel	Erneuerung Lichtkuppel	Dreischaliges Polycarbonat, Wärmedämmter Rahmen	
U-Wert Fenster	[W/m²K]	3,5	1,9	1,1	1,1
n ₅₀	[h-1]	2,8	2,8	0,8	0,3
q ₅₀	[mh-1]	6,0	6,0	1,7	0,6

TGA

Wärmeerzeugung	Gebläsekessel (Gas)	Niedertemperaturkessel (Gas) BJ 1995	Wärmepumpe mit PV und Speicher	Wärmepumpe mit PV und Speicher
Wärmeübergabe	Luftheizung (Sporthalle)		Fußbodenheizung	Fußbodenheizung
Warmwassersystem	zentral mit Speicher		zentral mit Speicher	zentral mit Speicher
Lüftung (Sporthalle)	mechanisch und Fensterlüftung		mechanisch und Fensterlüftung	mechanisch und Fensterlüftung
Beleuchtung	LS-Lampen mit EVG	Präsenzmelder	LED-Beleuchtung mit Präsenzmeldung	LED-Beleuchtung mit Präsenzmeldung
Photovoltaik			87 kWp in Süd-Ausrichtung auf Flachdach	87 kWp in Süd-Ausrichtung auf Flachdach

Energetische Bilanzierung (nach GEG 2023)

Spez. Endenergiebedarf (brennwert-bezogen)	Vergleichswert 400-600 [kWh/m²a]	406,73	329,20	17,36	14,79
davon Heizung	[kWh/m²a]	343,04	272,47	11,55	9,61
davon Warmwasser	[kWh/m²a]	37,19	36,61	1,07	1,06
davon Beleuchtung	[kWh/m²a]	15,24	11,86	0,00	0,00
davon Belüftung	[kWh/m²a]	8,26	8,26	4,75	4,12
Spez. Primärenergiebedarf	[kWh/m²a]	420,23	344,04	31,25	26,62

Ökobilanzierung GWP (nach QNG)

KG 300 - C3-C4 - Altbestand	[kg CO ₂ -Äq./m² _{NRFA}]	-		1,618	-
KG 300 - A1-A3, B4, C3-C4	[kg CO ₂ -Äq./m² _{NRFA}]	5,622		3,819	7,818
KG 400 - Sockelbeitrag	[kg CO ₂ -Äq./m² _{NRFA}]	1,230		1,230	1,230
KG 400 - A1-A3, B4, C3-C4, PV anteilig	[kg CO ₂ -Äq./m² _{NRFA}]	0,297		2,735	2,685
B6.1 (Betrieb nach GEG)	[kg CO ₂ -Äq./m² _{NRFA}]	101,841		22,888	21,388
B6.2 (Betrieb, betriebsbedingter und nicht regulierter Anteil)	[kg CO ₂ -Äq./m² _{NRFA}]	0,372		0,372	0,372

B6.3 (Energiebedarf der Nutzer)	[kg CO ₂ -Äq./m ² _{NRFA}]	0,048		0,048	0,048
eigengenutzter Anteil erneuerbarer Energie	[kg CO ₂ -Äq./m ² _{NRFA}]	0,000		-13,689	-13,434
Recyclingpotenzial (Modul D1)	[kg CO ₂ -Äq./m ² _{NRFA}]	-1,533		-2,479	-3,488
an Dritte gelieferte erneuerbare Energie (Modul D2)	[kg CO ₂ -Äq./m ² _{NRFA}]	0,000		-14,207	-14,471
Ökobilanzierung PENRT (nach QNG)					
KG 300 - C3–C4 - Altbestand	[kWh/m ² _{NRFA}]	-		0,737	-
KG 300 - A1–A3, B4, C3–C4	[kWh/m ² _{NRFA}]	29,989		27,499	41,377
KG 400 - Sockelbeitrag	[kWh/m ² _{NRFA}]	4,110		4,110	4,110
KG 400 - A1–A3, B4, C3–C4, PV anteilig	[kWh/m ² _{NRFA}]	1,003		9,706	9,526
B6.1 (Betrieb nach GEG)	[kWh/m ² _{NRFA}]	459,440		80,089	74,839
B6.2 (Betrieb, betriebsbedingter und nicht regulierter Anteil)	[kWh/m ² _{NRFA}]	1,303		1,303	1,303
B6.3 (Energiebedarf der Nutzer)	[kWh/m ² _{NRFA}]	0,168		0,168	0,168
eigengenutzter Anteil erneuerbarer Energie	[kWh/m ² _{NRFA}]	0,000		-47,901	-47,007
Recyclingpotenzial (Modul D1)	[kWh/m ² _{NRFA}]	-6,201		-9,600	-14,419

Halle C – Baualtersklasse II (1951 bis 1977)

Tabelle A- 3: Gebäudesteckbrief Halle C, Vergleichswerte nach BMWi & BMI, 2020 und BMVBS, 2011 (eigene Darstellung)

Allgemein					
Hallentyp	DFH	NRF gesamt [m ²]		2.372	
Nutzung	Schulsporthalle, Vereinssport, Wettkämpfe	NGF-GEG (beheizt) [m ²]		2.296	
Baujahr	1971	davon Sporthallenfläche [m ²]		1.553	
Sanierung	2019	Flächenanteil Sporthalle in %		0,68	
		davon Nebenräume [m ²]		743	
		BGF (gesamt) [m ²]		2.496	
Vollgeschosse	1	lichte Höhe Sporthalle [m]		7,30	
Beschreibung	Luftraum Tribüne	Bruttorauminhalt [m ³]		16.744	
Kellergeschoss	-	Nettovolumen (beheizt) [m ³]		14.399	
Dachform	Flachdach	Thermische Hüllfläche [m ²]		6.035	
Bauweise	Porenbeton und Mero-Raumtragwerk	Fassadenfläche [m ²] (AW, beheizt)		1.600	
Gründung	Streifenfundament	Fensterfläche [m ²] (ohne Oberlichter, beheizt)		394	
Kubatur	Anbauform	davon Sporthalle bzw. -räume [m ²]		360	
A/V Verhältnis	0,42	davon Nebenräume [m ²]		34	
Dachfläche [m ²]	1.901	Fensterflächenanteil		25%	
		Ursprungszustand	Status quo	Sanierung	Neubau
Konstruktion					
Dach/oberste Geschossdecke	Vergleichswert Massiv/Holzkonstr. Dach 1,3/0,8-1,4 OGD 0,6-2,1/0,6-0,7	Flachdach (Sporthalle und Nebenräume), Holzkonstruktion	Aufdachdämmung Flachdach	Aufachdämmung und Begrünung	
U-Wert Dach	[W/m ² K]	0,8	0,24	0,15	0,13
Außenwand	Vergleichswert 0,5-1,4, je nach Wandaufbau	Porenbeton (-bauplatten)		WDVS	
U-Wert Außenwand	[W/m ² K]	0,6; 0,7		0,15	0,15
Boden gegen Erdreich	Vergleichswert 0,6-1,2	Sportboden, Stahlbeton, kaum gedämmt		Innendämmung mit Schaumglas und Trittschalldämmung	
U-Wert Boden gegen Erdreich	[W/m ² K]	0,6; 1,0; 1,2		0,25	0,2
Fenster	Vergleichswert 2,7-4,3	Holzrahmen, zweifach		Holzfenster, Dreifachverglasung, Rahmen optimiert	
U-Wert Fenster	[W/m ² K]	2,7		0,9	0,9

		Glasbausteine	Profilitfassade	Optimierte Pro- filitfassade	
U-Wert Fenster	[W/m²K]	2,8	1,2	0,9	0,9
		Lichtkuppel	Dreischaliges Polycarbonat, Wärmege- dämmter Rah- men	Dreischaliges Polycarbonat, Wärmege- dämmter Rah- men	
U-Wert Fenster	[W/m²K]	3,5	1,6	1,1	1,1
n ₅₀	[h-1]	2,5	2,5	0,7	0,3
q ₅₀	[mh-1]	6,0	6,0	1,7	0,6

TGA

Wärmeerzeugung		Gebläsekessel (Gas)	Erneuerung Brennwertkes- sel (Gas) BJ 1994	Wärmepumpe mit PV und Speicher	Wärmepumpe mit PV und Speicher
Wärmeübergabe		Luftheizung (Sporthalle)		Fußbodenhei- zung	Fußbodenhei- zung
Warmwassersystem		zentral mit Speicher		zentral mit Speicher	zentral mit Speicher
Lüftung (Sporthalle)		mechanisch und Fensterlüf- tung		mechanisch und Fensterlüf- tung	mechanisch und Fensterlüf- tung
Beleuchtung		LS-Lampen mit EVG	LED-Beleuch- tung mit Prä- senzmeldung in Sanitärberei- chen	LED-Beleuch- tung mit Prä- senzmeldung	LED-Beleuch- tung mit Prä- senzmeldung
Photovoltaik				135 kWp in Ost/West-Aus- richtung auf Flachdach	135 kWp in Ost/West-Aus- richtung auf Flachdach

Energetische Bilanzierung (nach GEG 2023)

Spez. Endenergieie- bedarf (brennwert- bezogen)	Vergleichswert 400-600 [kWh/m²a]	373,23	283,45	19,16	16,44
davon Heizung	[kWh/m²a]	321,38	233,43	13,84	11,15
davon Warmwasser	[kWh/m²a]	26,90	23,36	1,44	1,44
davon Beleuchtung	[kWh/m²a]	17,64	16,34	0,09	0,09
davon Belüftung	[kWh/m²a]	7,32	7,32	3,79	3,77
Spez. Primärenergie- bedarf	[kWh/m²a]	391,11	301,75	34,38	29,48

Ökobilanzierung GWP (nach QNG)

KG 300 - C3-C4 - Alt- bestand	[kg CO ₂ - Äq./m² _{NRFA}]	-		0,490	-
KG 300 - A1-A3, B4, C3-C4	[kg CO ₂ - Äq./m² _{NRFA}]	6,146		4,111	6,837
KG 400 - Sockelbeitrag	[kg CO ₂ - Äq./m² _{NRFA}]	1,230		1,230	1,230
KG 400 - A1-A3, B4, C3-C4, PV anteilig	[kg CO ₂ - Äq./m² _{NRFA}]	0,267		2,335	2,308
B6.1 (Betrieb nach GEG)	[kg CO ₂ - Äq./m² _{NRFA}]	92,064		20,876	19,341
B6.2 (Betrieb, betriebs- bedingter und nicht re- gulierter Anteil)	[kg CO ₂ - Äq./m² _{NRFA}]	0,372		0,372	0,372

B6.3 (Energiebedarf der Nutzer)	[kg CO ₂ -Äq./m ² _{NRFA}]	0,027		0,027	0,027
eigengenutzter Anteil erneuerbarer Energie	[kg CO ₂ -Äq./m ² _{NRFA}]	0,000		-11,018	-10,917
Recyclingpotenzial (Modul D1)	[kg CO ₂ -Äq./m ² _{NRFA}]	-1,186		-1,649	-3,020
an Dritte gelieferte erneuerbare Energie (Modul D2)	[kg CO ₂ -Äq./m ² _{NRFA}]	0,000		-10,830	-10,934
Ökobilanzierung PENRT (nach QNG)					
KG 300 - C3–C4 - Altbestand	[kWh/m ² _{NRFA}]	-		0,323	-
KG 300 - A1–A3, B4, C3–C4	[kWh/m ² _{NRFA}]	32,534		28,747	37,333
KG 400 - Sockelbeitrag	[kWh/m ² _{NRFA}]	4,110		4,110	4,110
KG 400 - A1–A3, B4, C3–C4, PV anteilig	[kWh/m ² _{NRFA}]	0,910		8,308	8,197
B6.1 (Betrieb nach GEG)	[kWh/m ² _{NRFA}]	413,530		73,049	67,679
B6.2 (Betrieb, betriebsbedingter und nicht regulierter Anteil)	[kWh/m ² _{NRFA}]	1,303		1,303	1,303
B6.3 (Energiebedarf der Nutzer)	[kWh/m ² _{NRFA}]	0,093		0,093	0,093
eigengenutzter Anteil erneuerbarer Energie	[kWh/m ² _{NRFA}]	0,000		-38,555	-38,202
Recyclingpotenzial (Modul D1)	[kWh/m ² _{NRFA}]	-4,675		-6,560	-12,307

Halle D – Baualtersklasse III (1978 bis 1994)

Tabelle A- 4: Gebäudesteckbrief Halle D, Vergleichswerte nach BMWi & BMI, 2020 und BMVBS, 2011 (eigene Darstellung)

Allgemein					
Hallentyp	EFH	NRF gesamt [m²]		700	
Nutzung	Schulsporthalle, Vereinssport	NGF-GEG (beheizt) [m²]		670	
Baujahr	1984	davon Sporthallenfläche [m²]		446	
Sanierung	2001	Flächenanteil Sporthalle in %		0,67	
		davon Nebenräume [m²]		224	
		BGF (gesamt) [m²]		777	
Vollgeschosse	1	lichte Höhe Sporthalle [m]		5,54	
Beschreibung		Bruttorauminhalt [m³]		4.565	
Kellergeschoss	-	Nettovolumen (beheizt) [m³]		3.669	
Dachform	Satteldach	Thermische Hüllfläche [m²]		2.198	
Bauweise	Mauerwerk (tlw. Klinker) und Holztragwerk	Fassadenfläche [m²] (AW, beheizt)		634	
Gründung	Streifenfundament und Einzelköcher	Fensterfläche [m²] (ohne Oberlichter, beheizt)		139	
Kubatur	Umbauform	davon Sporthalle bzw. -räume [m²]		89	
A/V Verhältnis	0,60	davon Nebenräume [m²]		50	
Dachfläche [m²]	813	Fensterflächenanteil		22%	
		Ursprungszustand	Status quo	Sanierung	Neubau
Konstruktion					
Dach/oberste Geschossdecke	Vergleichswert Massiv/Holzkonstr. Dach 0,4-0,6/0,5-0,7 OGD 0,3-0,6/0,3-0,4	Steildach, Holzkonstruktion mit Pfetten (Sporthalle und Nebenräume)		Zwischen- und Aufsparrendämmung	
U-Wert Dach	[W/m²K]	0,43		0,15	0,13
Außenwand	Vergleichswert 0,4-0,8, je nach Wandaufbau	Mauerwerk, tlw. zweischalig mit Sichtmauerwerk		Außendämmung mit WDVS	
U-Wert Außenwand	[W/m²K]	0,85		0,15	0,15
Boden gegen Erdreich	Vergleichswert 0,4-0,8	Stahlbeton, gedämmt		Innendämmung mit Schaumglas und Trittschalldämmung	
U-Wert Boden gegen Erdreich	[W/m²K]	0,39; 0,46		0,25	0,2
Fenster	Vergleichswert 2,7-4,3	Holzrahmen, Isolierverglasung		Holzfenster, Dreifachverglasung, Rahmen optimiert	
U-Wert Fenster	[W/m²K]	2,7		0,9	0,9

A.1 Gebäudesteckbriefe der Fallbeispiele

n ₅₀	[h-1]	3,6	3,6	1,0	0,4
q ₅₀	[mh-1]	6,0	6,0	1,7	0,6

TGA

Wärmeerzeugung	Niedertemperaturkessel (Gas)	Erneuerung Heizkessel (Brennwertkessel)	Wärmepumpe mit PV und Speicher	Wärmepumpe mit PV und Speicher
Wärmeübergabe	Fußbodenheizung (Sporthalle)		Fußbodenheizung	Fußbodenheizung
Warmwassersystem	zentral mit Speicher		zentral mit Speicher	zentral mit Speicher
Lüftung (Sporthalle)	Fensterlüftung		mechanisch und Fensterlüftung	mechanisch und Fensterlüftung
Beleuchtung	LS-Lampen mit EVG		LED-Beleuchtung mit Präsenzmeldung	
Photovoltaik			69 kWp in Ost/West-Ausrichtung auf Steildach	65 kWp in Ost/West-Ausrichtung auf Flachdach

Energetische Bilanzierung (nach GEG 2023)

Spez. Endenergiebedarf (brennwert-bezogen)	Vergleichswert 250-450 [kWh/m²a]	389,48	348,41	16,09	14,25
davon Heizung	[kWh/m²a]	336,51	295,78	11,63	9,68
davon Warmwasser	[kWh/m²a]	32,84	32,49	0,57	0,68
davon Beleuchtung	[kWh/m²a]	14,20	14,20	0,00	0,00
davon Belüftung	[kWh/m²a]	5,93	5,93	3,89	3,89
Spez. Primärenergiebedarf	[kWh/m²a]	407,31	366,62	28,96	25,64

Ökobilanzierung GWP (nach QNG)

KG 300 - C3-C4 - Altbestand	[kg CO ₂ -Äq./m² _{NRFA}]	-		1,531	-
KG 300 - A1-A3, B4, C3-C4	[kg CO ₂ -Äq./m² _{NRFA}]	8,296		3,389	6,616
KG 400 - Sockelbeitrag	[kg CO ₂ -Äq./m² _{NRFA}]	1,230		1,230	1,230
KG 400 - A1-A3, B4, C3-C4, PV anteilig	[kg CO ₂ -Äq./m² _{NRFA}]	0,209		3,091	2,948
B6.1 (Betrieb nach GEG)	[kg CO ₂ -Äq./m² _{NRFA}]	94,723		22,488	21,042
B6.2 (Betrieb, betriebsbedingter und nicht regulierter Anteil)	[kg CO ₂ -Äq./m² _{NRFA}]	0,505		0,505	0,505
B6.3 (Energiebedarf der Nutzer)	[kg CO ₂ -Äq./m² _{NRFA}]	0,000		0,000	0,000
eigengenutzter Anteil erneuerbarer Energie	[kg CO ₂ -Äq./m² _{NRFA}]	0,000		-14,088	-13,652
Recyclingpotenzial (Modul D1)	[kg CO ₂ -Äq./m² _{NRFA}]	-2,233		-1,952	-3,210
an Dritte gelieferte erneuerbare Energie (Modul D2)	[kg CO ₂ -Äq./m² _{NRFA}]	0,000		-23,012	-21,797

Ökobilanzierung PENRT (nach QNG)					
KG 300 - C3–C4 - Altbestand	[kWh/m ² _{NRFA}]	-		0,677	-
KG 300 - A1–A3, B4, C3–C4	[kWh/m ² _{NRFA}]	32,110		14,314	37,768
KG 400 - Sockelbeitrag	[kWh/m ² _{NRFA}]	4,110		4,110	4,110
KG 400 - A1–A3, B4, C3–C4, PV anteilig	[kWh/m ² _{NRFA}]	0,707		10,940	10,430
B6.1 (Betrieb nach GEG)	[kWh/m ² _{NRFA}]	426,040		78,691	73,629
B6.2 (Betrieb, betriebsbedingter und nicht regulierter Anteil)	[kWh/m ² _{NRFA}]	1,769		1,769	1,769
B6.3 (Energiebedarf der Nutzer)	[kWh/m ² _{NRFA}]	0,000		0,000	0,000
eigengenutzter Anteil erneuerbarer Energie	[kWh/m ² _{NRFA}]	0,000		-49,297	-47,771
Recyclingpotenzial (Modul D1)	[kWh/m ² _{NRFA}]	-9,034		-7,631	-13,420

Halle E – Baualtersklasse IV (1995 bis 2020)

Tabelle A- 5: Gebäudesteckbrief Halle E, Vergleichswerte nach BMWi & BMI, 2020 und BMVBS, 2011 (eigene Darstellung)

Allgemein					
Hallentyp	EFH	NRF gesamt [m ²]		887	
Nutzung	Schulsporthalle, Vereinssport	NGF-GEG (beheizt) [m ²]		841	
Baujahr	2013	davon Sporthallenfläche [m ²]		470	
Sanierung	-	Flächenanteil Sporthalle in %		0,56	
		davon Nebenräume [m ²]		371	
		BGF (gesamt) [m ²]		967	
Vollgeschosse	2	lichte Höhe Sporthalle [m]		5,80	
Beschreibung	abgesenkt	Bruttorauminhalt [m ³]		5.123	
Kellergeschoss	1	Nettovolumen (beheizt) [m ³]		4.005	
Dachform	Flachdach	Thermische Hüllfläche [m ²]		2.217	
Bauweise	Stahlbeton, Mauerwerk und Holztragwerk	Fassadenfläche [m ²] (AW, beheizt)		729	
Gründung	Plattenfundament	Fensterfläche [m ²] (ohne Oberlichter, beheizt)		275	
Kubatur	Anbauform	davon Sporthalle bzw. -räume [m ²]		207	
A/V Verhältnis	0,55	davon Nebenräume [m ²]		68	
Dachfläche [m ²]	685	Fensterflächenanteil		38%	
		Ursprungs- zustand	Status quo	Sanierung	Neubau
Konstruktion					
Dach/oberste Geschossdecke	Vergleichswert Massiv/Holzkonstr. Dach 0,2-0,3 OGD 0,2-0,3	Flachdach, Holzkonstruktion (Sporthalle und Nebenräume)			
U-Wert Dach	[W/m ² K]	0,15		0,15	0,13
Außenwand	Vergleichswert 0,4-0,7, je nach Wandaufbau	Stahlbeton gedämmt gg. Erdreich		Außendämmung mit WDVS / Erneuerung Perimeterdämmung	
U-Wert Außenwand	[W/m ² K]	0,23 / 0,28		0,23 / 0,25	0,2
Vorhangfassade	Vergleichswert 1,8-2,2	Pfosten-Riegel-Fassade (Dreifachverglasung)		Optimierung Pfosten-Riegel-Fassade (Dreifachverglasung)	
U-Wert Außenwand	[W/m ² K]	1,0		0,9	0,9
Boden gegen Erdreich	Vergleichswert 0,5-0,6	Stahlbeton gedämmt		Innendämmung mit Mineralwolle	
U-Wert Boden gegen Erdreich	[W/m ² K]	0,3		0,25	0,2

Fenster	Vergleichswert 1,2-1,9	Alurahmen, Zweischeibe- nisoliervergla- sung		Alurahmen, Dreifachvergla- sung, Rahmen optimiert	
U-Wert Fenster	[W/m²K]	1,3		0,9	0,9
		Dachfenster Al- urahmen, Zweischeibe- nisoliervergla- sung		Alurahmen, Dreifachvergla- sung, Rahmen optimiert	
U-Wert Fenster	[W/m²K]	1,3		0,9	0,9
n ₅₀	[h-1]	3,0		0,9	0,3
q ₅₀	[mh-1]	5,4		1,7	0,6

TGA

Wärmeerzeugung	Brennwertkes- sel (Gas)		Wärmepumpe mit PV und Speicher	Wärmepumpe mit PV und Speicher
Wärmeübergabe	Strahlungshei- zung (Sport- halle)		Fußbodenhei- zung	Fußbodenhei- zung
Warmwassersystem	zentral mit Speicher		zentral mit Speicher	zentral mit Speicher
Lüftung (Sporthalle)	mechanisch und Fensterlüf- tung		mechanisch und Fensterlüf- tung	mechanisch und Fensterlüf- tung
Beleuchtung	LS-Lampe mit EVG		LED-Beleuch- tung mit Prä- senzmeldung	LED-Beleuch- tung mit Prä- senzmeldung
Photovoltaik	6,5 kWp in Südausrich- tung auf Dachshed		61 kWp in Süd- ausrichtung auf Flachdach	61 kWp in Süd- ausrichtung auf Flachdach

Energetische Bilanzierung (nach GEG 2023)

Spez. Endenergiebe- darf (brennwert- bezogen)	Vergleichswert 200-300 [kWh/m²a]	171,76		14,96	12,76
davon Heizung	[kWh/m²a]	132,26		11,50	9,30
davon Warmwasser	[kWh/m²a]	23,49		0,34	0,34
davon Beleuchtung	[kWh/m²a]	6,49		0,00	0,00
davon Belüftung	[kWh/m²a]	9,52		3,13	3,13
Spez. Primärenergie- bedarf	[kWh/m²a]	181,08		26,94	22,97

Ökobilanzierung GWP (nach QNG)

KG 300 - C3-C4 - Alt- bestand	[kg CO ₂ - Äq./m² _{NRFA}]	-		3,740	-
KG 300 - A1-A3, B4, C3-C4	[kg CO ₂ - Äq./m² _{NRFA}]	14,099		3,549	12,192
KG 400 - Sockelbeitrag	[kg CO ₂ - Äq./m² _{NRFA}]	1,230		1,230	1,230
KG 400 - A1-A3, B4, C3-C4, PV anteilig	[kg CO ₂ - Äq./m² _{NRFA}]	1,399		2,610	2,552
B6.1 (Betrieb nach GEG)	[kg CO ₂ - Äq./m² _{NRFA}]	46,615		18,740	17,162
B6.2 (Betrieb, betriebs- bedingter und nicht re- gulierter Anteil)	[kg CO ₂ - Äq./m² _{NRFA}]	1,160		1,160	1,160

B6.3 (Energiebedarf der Nutzer)	[kg CO ₂ -Äq./m ² _{NRFA}]	0,000		0,000	0,000
eigengenutzter Anteil erneuerbarer Energie	[kg CO ₂ -Äq./m ² _{NRFA}]	-3,139		-11,215	-10,859
Recyclingpotenzial (Modul D1)	[kg CO ₂ -Äq./m ² _{NRFA}]	-2,680		-3,015	-2,772
an Dritte gelieferte erneuerbare Energie (Modul D2)	[kg CO ₂ -Äq./m ² _{NRFA}]	0,000		-17,039	-17,408
Ökobilanzierung PENRT (nach QNG)					
KG 300 - C3–C4 - Altbestand	[kWh/m ² _{NRFA}]	-		0,677	-
KG 300 - A1–A3, B4, C3–C4	[kWh/m ² _{NRFA}]	32,110		14,314	37,768
KG 400 - Sockelbeitrag	[kWh/m ² _{NRFA}]	4,110		4,110	4,110
KG 400 - A1–A3, B4, C3–C4, PV anteilig	[kWh/m ² _{NRFA}]	0,707		10,940	10,430
B6.1 (Betrieb nach GEG)	[kWh/m ² _{NRFA}]	426,040		78,691	73,629
B6.2 (Betrieb, betriebsbedingter und nicht regulierter Anteil)	[kWh/m ² _{NRFA}]	1,769		1,769	1,769
B6.3 (Energiebedarf der Nutzer)	[kWh/m ² _{NRFA}]	0,000		0,000	0,000
eigengenutzter Anteil erneuerbarer Energie	[kWh/m ² _{NRFA}]	0,000		-49,297	-47,771
Recyclingpotenzial (Modul D1)	[kWh/m ² _{NRFA}]	-9,034		-7,631	-13,420

Halle F – Baualtersklasse IV (1995 bis 2020)

Tabelle A- 6: Gebäudesteckbrief Halle F, Vergleichswerte nach BMWi & BMI, 2020 und BMVBS, 2011 (eigene Darstellung)

Allgemein					
Hallentyp	DFH	NRF gesamt [m²]		2.198	
Nutzung	Schulsporthalle, Vereinssport, Wettkämpfe, Fitnessraum	NGF-GEG (beheizt) [m²]		2.198	
Baujahr	2015	davon Sporthallenfläche [m²]		1.215	
Sanierung	2017	Flächenanteil Sporthalle in %		0,55	
lichte Höhe Sporthalle	7,00	davon Nebenräume [m²]		983	
		BGF (gesamt) [m²]		2.480	
Vollgeschosse	1	lichte Höhe Sporthalle [m]		7,00	
Beschreibung	Tlw. abgesenkt	Bruttorauminhalt [m³]		18.113	
Kellergeschoss	-	Nettovolumen (beheizt) [m³]		13.151	
Dachform	Flachdach	Thermische Hüllfläche [m²]		6.124	
Bauweise	Stahlbeton, Mauerwerk und Holztragwerk	Fassadenfläche [m²] (AW, beheizt)		1.276	
Gründung	Streifenfundament	Fensterfläche [m²] (ohne Oberlichter, beheizt)		523	
Kubatur	Umbauform	davon Sporthalle bzw. -räume [m²]		467	
A/V Verhältnis	0,47	davon Nebenräume [m²]		56	
Dachfläche [m²]	2.484	Fensterflächenanteil		41%	
		Ursprungszustand	Status quo	Sanierung	Neubau
Konstruktion					
Dach/oberste Geschossdecke	Vergleichswert Massiv/Holzkonstr. Dach 0,2-0,3 OGD 0,2-0,3	Flachdach mit Blechverkleidung (Sport-halle), Flachdach (Nebenräume); Holzkonstruktion		Dachdämmung mit Mineralwolle bzw. PU-Schaum	
U-Wert Dach	[W/m²K]	0,2		0,15	0,13
Außenwand	Vergleichswert 0,4-0,7, je nach Wandaufbau	tlw. Mauerwerk, Stahlbeton; Holzständerkonstruktion, gedämmt		Außendämmung mit WDVS / Außendämmung mit Hinterlüftung	
U-Wert Außenwand	[W/m²K]	0,2 / 0,3		0,15	0,15
		Stahlbeton gedämmt gg. Erdreich		Erneuerung Perimeterdämmung	
U-Wert Außenwand	[W/m²K]	0,28		0,25	0,20
Boden gegen Erdreich	Vergleichswert 0,5-0,6	Stahlbeton gedämmt		Innendämmung mit Mineralwolle	
U-Wert Boden gegen Erdreich	[W/m²K]	0,23 / 0,3		0,23 / 0,25	0,2

Fenster	Vergleichswert 1,2-1,9	Alurahmen, Dreifachverglasung		Dreifachverglasung, Rahmen optimiert	
U-Wert Fenster	[W/m²K]	1,1		0,9	0,9
		Profilitfassade		Optimierte Profilitfassade	
U-Wert Fenster	[W/m²K]	1,2		0,9	0,9
n ₅₀	[h-1]	0,3		0,8	0,3
q ₅₀	[mh-1]	0,5		1,7	0,6

TGA

Wärmeerzeugung		Wärmepumpe (Luft-Wasser) und Brennwert- kessel (Gas)		Wärmepumpe mit PV und Speicher	Wärmepumpe mit PV und Speicher
Wärmeübergabe		Strahlungshei- zung (Sport- halle)		Fußbodenhei- zung	Fußbodenhei- zung
Warmwassersystem		zentral mit Speicher		zentral mit Speicher	zentral mit Speicher
Lüftung (Sporthalle)		mechanisch und Fensterlüf- tung		mechanisch und Fensterlüf- tung	mechanisch und Fensterlüf- tung
Beleuchtung		LED-Beleuch- tung		LED-Beleuch- tung mit Prä- senzmeldung	LED-Beleuch- tung mit Prä- senzmeldung
Photovoltaik			76 kWp Süd- ausrichtung auf Flachdach	100 kWp Süd- ausrichtung auf Flachdach	100 kWp Süd- ausrichtung auf Flachdach

Energetische Bilanzierung (nach GEG 2023)

Spez. Endenergiebe- darf (brennwert- bezogen)	Vergleichswert 200-300 [kWh/m²a]	147,32	137,75	23,02	20,72
davon Heizung	[kWh/m²a]	104,04	103,32	15,75	13,71
davon Warmwasser	[kWh/m²a]	33,21	33,02	3,11	2,89
davon Beleuchtung	[kWh/m²a]	8,77	0,98	0,24	0,19
davon Belüftung	[kWh/m²a]	1,31	0,43	3,93	3,93
Spez. Primärenergie- bedarf	[kWh/m²a]	158,20	140,99	41,44	37,29

Ökobilanzierung GWP (nach QNG)

KG 300 - C3-C4 - Alt- bestand	[kg CO ₂ - Äq./m² _{NRFA}]	-		1,657	-
KG 300 - A1-A3, B4, C3-C4	[kg CO ₂ - Äq./m² _{NRFA}]	10,362		3,029	7,039
KG 400 - Sockelbeitrag	[kg CO ₂ - Äq./m² _{NRFA}]	1,230		1,230	1,230
KG 400 - A1-A3, B4, C3-C4, PV anteilig	[kg CO ₂ - Äq./m² _{NRFA}]	0,330		2,321	2,511
B6.1 (Betrieb nach GEG)	[kg CO ₂ - Äq./m² _{NRFA}]	38,176		23,760	22,744
B6.2 (Betrieb, betriebs- bedingter und nicht re- gulierter Anteil)	[kg CO ₂ - Äq./m² _{NRFA}]	0,638		0,638	0,638
B6.3 (Energiebedarf der Nutzer)	[kg CO ₂ - Äq./m² _{NRFA}]	0,300		0,300	0,300
eigengenutzter Anteil erneuerbarer Energie	[kg CO ₂ - Äq./m² _{NRFA}]	0,000		-11,848	-12,077

Recyclingpotenzial (Modul D1)	[kg CO ₂ -Äq./m ² _{NRFA}]	-4,497		-4,731	-3,432
an Dritte gelieferte erneuerbare Energie (Modul D2)	[kg CO ₂ -Äq./m ² _{NRFA}]	0,000		-6,237	-6,562
Ökobilanzierung PENRT (nach QNG)					
KG 300 - C3–C4 - Altbestand	[kWh/m ² _{NRFA}]	-		0,822	-
KG 300 - A1–A3, B4, C3–C4	[kWh/m ² _{NRFA}]	35,480		20,960	38,450
KG 400 - Sockelbeitrag	[kWh/m ² _{NRFA}]	4,110		4,110	4,110
KG 400 - A1–A3, B4, C3–C4, PV anteilig	[kWh/m ² _{NRFA}]	0,988		8,186	8,868
B6.1 (Betrieb nach GEG)	[kWh/m ² _{NRFA}]	169,945		83,142	79,587
B6.2 (Betrieb, betriebsbedingter und nicht regulierter Anteil)	[kWh/m ² _{NRFA}]	2,234		2,234	2,234
B6.3 (Energiebedarf der Nutzer)	[kWh/m ² _{NRFA}]	1,098		1,098	1,098
eigengenutzter Anteil erneuerbarer Energie	[kWh/m ² _{NRFA}]	0,000		-41,460	-42,260
Recyclingpotenzial (Modul D1)	[kWh/m ² _{NRFA}]	-13,362		-14,114	-14,701

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

Im Folgenden sind alle bilanzierten Konstruktionen aufgeführt. Diese sind in der Reihenfolge der Baualtersklassen bzw. Hallen geordnet und sämtliche Konstruktionen des Ursprungszustands beschrieben. Wurden im Rahmen des Status quo oder der Sanierungsvariante Bauteile angepasst, sind die geänderten Bauteile ebenfalls aufgeführt.

Übersicht über die bilanzierten opaken Baukonstruktionen

Bei der Bilanzierung der Bauteile wird je nach Anwendung ein Anstrich (auf Putz oder Gipskarton), eine Lasur (auf Holz) oder Fliesenkleber (bei Fliesen) berücksichtigt. Im Rahmen des Status quo oder der Sanierungsvariante weitergenutzte Bauteilschichten sind in grau ersichtlich.

Tabelle A- 7: Übersicht über die bilanzierten opaken Konstruktionen inklusive der spezifischen Materialkennwerte und Zuordnung des Baustoffs für die Ökobilanzierung des Ursprungszustands, Status quo und der Sanierungsvariante (eigene Darstellung)

Halle	Variante	Bauteilname	Baualters- klasse	Materialbezeichnung GEG-Berechnung	Dicke [mm]	λ -Wert [W/mK]	Literaturquelle / Bemerkung	Zuordnung Baustoff nach QNG-Ökobilanzierung –Re- chenwerte 2023
A	Ursprungszustand	Außenwand Sporthalle	I	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1	in Anlehnung an Ettrich et al., 2011, Tabelle 3.1 und BMVBS, 2011	Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1800	510	0,81		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
A	Ursprungszustand	Außenwand Sporthalle, Schindeln	I	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1	in Anlehnung an Ettrich et al., 2011, Tabelle 3.1	Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1800	510	0,81		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - stark belüftet	30	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - stark belüftet	30	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				Holzschindelabdeckung (ubakus), dreilagig	60	0,14		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)

A	Ursprungszustand	Außenwand Nebenräume	I	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1	in Anlehnung an Ettrich et al., 2011, Tabelle 3.1 und BMVBS, 2011	Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1800	250	0,81		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
A	Ursprungszustand	Boden Nebenräume, Fliesen	I	Fliesen (keramisch, ubakus)	12	1,2	Pläne	Steinzeugfliesen glasiert
				DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	50	1,4		Zementestrich
				Strohschüttung (ubakus)	10	0,06		Baustroh
				DIN EN ISO 10456 Beton mittl. Rohdichte 1800	150	1,15		Transportbeton C20/25
A	Ursprungszustand	Boden Nebenräume, Parkett	I	DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	24	0,13	Pläne	Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	50	1,4		Zementestrich
				Strohschüttung (ubakus)	10	0,06		Baustroh
				DIN EN ISO 10456 Beton mittl. Rohdichte 1800	150	1,15		Transportbeton C20/25
A	Ursprungszustand	Boden Sporthalle	I	DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	24	0,13	Pläne	Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	50	1,4		Zementestrich
				Strohschüttung (ubakus)	10	0,06		Baustroh
				DIN EN ISO 10456 Beton mittl. Rohdichte 1800	150	1,15		Transportbeton C20/25
A	Ursprungszustand	Flachdach Nebenräume	I	DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - stark belüftet	110	0,13 / -	Annahme Holzkonstruktion, in Anlehnung an Ettrich et al., 2011, Tabelle 3.3 und BMVBS, 2011	Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	30	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				DIN 4108 5.7.1 Holzwolle Platten (WW) nach DIN EN 13168 NW 0,090	30	0,095		Holzwolle-Leichtbauplatte
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Metalle Kupfer	1	380		Edelstahlblech
A	Ursprungszustand	Innenwand Sporthalle	I	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1800	510	0,81		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
A	Ursprungszustand	Innenwand 11,5	I	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1800	115	0,81		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
A	Ursprungszustand	Innenwand 25	I	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1800	250	0,81		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
A	Ursprungszustand	Innenwand 25, Fliesen	I	Fliesen (keramisch, ubakus)	6	1,2		Steinzeugfliesen glasiert
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1800	250	0,81		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
A	Ursprungszustand	Innenwand 36,5	I	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1800	365	0,81		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
A	Ursprungszustand	Innenwand 36,5, Fliesen	I	Fliesen (keramisch, ubakus)	6	1,2		Steinzeugfliesen glasiert

				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1800	365	0,81		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
A	Ursprungszustand	Oberste Geschossdecke	I	DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - stark belüftet	120	0,13 / -	Pläne	Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	24	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
A	Status quo	Boden Sporthalle	I	DIN EN ISO 10456 Fußbodenbeläge Linoleum	4	0,17	Pläne	Linoleum
				DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe Sperrholz 500	12	0,13		Brettsperrholz (Durchschnitt DE)
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,02	0,2		Dampfbremse PE
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	15	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	15	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe OSB-Platten / Luftschicht - nicht belüftet	9	0,13		#NV
				DIN EN ISO 10456 Gummi Schaumgummi / Luftschicht - nicht belüftet	9	0,06		Gummi-Bodenbelag mit Schaumstoffbeschichtung EN 1816 / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	21	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	200	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,02	0,2		Dampfbremse PE
				DIN 4108 5.3 Extrudierter Polystyrolschaum nach DIN EN 13164 NW 0,034	120	0,035		EPS-Hartschaum für Decken/Böden

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

A	Status quo	Boden Nebenräume, Fliesen	I	Fliesen (keramisch, ubakus)	12	1,2	Pläne	Steinzeugfliesen glasiert
				DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	75	1,4		Zementestrich
				Diffusionshemmende und luft-dichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,02	0,2		Dampfbremse PE
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,039	20	0,04		Mineralwolle (Boden/Fas-sade/Flachdach/Innenaus-bau/Schrägdach)
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	200	2,5		Transportbeton C20/25, Beweh-rungsstahl (2 Prozent)
				Diffusionsdichte Schicht sd>1500m (z. B. Metallfolien oder Bitumenbahnen mit ALU-Einlage o.ä.)	0,02	0,17		Dampfbremse PE
				DIN 4108 5.3 Extrudierter Poly-styrolschaum nach DIN EN 13164 NW 0,039	140	0,04		XPS-Hartschaum für Decken/Bö-den und als Perimeterdämmung
A	Status quo	Boden Nebenräume, Linoleum	I	DIN EN ISO 10456 Fußbodenbe-läge Linoleum	4	0,17	Pläne	Linoleum
				DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	75	1,4		Zementestrich
				Diffusionshemmende und luft-dichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,02	0,2		Dampfbremse PE
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,039	20	0,041		Mineralwolle (Boden/Fas-sade/Flachdach/Innenaus-bau/Schrägdach)
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	200	2,5		Transportbeton C20/25, Beweh-rungsstahl (2 Prozent)
				Diffusionsdichte Schicht sd>1500m (z. B. Metallfolien oder Bitumenbahnen mit ALU-Einlage o.ä.)	0,02	0,17		Dampfbremse PE
				DIN 4108 5.3 Extrudierter Poly-styrolschaum nach DIN EN 13164 NW 0,039	140	0,04		XPS-Hartschaum für Decken/Bö-den und als Perimeterdämmung

A	Status quo	Oberste Geschossdecke	I	Herakustik Platte (ubakus)	15	0,035	Pläne	Holzwohle-Leichtbauplatte
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	120	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	24	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				DIN 4108 5.17 Wärmedämmung aus Mineralwolle nach DIN EN 14064-1 NW 0,034	120	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe OSB-Platten	22	0,1		Oriented Strand Board-OSB (Durchschnitt DE)
A	Status quo	Flachdach Nebenräume	I	DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	12,5	0,25	in Anlehnung an Tabelle 3.3 und Ettrich et al., 2011, FD-B 5 und BMVBS, 2011	Gipsbauplatte (Feuerschutz)
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,02	0,2		Dampfbremse PE
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	30	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	110	0,13 / 0,035		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	24	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Metalle Kupfer	1	380		Edelstahlblech
A	Sanierung	Außenwand 25	I	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1800	250	0,81		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	210	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
A	Sanierung	Außenwand Sporthalle	I	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1800	510	0,81		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	200	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
A	Sanierung	Außenwand Sport-halle, Schindeln	I	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1800	510	0,81		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	230	0,13 / 0,035		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				Diffusionsoffene Fassadenbahn	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - stark belüftet	30	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - stark belüftet	30	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				Holzschindelabdeckung (ubakus), dreilagig	60	0,14		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
A	Sanierung	Boden Nebenräume	I	DIN EN ISO 10456 Fußbodenbeläge Linoleum	4	0,17	in Anlehnung an Sanierungsplanungen der LHM	Linoleum
				DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	50	1,4		Zementestrich

				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,039	20	0,04		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				Schaumglas Foamglas T3+	120	0,037		FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Beton mittl. Rohdichte 1800	150	1,15		Transportbeton C20/25
A	Sanierung	Boden Nebenräume, Fliesen	I	Fliesen (keramisch, ubakus)	12	1,2	in Anlehnung an Sanierungsplanungen der LHM	Steinzeugfliesen glasiert
				DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	50	1,4		Zementestrich
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,039	20	0,04		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				Schaumglas Foamglas T3+	120	0,037		FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Beton mittl. Rohdichte 1800	150	1,15		Transportbeton C20/25
A	Sanierung	Boden Sporthalle	I	DIN EN ISO 10456 Fußbodenbeläge Linoleum	4	0,17	in Anlehnung an Sanierungsplanungen der LHM	Linoleum
				DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe Sperrholz 500	12	0,13		Brettsperrholz (Durchschnitt DE)
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	15	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	15	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe OSB-Platten / Luftschicht - nicht belüftet	9	0,13		Oriented Strand Board-OSB (Durchschnitt DE) / Luftschicht

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

				DIN EN ISO 10456 Gummi Schaumgummi / Luftschicht - nicht belüftet	9	0,06		Gummi-Bodenbelag mit Schaum- stoffbeschichtung EN 1816 / Luft- schicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	21	0,13		Konstruktionsvollholz (Durch- schnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Schaumglas Foamglas T3+	140	0,13 / 0,037		Konstruktionsvollholz (Durch- schnitt DE) / FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Beton mittl. Rohdichte 1800	150	1,15		Transportbeton C20/25
A	Sanierung	Flachdach Neben- räume	I	DIN EN ISO 10456 Gipskarton- platten 900	12,5	0,25	in Anlehnung an INFORMATI- ONSDIENST HOLZ, 2019, Bauteil IIa	Gipsbauplatte (Feuerschutz)
				DIN EN ISO 10456 Gipskarton- platten 900	12,5	0,25		Gipsbauplatte (Feuerschutz)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	24	0,13		Konstruktionsvollholz (Durch- schnitt DE)
				Diffusionshemmende und luft- dichte Schicht (z. B. PE-Folie, feuchteadaptiv)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / DIN 4108 5.17 Wärmedämmung aus Mineralwolle nach DIN EN 14064-1 NW 0,034	110	0,13 / 0,035		Konstruktionsvollholz (Durch- schnitt DE) / Mineralwolle (Bo- den/Fassade/Flachdach/Innen- ausbau/Schrägdach)
				DIN EN ISO 10456 Holzwerk- stoffe OSB-Platten	25	0,13		Oriented Strand Board-OSB (Durchschnitt DE)
				DIN 4108 7.3.1 Bitumendachbah- nen nach DIN EN 13707	5	0,17		Bitumenbahnen V 60
				DIN 4108 7.3.1 Bitumendachbah- nen nach DIN EN 13707	5	0,17		Bitumenbahnen V 60
				DIN 4108 5.4 Polyurethan-Hart- schaum nach DIN EN 13165 NW 0,024	80	0,025		PU-Dämmplatten aus Block- schaumstoff
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4

				DIN EN ISO 10456 Gummi Ethylen-Propylenedien, Monomer (EPDM)	1,5	0,25		Dachbahnen EPDM
				Kunststoff-Vlies	1	0,23		PE/PP Vlies
				DIN 4108 8.1.1 Lose Schüttung, abgedeckt: Schaumlava, 1500	25	0,27		Lava Körnung
				Kunststoff-Vlies	1,3	0,23		PE/PP Vlies
				DIN EN ISO 10456 Erdreich Sand, Kies	80	2		Vegetationssubstrat
A	Sanierung	Innenwand 36,5, gg. unbeheizt	I	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1800	365	0,81		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	120	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
A	Sanierung	Innenwand 36,5, Fliesen, gg. unbeheizt	I	Fliesen (keramisch, ubakus)	6	1,2		Steinzeugfliesen glasiert
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1800	365	0,81		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	120	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

A	Sanierung	Innenwand Sporthalle, gg. unbeheizt	I	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1800	510	0,81		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	110	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenanbau/Schrägdach)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
A	Sanierung	Oberste Geschossdecke	I	DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	12,5	0,25	In Anlehnung an Dataholz.eu, 2024, Geschossdecke ddrtn04a	Gipsbauplatte (Feuerschutz)
				DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	12,5	0,25		Gipsbauplatte (Feuerschutz)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	24	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,031	120	0,13 / 0,032		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenanbau/Schrägdach)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	24	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	120	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenanbau/Schrägdach)
B	Ursprungszustand	Außenwand Nebenträume	II	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1	Pläne	Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1600	240	0,68		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel

B	Ursprungszustand	Außenwand Nebenräume	II	DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	16	0,13	Pläne	Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / DIN 4108 5.17 Wärmedämmung aus Mineralwolle nach DIN EN 14064-1 NW 0,044	60	0,13 / 0,045		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	80	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	22	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				IVPU Trennlage-Kraftpapier	0,2	0,17		Kraftpapier
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - stark belüftet	10	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				Faserzementplatte	8	0,58		Faserzementplatte (Fassade)
B	Ursprungszustand	Außenwand Sporthalle	II	DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe Sperrholz 700	10	0,17	Pläne	Furniersperrholz (Durchschnitt DE)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / DIN 4108 5.17 Wärmedämmung aus Mineralwolle nach DIN EN 14064-1 NW 0,044	60	0,13 / 0,045		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	80	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	22	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				IVPU Trennlage-Kraftpapier	0,2	0,17		Kraftpapier
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - stark belüftet	10	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				Faserzementplatte	8	0,58		Faserzementplatte (Fassade)
B	Ursprungszustand	Boden Nebenräume	II	DIN EN ISO 10456 Fußbodenbeläge Linoleum	4	0,17	Pläne	Linoleum
				DIN 4108 1.3.1 Gussasphaltestrich	30	0,9		Gussasphaltestrich
				DIN 4108 8.1.1 Lose Schüttung, abgedeckt: Blähschiefer	15	0,16		Blähschiefer
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	120	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

B	Ursprungszustand	Boden Nebenräume, Fliesen	II	Fliesen (keramisch, ubakus)	12	1,2	Pläne	Steinzeugfliesen glasiert
				DIN 4108 1.3.1 Gussasphaltestrich	30	0,9		Gussasphaltestrich
				DIN 4108 8.1.1 Lose Schüttung, abgedeckt: Blähschiefer	15	0,16		Blähschiefer
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	120	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
B	Ursprungszustand	Boden Sporthalle	II	DIN EN ISO 10456 Fußbodenbeläge Linoleum	4	0,17	Pläne	Linoleum
				DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe Sperrholz 500	16	0,13		Brettsperrholz (Durchschnitt DE)
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	17	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	15	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Gummi Schaumgummi / Luftschicht - nicht belüftet	8	0,06		Gummi-Bodenbelag mit Schaumstoffbeschichtung EN 1816 / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	15	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	10	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	120	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
B	Ursprungszustand	Flachdach Nebenräume	II	DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	16	0,25	Pläne	Gipsbauplatte (Feuerschutz)
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,044	60	0,045		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenanbau/Schrägdach)
				Luftschicht	325	-		Luftschicht

				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - stark belüftet	360	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	30	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Erdreich Sand, Kies	30	2		Vegetationssubstrat
B	Ursprungszustand	Innenwand 11,5	II	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1	Pläne	Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1600	115	0,68		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
B	Ursprungszustand	Innenwand 11,5, Fliesen	II	Fliesen (keramisch, ubakus)	12	1,2	Pläne	Steinzeugfliesen glasiert
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1600	115	0,68		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
B	Ursprungszustand	Innenwand 24	II	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1	Pläne	Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1600	240	0,68		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
B	Ursprungszustand	Innenwand 24, Fliesen beidseitig	II	Fliesen (keramisch, ubakus)	12	1,2	Pläne	Steinzeugfliesen glasiert

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1600	240	0,68		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				Fliesen (keramisch, ubakus)	12	1,2		Steinzeugfliesen glasiert
B	Ursprungszustand	Innenwand Sporthalle	II	DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe Sperrholz 700	10	0,17	Pläne	Furniersperrholz (Durchschnitt DE)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / DIN 4108 5.17 Wärmedämmung aus Mineralwolle nach DIN EN 14064-1 NW 0,044	60	0,13 / 0,045		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	80	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	15	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
B	Ursprungszustand	Oberste Geschossdecke	II	DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	16	0,25	Pläne	Gipsbauplatte (Feuerschutz)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,044	60	0,13 / 0,045		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - stark belüftet	60	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
B	Status quo	Oberste Geschossdecke	II	DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - stark belüftet	120	0,13 / -	Begehung	Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	24	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,02	0,2		Dampfbremse PE
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,044	120	0,045		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
B	Status quo	Flachdach Nebenräume	II	DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	12,5	0,25	Pläne	Gipsbauplatte (Feuerschutz)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - stark belüftet	360	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht

				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	30	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				DIN 4108 7.3.1 Bitumendachbahnen nach DIN EN 13707	5	0,17		Bitumenbahnen V 60
				DIN 4108 7.3.1 Bitumendachbahnen nach DIN EN 13707	5	0,17		Bitumenbahnen V 60
				DIN 4108 5.3 Extrudierter Polystyrolschaum nach DIN EN 13164 NW 0,044	120	0,045		XPS-Hartschaum für Decken/Böden und als Perimeterdämmung
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN 4108 8.1.1 Lose Schüttung, abgedeckt: Schaumlava, 1500	25	0,27		Lava Körnung
				Kunststoff-Vlies	3	0,23		PE/PP Vlies
				DIN 4108 8.1.3 Lose Schüttung, abgedeckt: Sand, Kies, Splitt (trocken)	30	0,7		Blähglas Körnung
B	Status quo	Boden Sporthalle	II	DIN EN ISO 10456 Fußbodenbeläge Linoleum	4	0,17	Pläne	Linoleum
				DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe Sperrholz 500	16	0,13		Brettsperrholz (Durchschnitt DE)
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,02	0,2		Dampfbremse PE
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	17	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	15	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Gummi Schaumgummi / Luftschicht - nicht belüftet	8	0,06		Gummi-Bodenbelag mit Schaumstoffbeschichtung EN 1816 / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	15	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	10	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / DIN 4108 5.10 Holzfaserdämmstoff nach DIN EN 13171 NW 0,045	25	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Holzfaserdämmplatte

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	120	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
B	Sanierung	Außenwand Nebenräume, Mauerwerk	II	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1	in Anlehnung an Sanierungsplanungen der LHM	Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1600	240	0,68		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	220	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
B	Sanierung	Außenwand Nebenräume	II	DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	16	0,13	in Anlehnung an Sanierungsplanungen der LHM	Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	140	0,13 / 0,035		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	22	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,031	110	0,13 / 0,032		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				Diffusionsoffene Fassadenbahn	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - stark belüftet	40	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				Faserzementplatte	8	0,58		Faserzementplatte (Fassade)
B	Sanierung	Außenwand Sporthalle	II	DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe OSB-Platten	18	0,13	in Anlehnung an Sanierungsplanungen der LHM	Oriented Strand Board-OSB (Durchschnitt DE)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,031	140	0,13 / 0,032		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)

				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	22	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,031	100	0,13 / 0,032		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innen-ausbau/Schrägdach)
				Diffusionsoffene Fassadenbahn	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - stark belüftet	40	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				Faserzementplatte	8	0,58		Faserzementplatte (Fassade)
B	Sanierung	Boden Nebenräume	II	DIN EN ISO 10456 Fußbodenbe-läge Linoleum	4	0,17	in Anlehnung an Sanierungspla-nungen der LHM	Linoleum
				DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	50	1,4		Zementestrich
				Diffusionshemmende und luft-dichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,039	20	0,04		Mineralwolle (Boden/Fas-sade/Flachdach/Innenaus-bau/Schrägdach)
				Schaumglas Foamglas T3+	110	0,037		FOAMGLAS® W+F und FOAM-GLAS® T3+
				DIN 4108 1.3.1 Gussasphal-testrich	30	0,9		Gussasphaltestrich
				DIN 4108 8.1.1 Lose Schüttung, abgedeckt: Blähschiefer	15	0,16		Blähschiefer
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	120	2,5		Transportbeton C20/25, Beweh-rungsstahl (2 Prozent)
B	Sanierung	Boden Nebenräume, Fliesen	II	Fliesen (keramisch, ubakus)	12	1,2	in Anlehnung an Sanierungspla-nungen der LHM	Steinzeugfliesen glasiert
				DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	50	1,4		Zementestrich
				Diffusionshemmende und luft-dichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,039	20	0,04		Mineralwolle (Boden/Fas-sade/Flachdach/Innenaus-bau/Schrägdach)

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

				Schaumglas Foamglas T3+	110	0,037		FOAMGLAS® W+F und FOAM-GLAS® T3+
				DIN 4108 1.3.1 Gussasphaltestrich	30	0,9		Gussasphaltestrich
				DIN 4108 8.1.1 Lose Schüttung, abgedeckt: Blähschiefer	15	0,16		Blähschiefer
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	120	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
B	Sanierung	Bodenplatte Sporthalle	II	DIN EN ISO 10456 Fußbodenbeläge Linoleum	4	0,17	in Anlehnung an Sanierungsplanungen der LHM	Linoleum
				DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe Sperrholz 500	15	0,13		Brettsperrholz (Durchschnitt DE)
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	15	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	15	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	9	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Gummi Schaumgummi / Luftschicht - nicht belüftet	9	0,06		Gummi-Bodenbelag mit Schaumstoffbeschichtung EN 1816 / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	21	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Schaumglas Foamglas T3+	140	0,13 / 0,037		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	120	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
B	Sanierung	Flachdach Nebenträume	II	DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	12,5	0,25		Gipsbauplatte (Feuerschutz)
				DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	12,5	0,25		Gipsbauplatte (Feuerschutz)

				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	360	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	30	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				DIN 4108 7.3.1 Bitumendachbahnen nach DIN EN 13707	5	0,17		Bitumenbahnen V 60
				DIN 4108 7.3.1 Bitumendachbahnen nach DIN EN 13707	5	0,17		Bitumenbahnen V 60
				DIN 4108 5.4 Polyurethan-Hartschaum nach DIN EN 13165 NW 0,023	140	0,024		PU-Dämmplatten aus Block-schaumstoff
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Gummi Ethylen-Propylenedien, Monomer (EPDM)	10	0,25		Dachbahnen EPDM
				DIN 4108 8.1.1 Lose Schüttung, abgedeckt: Schaumlava, 1500	25	0,27		Lava Körnung
				Kunststoff-Vlies	3	0,23		PE/PP Vlies
				DIN EN ISO 10456 Erdreich Sand, Kies	80	2		Vegetationssubstrat
B	Sanierung	Innenwand Sporthalle	II	Gipsfaserplatte (ubakus)	12,5	0,32	in Anlehnung an Sanierungsplanungen der LHM	Gipsfaserplatte (Dicke 0,01 m)
				DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe OSB-Platten	18	0,13		Oriented Strand Board-OSB (Durchschnitt DE)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / DIN 4108 5.17 Wärmedämmung aus Mineralwolle nach DIN EN 14064-1 NW 0,039	140	0,13 / 0,04		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				Gipsfaserplatte (ubakus)	12,5	0,32		Gipsfaserplatte (Dicke 0,01 m)
				Gipsfaserplatte (ubakus)	12,5	0,32		Gipsfaserplatte (Dicke 0,01 m)
B	Sanierung	Oberste Geschossdecke	II	DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	120	0,13	in Anlehnung an Sanierungsplanungen der LHM	Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	24	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	220	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN EN ISO 10456 Erdreich Sand, Kies	80	2		Vegetationssubstrat
C	Ursprungszustand	Außenwand Nebenräume	II	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1	Baubeschreibung	Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 2.3 Dampfgehärteter Porenbeton (700) nach DIN EN 12602	300	0,2		Porenbeton P4 05 bewehrt
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
C	Ursprungszustand	Außenwand Sporthalle		DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1	Pläne	Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 3.1.2 Porenbeton-Planbauplatten (Pppl) (400) , dünnfügig verlegt	150	0,13		Porenbeton P2 04 unbewehrt
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
C	Ursprungszustand	Boden Nebenräume	II	DIN EN ISO 10456 Fußbodenbeläge Linoleum	12	0,17	Pläne, in Anlehnung an BMVBS, 2011	Linoleum
				DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	50	1,4		Zementestrich
				DIN EN ISO 10456 Bitumen als Stoff	10	0,17		Bitumen Emulsion (40% Bitumen, 60% Wasser)
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	120	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
				DIN 4108 5.6 Schaumglas nach DIN EN 13167 NW 0,046	25	0,047		FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+
C	Ursprungszustand	Boden Nebenräume, Fliesen	II	Fliesen (keramisch, ubakus)	12	1,2	Pläne, in Anlehnung an BMVBS, 2011	Steinzeugfliesen glasiert
				DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	50	1,4		Zementestrich
				DIN EN ISO 10456 Bitumen als Stoff	10	0,17		Bitumen Emulsion (40% Bitumen, 60% Wasser)
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	120	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
				DIN 4108 5.6 Schaumglas nach DIN EN 13167 NW 0,046	25	0,047		FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+

C	Ursprungszustand	Boden Sporthalle	II	DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	17	0,13	Pläne, in Anlehnung an BMVBS, 2011	Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe Sperrholz 500	16	0,13		Brettsper Holz (Durchschnitt DE)
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	17	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	15	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Gummi Schaumgummi / Luftschicht - nicht belüftet	8	0,13 / -		Gummi-Bodenbelag mit Schaumstoffbeschichtung EN 1816 / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	15	0,06 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	10	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Bitumen als Stoff	10	0,17		Bitumen Emulsion (40% Bitumen, 60% Wasser)
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	120	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
				DIN 4108 5.6 Schaumglas nach DIN EN 13167 NW 0,046	25	0,047		FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+
C	Ursprungszustand	Decke	II	DIN EN ISO 10456 Fußbodenbeläge Linoleum	4	0,17	Pläne und in Anlehnung an Etrich et al., 2011	Linoleum
				DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	50	1,4		Zementestrich
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,039	40	0,04		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenanbau/Schrägdach)
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	150	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
C	Ursprungszustand	Flachdach Nebenräume	II	Herakustik Platte (ubakus)	35	0,095	Baubeschreibung, in Anlehnung an u-wert.net GmbH, 2024, Kaltdach	Holzwohle-Leichtbauplatte

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,039	30	0,13 / 0,04		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innen-ausbau/Schrägdach)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - stark belüftet	170	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe OSB-Platten	22	0,13		Oriented Strand Board-OSB (Durchschnitt DE)
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
		-		DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Erdreich Sand, Kies	50	2		Vegetationssubstrat
C	Ursprungszustand	Flachdach Sporthalle	II	Herakustik Platte (ubakus)	35	0,095	Baubeschreibung, in Anlehnung an u-wert.net GmbH, 2024, Kalt-dach	Holzwohle-Leichtbauplatte
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,039	30	0,13 / 0,04		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innen-ausbau/Schrägdach)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - stark belüftet	170	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe OSB-Platten	22	0,13		Oriented Strand Board-OSB (Durchschnitt DE)
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Erdreich Sand, Kies	50	2		Vegetationssubstrat

C	Ursprungszustand	Innenwand 10	II	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1	Pläne	Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.4 Hochlochziegel HLzW 1000 NM	100	0,29		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
C	Ursprungszustand	Innenwand 10, Fliesen beidseitig	II	Fliesen (keramisch, ubakus)	6	1,2	Pläne	Steinzeugfliesen glasiert
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.4 Hochlochziegel HLzW 1000 NM	100	0,29		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				Fliesen (keramisch, ubakus)	6	1,2		Steinzeugfliesen glasiert
C	Ursprungszustand	Innenwand 10, Fliesen	II	Fliesen (keramisch, ubakus)	6	1,2	Pläne	Steinzeugfliesen glasiert
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.4 Hochlochziegel HLzW 1000 NM	100	0,29		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
C	Ursprungszustand	Innenwand 17	II	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1	Pläne	Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.4 Hochlochziegel HLzW 1000 NM	170	0,29		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
C	Ursprungszustand	Innenwand 25	II	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1	Pläne	Kalkzement Putzmörtel

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

				DIN 4108 4.1.4 Hochlochziegel HLzW 1000 NM	250	0,29		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
C	Ursprungszustand	Innenwand 25, Fliesen beidseitig	II	Fliesen (keramisch, ubakus)	6	1,2	Pläne	Steinzeugfliesen glasiert
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.4 Hochlochziegel HLzW 1000 NM	250	0,29		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				Fliesen (keramisch, ubakus)	6	1,2		Steinzeugfliesen glasiert
C	Ursprungszustand	Innenwand 25, Fliesen	II	Fliesen (keramisch, ubakus)	6	1,2	Pläne	Steinzeugfliesen glasiert
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.4 Hochlochziegel HLzW 1000 NM	250	0,29		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
C	Ursprungszustand	Innenwand Sporthalle	II	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1	Pläne	Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 3.1.2 Porenbeton-Planbauplatten (Pppl) (400) , dünnfugig verlegt	150	0,13		Porenbeton P2 04 unbewehrt
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
C	Status quo	Flachdach Sporthalle	II	Herakustik Platte (ubakus)	20	0,09	Pläne	Holzwohle-Leichtbauplatte
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	200	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe OSB-Platten	22	0,13		Oriented Strand Board-OSB (Durchschnitt DE)

				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN 4108 5.2 Expandierter Polystyrolschaum nach DIN EN 13163 NW 0,034	160	0,035		EPS-Hartschaum für Decken/Böden und als Perimeterdämmung
				DIN 4108 7.3.1 Bitumendachbahnen nach DIN EN 13707	3,5	0,17		Bitumenbahnen V 60
				DIN EN ISO 10456 Dichtungstoffe Weichpolyvinylchlorid (PVC-P)	2,3	0,14		PVC-Dachbahnen
C	Sanierung	Außenwand Nebenträume	II	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 2.3 Dampfgehärteter Porenbeton (700) nach DIN EN 12602	300	0,2		Porenbeton P4 05 bewehrt
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	180	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
C	Sanierung	Außenwand Sporthalle	II	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 3.1.2 Porenbeton-Planbauplatten (Pppl) (400) , dünnfügig verlegt	150	0,13		Porenbeton P2 04 unbewehrt
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	190	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
C	Sanierung	Boden Nebenräume	II	DIN EN ISO 10456 Fußbodenbeläge Linoleum	4	0,17		Linoleum
				DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	50	1,4		Zementestrich
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,039	20	0,04		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				Schaumglas Foamglas T3+	100	0,037		FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	120	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
				DIN 4108 5.6 Schaumglas nach DIN EN 13167 NW 0,046	25	0,047		FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+
C	Sanierung	Boden Nebenräume, Fliesen, gg. unbeheizt	II	Fliesen (keramisch, ubakus)	12	1,2		Steinzeugfliesen glasiert
				DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	50	1,4		Zementestrich
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,039	20	0,04		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				Schaumglas Foamglas T3+	100	0,037		FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	120	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
				DIN 4108 5.6 Schaumglas nach DIN EN 13167 NW 0,046	25	0,047		FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+
C	Sanierung	Boden Sporthalle	II	DIN EN ISO 10456 Fußbodenbeläge Linoleum	4	0,17		Linoleum
				DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe Sperrholz 500	15	0,13		Brettsperrholz (Durchschnitt DE)

				Diffusionshemmende und luft-dichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	15	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	15	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	9	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Gummi Schaumgummi / Luftschicht - nicht belüftet	9	0,06		Gummi-Bodenbelag mit Schaumstoffbeschichtung EN 1816 / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	21	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Schaumglas Foamglas T3+	110	0,13 / 0,037		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	120	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
				DIN 4108 5.6 Schaumglas nach DIN EN 13167 NW 0,046	25	0,047		FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+
C	Sanierung	Decke	II	DIN EN ISO 10456 Fußbodenbeläge Linoleum	4	0,17		Linoleum
				DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	50	1,4		Zementestrich
				Diffusionshemmende und luft-dichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,039	40	0,04		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	150	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	100	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
C	Sanierung	Flachdach Sporthalle	II	DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	12,5	0,25	In Anlehnung an Aufdachdämmung, INFORMATIONSDIENST HOLZ, 2019, Ia; Gründach	Gipsbauplatte (Feuerschutz)
				DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	12,5	0,25		Gipsbauplatte (Feuerschutz)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	200	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe OSB-Platten	22	0,13		Oriented Strand Board-OSB (Durchschnitt DE)
				DIN 4108 7.3.1 Bitumendachbahnen nach DIN EN 13707	5	0,17		Bitumenbahnen V 60
				DIN 4108 7.3.1 Bitumendachbahnen nach DIN EN 13707	5	0,17		Bitumenbahnen V 60
				DIN 4108 5.4 Polyurethan-Hartschaum nach DIN EN 13165 NW 0,023	140	0,024		PU-Dämmplatten aus Block-schaumstoff
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Gummi Ethylen-Propylenedien, Monomer (EPDM)	1,5	0,25		Dachbahnen EPDM
				Kunststoff-Vlies	1	0,23		PE/PP Vlies
				DIN 4108 8.1.1 Lose Schüttung, abgedeckt: Schaumlava, 1500	25	0,27		Lava Körnung
				Kunststoff-Vlies	1,3	0,23		PE/PP Vlies
				DIN EN ISO 10456 Erdreich Sand, Kies	80	2		Vegetationssubstrat
C	Sanierung	Innenwand 25, gg. unbeheizt	II	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.4 Hochlochziegel HLzW 1000 NM	250	0,29		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel

				DIN 4108 5.17 Wärmedämmung aus Mineralwolle nach DIN EN 14064-1 NW 0,034	110	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
D	Ursprungszustand	Außenwand Nebenräume	III	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1	Pläne, Wärmeschutznachweis	Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.3 Hochlochziegel HLzA und HLzB 950 LM21/LM 36	365	0,38		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
D	Ursprungszustand	Außenwand Sporthalle	III	DIN 4108 4.1.1 Voll-, Hochloch-, Keramikklinker 1800	100	0,81	Pläne, Wärmeschutznachweis	Fassadenklinker
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.4 Hochlochziegel HLzW 950 NM	240	0,28		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
D	Ursprungszustand	Außenwand Sturzbe- reich	III	DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	10	0,13	Pläne	Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / DIN 4108 5.17 Wärmedämmung aus Mineralwolle nach DIN EN 14064-1 NW 0,044	80	0,13 / 0,045		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	120	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
D	Ursprungszustand	Boden Nebenräume	III	DIN EN ISO 10456 Fußbodenbeläge Linoleum	4	0,17	Pläne	Linoleum
				DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	30	1,4		Zementestrich
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN 4108 5.6 Schaumglas nach DIN EN 13167 NW 0,041	80	0,042		FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

				DIN 4108 8.1.3 Lose Schüttung, abgedeckt: Sand, Kies, Splitt (trocken)	10	0,7		Blähglas Körnung
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	100	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
D	Ursprungszustand	Boden Nebenräume, Estrich	III	Fliesen (keramisch, ubakus)	12	1,2	Pläne	Steinzeugfliesen glasiert
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN 4108 5.6 Schaumglas nach DIN EN 13167 NW 0,041	80	0,042		FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+
				DIN 4108 8.1.3 Lose Schüttung, abgedeckt: Sand, Kies, Splitt (trocken)	10	0,7		Blähglas Körnung
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	100	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
D	Ursprungszustand	Boden Nebenräume, Fliesen	III	Fliesen (keramisch, ubakus)	12	1,2	Pläne	Steinzeugfliesen glasiert
				DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	30	1,4		Zementestrich
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN 4108 5.6 Schaumglas nach DIN EN 13167 NW 0,041	80	0,042		FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+
				DIN 4108 8.1.3 Lose Schüttung, abgedeckt: Sand, Kies, Splitt (trocken)	10	0,7		Blähglas Körnung
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	100	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
D	Ursprungszustand	Boden Sporthalle	III	DIN EN ISO 10456 Fußbodenbeläge Linoleum	4	0,17	Pläne	Linoleum
				DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe Sperrholz 500	20	0,13		Brettsperrholz (Durchschnitt DE)
				DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe Sperrholz 500	20	0,13		Brettsperrholz (Durchschnitt DE)
				DIN EN ISO 10456 Gummi Schaumgummi	15	0,06		Gummi-Bodenbelag mit Schaumstoffbeschichtung EN 1816
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE

				Diffusionshemmende und luft-dichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	85	1,4		Zementestrich
				Diffusionshemmende und luft-dichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN 4108 5.6 Schaumglas nach DIN EN 13167 NW 0,046	80	0,047		FOAMGLAS® W+F und FOAM-GLAS® T3+
				DIN 4108 8.1.3 Lose Schüttung, abgedeckt: Sand, Kies, Splitt (tro-cken)	10	0,7		Blähglas Körnung
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	150	2,5		Transportbeton C20/25, Beweh-rungsstahl (2 Prozent)
D	Ursprungs-zustand	Innenwand 11,5	III	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1	Pläne	Kalkzement Putzmörtel
			III	DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1400	115	0,58		Mauerziegel (ungefüllt)
			III	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
D	Ursprungs-zustand	Innenwand 11,5, Flie-sen beidseitig	III	Fliesen (keramisch, ubakus)	12	1,2	Pläne	Steinzeugfliesen glasiert
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1400	115	0,58		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				Fliesen (keramisch, ubakus)	12	1,2		Steinzeugfliesen glasiert
D	Ursprungs-zustand	Innenwand 11,5, Flie-sen	III	Fliesen (keramisch, ubakus)	12	1,2	Pläne	Steinzeugfliesen glasiert
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1400	115	0,58		Mauerziegel (ungefüllt)

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
D	Ursprungszustand	Innenwand 24	III	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1	Pläne	Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1400	240	0,58		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
D	Ursprungszustand	Innenwand 24, Fliesen beidseitig	III	Fliesen (keramisch, ubakus)	12	1,2	Pläne	Steinzeugfliesen glasiert
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1400	240	0,58		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				Fliesen (keramisch, ubakus)	12	1,2		Steinzeugfliesen glasiert
D	Ursprungszustand	Innenwand 24, Fliesen	III	Fliesen (keramisch, ubakus)	12	1,2	Pläne	Steinzeugfliesen glasiert
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1400	240	0,58		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
D	Ursprungszustand	Satteldach	III	DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	20	0,13	Pläne, Wärmeschutznachweis, Baubeschreibung	Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / DIN 4108 5.17 Wärmedämmung aus Mineralwolle nach DIN EN 14064-1 NW 0,039	100	0,13 / 0,04		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)

				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - stark belüftet	60	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	24	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - stark belüftet	30	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - stark belüftet	30	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Dachziegelsteine Ton	10	1		Dachziegel
D	Sanierung	Außenwand Nebenräume	III	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.3 Hochlochziegel HLzA und HLzB 950 LM21/LM 36	365	0,38		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	200	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
D	Sanierung	Außenwand Sporthalle	III	DIN 4108 4.1.1 Voll-, Hochloch-, Keramikklinker 1800	100	0,81		Fassadenklinker
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.4 Hochlochziegel HLzW 950 NM	240	0,28		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	190	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
D	Sanierung	Außenwand Sturzbe- reich	III	DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	15	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / DIN 4108 5.17 Wärmedämmung aus Mineralwolle nach DIN EN 14064-1 NW 0,044	80	0,13 / 0,045		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innen- ausbau/Schrägdach)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	130	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				DIN 4108 5.17 Wärmedämmung aus Mineralwolle nach DIN EN 14064-1 NW 0,034	150	0,035		Mineralwolle (Boden/Fas- sade/Flachdach/Innen- ausbau/Schrägdach)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
D	Sanierung	Boden Nebenräume	III	DIN EN ISO 10456 Fußbodenbe- läge Linoleum	4	0,17		Linoleum
				DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	50	1,4		Zementestrich
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,039	20	0,04		Mineralwolle (Boden/Fas- sade/Flachdach/Innen- ausbau/Schrägdach)
				Schaumglas Foamglas T3+	60	0,037		FOAMGLAS® W+F und FOAM- GLAS® T3+
				DIN 4108 5.6 Schaumglas nach DIN EN 13167 NW 0,046	80	0,047		FOAMGLAS® W+F und FOAM- GLAS® T3+
				DIN 4108 8.1.3 Lose Schüttung, abgedeckt: Sand, Kies, Splitt (tro- cken)	10	0,7		Blähglas Körnung
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	100	2,5		Transportbeton C20/25, Beweh- rungsstahl (2 Prozent)
D	Sanierung	Boden Nebenräume, Fliesen	III	Fliesen (keramisch, ubakus)	12	1,2		Steinzeugfliesen glasiert
				DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	50	1,4		Zementestrich

				Diffusionshemmende und luft-dichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,039	20	0,04		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				Schaumglas Foamglas T3+	60	0,037		FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+
				DIN 4108 5.6 Schaumglas nach DIN EN 13167 NW 0,045	80	0,046		FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+
				DIN 4108 8.1.3 Lose Schüttung, abgedeckt: Sand, Kies, Splitt (trocken)	10	0,7		Blähglas Körnung
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	100	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
D	Sanierung	Boden Sporthalle	III	DIN EN ISO 10456 Fußbodenbeläge Linoleum	4	0,17		Linoleum
				DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe Sperrholz 500	12	0,13		Brettsper Holz (Durchschnitt DE)
				Diffusionshemmende und luft-dichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	15	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	15	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe OSB-Platten / Luftschicht - nicht belüftet	9	0,13 / -		Oriented Strand Board-OSB (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Gummi Schaumgummi / Luftschicht - nicht belüftet	9	0,06 / -		Gummi-Bodenbelag mit Schaumstoffbeschichtung EN 1816 / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	21	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Schaumglas Foamglas T3+	40	0,13 / 0,037		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+
				DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	85	1,4		Zementestrich
				Diffusionshemmende und luft-dichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

				Diffusionshemmende und luft-dichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN 4108 5.6 Schaumglas nach DIN EN 13167 NW 0,041	80	0,042		FOAMGLAS® W+F und FOAM-GLAS® T3+
				DIN 4108 8.1.3 Lose Schüttung, abgedeckt: Sand, Kies, Splitt (tro-cken)	10	0,7		Blähglas Körnung
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	150	2,5		Transportbeton C20/25, Beweh-rungsstahl (2 Prozent)
D	Sanierung	Innenwand 11,5, gg. unbeheizt	III	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischen Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1400	115	0,58		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischen Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	130	0,035		Mineralwolle (Boden/Fas-sade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischen Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
D	Sanierung	Innenwand 24, gg. unbeheizt	III	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischen Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1400	240	0,58		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischen Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	120	0,035		Mineralwolle (Boden/Fas-sade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischen Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
D	Sanierung	Satteldach	III	DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	20	0,13	In Anlehnung an Ettrich et al., 2011	Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)

				Diffusionshemmende und luft-dichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,039	100	0,13 / 0,04		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innen-ausbau/Schrägdach)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,031	60	0,13 / 0,032		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innen-ausbau/Schrägdach)
				DIN 4108 5.19 Wärmedämmung aus Polyurethan - und Polyisocyanurat -Hartschaum nach DIN EN 14318-1 NW 0,022	70	0,025		PU-Dämmplatten aus Block-schaumstoff
				Diffusionsoffene Fassadenbahn	0,2	0,2		
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - stark belüftet	30	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - stark belüftet	30	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Dachziegelsteine Ton	10	1		Dachziegel
E	Ursprungszustand	Außenwand Dachshed	IV	DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	200	0,13	Pläne	Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				DIN 4108 5.19 Wärmedämmung aus Polyurethan - und Polyisocyanurat -Hartschaum nach DIN EN 14318-1 NW 0,026	60	0,029		PU-Dämmplatten aus Block-schaumstoff
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
E	Ursprungszustand	Außenwand gegen Erdreich	IV	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1	Pläne	Kalkzement Putzmörtel
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	250	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
				Diffusionsdichte Schicht sd>1500m (z. B. Metallfolien oder Bitumenbahnen mit ALU-Einlage o.ä.)	5	0,17		Dampfbremse PE

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

				DIN 4108 5.3 Extrudierter Polystyrolschaum nach DIN EN 13164 NW 0,039	140	0,04		XPS-Hartschaum für Decken/Böden und als Perimeterdämmung
E	Ursprungszustand	Außenwand gegen Erdreich	IV	DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	250	2,5	Pläne	Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
				Diffusionsdichte Schicht sd>1500m (z. B. Metallfolien oder Bitumenbahnen mit ALU-Einlage o.ä.)	5	0,17		Dampfbremse PE
				DIN 4108 5.3 Extrudierter Polystyrolschaum nach DIN EN 13164 NW 0,039	140	0,04		XPS-Hartschaum für Decken/Böden und als Perimeterdämmung
E	Ursprungszustand	Außenwand Mauerwerk	IV	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1	Pläne	Kalkzement Putzmörtel
				POROTON-T9	365	0,09		Mauerziegel (Dämmstoff gefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
E	Ursprungszustand	Außenwand Sturzbe- reich	IV	DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	160	0,13	Pläne	Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				DIN 4108 5.3 Extrudierter Polystyrolschaum nach DIN EN 13164 NW 0,027	80	0,028		EPS-Hartschaum für Decken/Böden
				DIN EN ISO 10456 Metalle Aluminiumlegierungen	3	160		Aluminiumblech
E	Ursprungszustand	Boden Nebenräume	IV	DIN EN ISO 10456 Fußbodenbeläge Linoleum	4	0,17	Pläne, Heizlastberechnung	Linoleum
				DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	50	1,4		Zementestrich
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	800	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
				BASF Styrodur 3035 CS DIN 4108-4 Kat. 2 0,039 100mm	120	0,039		XPS-Dämmstoff
E	Ursprungszustand	Boden Nebenräume, Fliesen	IV	Fliesen (keramisch, ubakus)	12	1,2	Pläne, Heizlastberechnung	Steinzeugfliesen glasiert
				DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	50	1,4		Zementestrich

				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	800	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
				BASF Styrodur 3035 CS DIN 4108-4 Kat. 2 0,039 100mm	120	0,039		XPS-Dämmstoff
E	Ursprungszustand	Boden Sporthalle	IV	DIN EN ISO 10456 Fußbodenbeläge Linoleum	4	0,17	Pläne, Heizlastberechnung	Linoleum
				DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe Sperrholz 500	12	0,13		Brettsperrholz (Durchschnitt DE)
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	15	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	15	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe OSB-Platten / Luftschicht - nicht belüftet	9	0,13 / -		Oriented Strand Board-OSB (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Gummi Schaumgummi / Luftschicht - nicht belüftet	9	0,06 / -		Gummi-Bodenbelag mit Schaumstoffbeschichtung EN 1816 / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	21	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	800	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
				DIN 4108 5.3 Extrudierter Polystyrolschaum nach DIN EN 13164 NW 0,038	120	0,039		EPS-Hartschaum für Decken/Böden
E	Ursprungszustand	Flachdach Sporthalle	IV	DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	200	0,13	Pläne	Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

				DIN 4108 5.19 Wärmedämmung aus Polyurethan - und Polyisocyanurat -Hartschaum nach DIN EN 14318-1 NW 0,022	120	0,025		PU-Dämmplatten aus Block-schaumstoff
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Erdreich Sand, Kies	40	2		Vegetationssubstrat
E	Ursprungszustand	Flachdach Nebenräume, abgehängt	IV	DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900 / Luftschicht - nicht belüftet	12,5	0,25	Pläne	Gipsbauplatte (Feuerschutz) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	200	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN 4108 5.19 Wärmedämmung aus Polyurethan - und Polyisocyanurat -Hartschaum nach DIN EN 14318-1 NW 0,022	120	0,025		PU-Dämmplatten aus Block-schaumstoff
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				Kunststoff-Vlies	1	0,23		PE/PP Vlies
				DIN EN ISO 10456 Gummi Ethylen-Propylenedien, Monomer (EPDM)	1,5	0,25		Dachbahnen EPDM
				DIN 4108 8.1.1 Lose Schüttung, abgedeckt: Schaumlava, 1500	25	0,27		Lava Körnung
				Kunststoff-Vlies	1,3	0,23		PE/PP Vlies
E	Ursprungszustand	Steildach Dachshed	IV	DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	200	0,13	Pläne	Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				DIN 4108 5.19 Wärmedämmung aus Polyurethan - und Polyisocyanurat -Hartschaum nach DIN EN 14318-1 NW 0,022	60	0,025		PU-Dämmplatten aus Block-schaumstoff
				DIN EN ISO 10456 Metalle Stahl	1	50		Baustähle: Offene Walzprofile und Grobbleche

E	Ursprungszustand	Decke, Fliesen	IV	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1	Pläne, Heizlastberechnung	Kalkzement Putzmörtel
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	200	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
				DIN 4108 5.17 Wärmedämmung aus Mineralwolle nach DIN EN 14064-1 NW 0,034	70	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	50	1,4		Zementestrich
				Fliesen (keramisch, ubakus)	12	1,2		Steinzeugfliesen glasiert
E	Ursprungszustand	Innenwand verglast	IV	DIN EN ISO 10456 Glas Natronglas (einschl. Floatglas)	4	1	Pläne	Fensterglas einfach
E	Ursprungszustand	Innenwand 11,5	IV	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1	Pläne	Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1200	115	0,5		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
E	Ursprungszustand	Innenwand 17,5	IV	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1	Pläne	Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1200	175	0,5		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
E	Ursprungszustand	Innenwand 24	IV	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1	Pläne	Kalkzement Putzmörtel
			IV	DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1200	240	0,5		Mauerziegel (ungefüllt)
			IV	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
E	Ursprungszustand	Innenwand 11,5, Fliesen beidseitig	IV	Fliesen (keramisch, ubakus)	6	1,2	Pläne	Steinzeugfliesen glasiert

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1200	115	0,5		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				Fliesen (keramisch, ubakus)	6	1,2		Steinzeugfliesen glasiert
E	Ursprungszustand	Innenwand 11,5, Fliesen	IV	Fliesen (keramisch, ubakus)	6	1,2	Pläne	Steinzeugfliesen glasiert
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1200	115	0,5		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
E	Ursprungszustand	Innenwand 24, Fliesen	IV	Fliesen (keramisch, ubakus)	6	1,2	Pläne	Steinzeugfliesen glasiert
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1200	240	0,5		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
E	Ursprungszustand	Innenwand Stahlbeton	IV	DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	250	2,5	Pläne	Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
E	Ursprungszustand	Innenwand Stahlbeton, Fliesen	IV	DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	250	2,5	Pläne	Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				Fliesen (keramisch, ubakus)	6	1,2		Steinzeugfliesen glasiert

E	Sanierung	Außenwand Dachshed	IV	DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	200	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	80	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	90	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
E	Sanierung	Außenwand gegen Erdreich	IV	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	250	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
				DIN EN ISO 10456 Bitumen als Stoff	5	0,17		Bitumen Emulsion (40% Bitumen, 60% Wasser)
				DIN 4108 5.6 Schaumglas nach DIN EN 13167 NW 0,041	160	0,042		FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+
E	Sanierung	Außenwand gegen Erdreich	IV	DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	250	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
				DIN EN ISO 10456 Bitumen als Stoff	5	0,17		Bitumen Emulsion (40% Bitumen, 60% Wasser)
				DIN 4108 5.6 Schaumglas nach DIN EN 13167 NW 0,041	160	0,042		FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+
E	Sanierung	Außenwand Mauerwerk	IV	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				POROTON-T9	365	0,09		Mauerziegel (Dämmstoff gefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	80	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
E	Sanierung	Außenwand Sturzbe- reich	IV	Brettschichtholz (ubakus)	160	0,15		Brettschichtholz - Standardformen (Durchschnitt DE)

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

				DIN 4108 5.3 Extrudierter Polystyrolschaum nach DIN EN 13164 NW 0,027	80	0,028		EPS-Hartschaum für Decken/Böden
				DIN 4108 5.3 Extrudierter Polystyrolschaum nach DIN EN 13164 NW 0,027	70	0,028		EPS-Hartschaum für Decken/Böden
				DIN EN ISO 10456 Metalle Aluminiumlegierungen	1	160		Aluminiumblech
E	Sanierung	Boden Nebenräume	IV	DIN EN ISO 10456 Fußbodenbeläge Linoleum	4	0,17		Linoleum
				DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	50	1,4		Zementestrich
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN 4108 5.17 Wärmedämmung aus Mineralwolle nach DIN EN 14064-1 NW 0,039	20	0,04		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	800	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
				BASF Styrodur 3035 CS DIN 4108-4 Kat. 2 0,039 100mm	120	0,039		XPS-Dämmstoff
E	Sanierung	Boden Nebenräume, Fliesen	IV	Fliesen (keramisch, ubakus)	12	1,2		Steinzeugfliesen glasiert
				DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	50	1,4		Zementestrich
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN 4108 5.17 Wärmedämmung aus Mineralwolle nach DIN EN 14064-1 NW 0,039	20	0,04		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	800	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
				BASF Styrodur 3035 CS DIN 4108-4 Kat. 2 0,039 100mm	120	0,039		XPS-Dämmstoff
E	Sanierung	Steildach Dachshed	IV	DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	200	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)

				DIN 4108 5.19 Wärmedämmung aus Polyurethan - und Polyisocyanurat -Hartschaum nach DIN EN 14318-1 NW 0,022	60	0,025		PU-Dämmplatten aus Block-schaumstoff
				DIN 4108 5.19 Wärmedämmung aus Polyurethan - und Polyisocyanurat -Hartschaum nach DIN EN 14318-1 NW 0,022	70	0,025		PU-Dämmplatten aus Block-schaumstoff
				DIN EN ISO 10456 Metalle Stahl	1	50		Baustähle: Offene Walzprofile und Grobbleche
E	Sanierung	Decke, Fliesen	IV	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	60	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	200	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
				DIN 4108 5.17 Wärmedämmung aus Mineralwolle nach DIN EN 14064-1 NW 0,034	70	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				Diffusionshemmende und luft-dichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	50	1,4		Zementestrich
				Fliesen (keramisch, ubakus)	12	1,2		Steinzeugfliesen glasiert
E	Sanierung	Innenwand 11,5, gg. unbeheizt	IV	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1200	115	0,5		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	120	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
E	Sanierung	Innenwand 24, gg. unbeheizt	IV	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1200	240	0,5		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	120	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
F	Ursprungszustand	Außenwand gegen Erdreich	IV	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1	Bauteilkatalog	Kalkzement Putzmörtel
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1% Stahl) 2300	240	2,3		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (1 Prozent)
				DIN EN ISO 10456 Bitumen als Stoff	2	0,17		Bitumen Emulsion (40% Bitumen, 60% Wasser)
				DIN 4108 5.4 Polyurethan-Hartschaum nach DIN EN 13165 NW 0,029	100	0,03		PU-Dämmplatten aus Blockschaumstoff
F	Ursprungszustand	Außenwand Nebenträume	IV	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1	Bauteilkatalog	Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1200	240	0,5		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	120	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				Diffusionsoffene Fassadenbahn	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - stark belüftet	40	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	25	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)

F	Ursprungszustand	Außenwand Sporthalle	IV	DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	19	0,25	Bauteilkatalog	Gipsbauplatte (Feuerschutz)
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe Holzfaserplatten einschl. MDF 600	15	0,14		Holzwohle-Leichtbauplatte
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / DIN 4108 5.17 Wärmedämmung aus Mineralwolle nach DIN EN 14064-1 NW 0,039	200	0,13 / 0,04		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe OSB-Platten	15	0,13		Oriented Strand Board-OSB (Durchschnitt DE)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - stark belüftet	40	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Metalle Nichtrostender Stahl austenitisch	0,8	17		Baustähle: Offene Walzprofile und Grobbleche
F	Ursprungszustand	Außenwand Stahlbeton	IV	DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1% Stahl) 2300	240	2,3	Bauteilkatalog	Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (1 Prozent)
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	120	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				Diffusionsoffene Fassadenbahn	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - stark belüftet	40	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	25	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
F	Ursprungszustand	Boden Nebenräume	IV	DIN EN ISO 10456 Fußbodenbeläge Linoleum	4	0,17	Bauteilkatalog	Linoleum
				DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	60	1,4		Zementestrich
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN 4108 5.3 Extrudierter Polystyrolschaum nach DIN EN 13164 NW 0,034	60	0,035		EPS-Hartschaum für Decken/Böden
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1% Stahl) 2300	180	2,3		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (1 Prozent)

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

				DIN 4108 5.6 Schaumglas nach DIN EN 13167 NW 0,044	60	0,045		FOAMGLAS® W+F und FOAM-GLAS® T3+
F	Ursprungszustand	Boden Nebenräume, Fliesen	IV	Fliesen (keramisch, ubakus)	12	1,2	Bauteilkatalog	Steinzeugfliesen glasiert
				DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	60	1,4		Zementestrich
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN 4108 5.3 Extrudierter Polystyrolschaum nach DIN EN 13164 NW 0,034	60	0,035		EPS-Hartschaum für Decken/Böden
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1% Stahl) 2300	180	2,3		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (1 Prozent)
				DIN 4108 5.6 Schaumglas nach DIN EN 13167 NW 0,044	60	0,045		FOAMGLAS® W+F und FOAM-GLAS® T3+
F	Ursprungszustand	Boden Sporthalle	IV	DIN EN ISO 10456 Fußbodenbeläge Linoleum	4	0,17	Bauteilkatalog	Linoleum
				DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe Sperrholz 500	12	0,13		Brettsper Holz (Durchschnitt DE)
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	15	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	15	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe OSB-Platten / Luftschicht - nicht belüftet	9	0,13 / -		Oriented Strand Board-OSB (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Gummi Schaumgummi / Luftschicht - nicht belüftet	9	0,06 / -		Gummi-Bodenbelag mit Schaumstoffbeschichtung EN 1816 / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	21	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / DIN 4108 5.2 Expandierter Polystyrolschaum nach DIN EN 13163 NW 0,039	25	0,13 / 0,04		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / EPS-Hartschaum für Decken/Böden und als Perimeterdämmung

				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / DIN 4108 5.3 Extrudierter Polystyrolschaum nach DIN EN 13164 NW 0,034	60	0,13 / 0,035		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / XPS-Hartschaum für Decken/Böden und als Perimeterdämmung
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1% Stahl) 2300	200	2,3		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (1 Prozent)
				DIN 4108 5.6 Schaumglas nach DIN EN 13167 NW 0,044	60	0,045		FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+
F	Ursprungszustand	Flachdach Nebenräume	IV	DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	15	0,25	Bauteilkatalog	Gipsbauplatte (Feuerschutz)
				DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	25	0,25		Gipsbauplatte (Feuerschutz)
				Luftschicht	40	-		Luftschicht
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / DIN 4108 5.17 Wärmedämmung aus Mineralwolle nach DIN EN 14064-1 NW 0,034	200	0,13 / 0,035		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
-	-	-		DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - stark belüftet	40	-		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	20	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				DIN EN ISO 10456 Dichtungstoffe Weichpolyvinylchlorid (PVC-P)	1,2	0,14		PVC-Dachbahnen
				DIN EN ISO 10456 Gummi Ethylen-Propylenedien, Monomer (EPDM)	1,5	0,25		Dachbahnen EPDM
				Kunststoff-Vlies	1	0,23		PE/PP Vlies
				DIN 4108 8.1.1 Lose Schüttung, abgedeckt: Schaumlava, 1500	2	0,27		Lava Körnung
				Kunststoff-Vlies	1,3	0,23		PE/PP Vlies
				DIN EN ISO 10456 Erdreich Sand, Kies	100	2		Vegetationssubstrat
F	Ursprungszustand	Flachdach Sporthalle	IV	DIN EN ISO 10456 Metalle Stahl	1,6	50	Bauteilkatalog	Baustähle: Offene Walzprofile und Grobbleche

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

				Diffusionshemmende und luft-dichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,039	200	0,04		Mineralwolle (Boden/Fas-sade/Flachdach/Innenaus-bau/Schrägdach)
				DIN EN ISO 10456 Metalle Stahl	1	50		Baustähle: Offene Walzprofile und Grobbleche
F	Ursprungs-zustand	Innenwand, 11,5, Flie-sen beidseitig	IV	Fliesen (keramisch, ubakus)	6	1,2	Bauteilkatalog	Steinzeugfliesen glasiert
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1200	11,5	0,5		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
				Fliesen (keramisch, ubakus)	6	1,2		Steinzeugfliesen glasiert
F	Ursprungs-zustand	Innenwand, 11,5, Flie-sen	IV	Fliesen (keramisch, ubakus)	6	1,2	Bauteilkatalog	Steinzeugfliesen glasiert
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1200	11,5	0,5		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
F	Ursprungs-zustand	Innenwand, 17,5	IV	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1	Bauteilkatalog	Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1200	17,5	0,5		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
F	Ursprungs-zustand	Innenwand, 24	IV	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1	Bauteilkatalog	Kalkzement Putzmörtel

				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1200	24	0,5		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
F	Ursprungszustand	Innenwand, 24, Fliesen	IV	Fliesen (keramisch, ubakus)	6	1,2	Bauteilkatalog	Steinzeugfliesen glasiert
			IV	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
			IV	DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1200	24	0,5		Mauerziegel (ungefüllt)
			IV	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
F	Ursprungszustand	Innenwand, Stahlbeton	IV	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1	Bauteilkatalog	Kalkzement Putzmörtel
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	24	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
				DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
F	Sanierung	Außenwand gegen Erdreich	IV	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
			IV	DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1% Stahl) 2300	240	2,3		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (1 Prozent)
			IV	DIN EN ISO 10456 Bitumen als Stoff	2	0,17		Bitumen Emulsion (40% Bitumen, 60% Wasser)
			IV	DIN 4108 5.6 Schaumglas nach DIN EN 13167 NW 0,041	160	0,042		FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+
F	Sanierung	Außenwand Nebenträume	IV	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1		Kalkzement Putzmörtel
				DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1200	240	0,5		Mauerziegel (ungefüllt)
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	120	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenanbau/Schrägdach)

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	90	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				Diffusionsoffene Fassadenbahn	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - stark belüftet	40	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	25	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
F	Sanierung	Außenwand Sporthalle	IV	DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	19	0,25		Gipsbauplatte (Feuerschutz)
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe Holzfaserplatten einschl. MDF 600	15	0,14		Holzwohle-Leichtbauplatte
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / DIN 4108 5.17 Wärmedämmung aus Mineralwolle nach DIN EN 14064-1 NW 0,039	200	0,13 / 0,04		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe OSB-Platten	15	0,13		Oriented Strand Board-OSB (Durchschnitt DE)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / DIN 4108 5.17 Wärmedämmung aus Mineralwolle nach DIN EN 14064-1 NW 0,034	110	0,13 / 0,035		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				Diffusionsoffene Fassadenbahn	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - stark belüftet	40	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Metalle Nichtrostender Stahl austenitisch	0,8	17		Baustähle: Offene Walzprofile und Grobbleche
F	Sanierung	Außenwand Stahlbeton	IV	DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1% Stahl) 2300	240	2,3		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (1 Prozent)
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	120	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	110	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				Diffusionsoffene Fassadenbahn	0,2	0,2		Dampfbremse PE

				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - stark belüftet	40	0,13 / -		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	25	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
F	Sanierung	Boden Nebenräume	IV	DIN EN ISO 10456 Fußbodenbeläge Linoleum	4	0,17	In Anlehnung an Ettrich et al., 2011, EB-B 3	Linoleum
				DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	50	1,4		Zementestrich
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,039	30	0,04		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN 4108 5.3 Extrudierter Polystyrolschaum nach DIN EN 13164 NW 0,034	60	0,035		EPS-Hartschaum für Decken/Böden
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1% Stahl) 2300	180	2,3		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (1 Prozent)
				DIN 4108 5.6 Schaumglas nach DIN EN 13167 NW 0,044	60	0,045		FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+
F	Sanierung	Boden Nebenräume, Fliesen	IV	Fliesen (keramisch, ubakus)	12	1,2	In Anlehnung an Ettrich et al., 2011, EB-B 3	Steinzeugfliesen glasiert
				DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	50	1,4		Zementestrich
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,039	30	0,04		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN 4108 5.3 Extrudierter Polystyrolschaum nach DIN EN 13164 NW 0,034	60	0,035		EPS-Hartschaum für Decken/Böden
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1% Stahl) 2300	180	2,3		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (1 Prozent)
				DIN 4108 5.6 Schaumglas nach DIN EN 13167 NW 0,044	60	0,045		FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

F	Sanierung	Dach Nebenräume	IV	DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	12,5	0,25		Gipsbauplatte (Feuerschutz)
				DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	25	0,25		Gipsbauplatte (Feuerschutz)
				Luftschicht	40	-		Luftschicht
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	200	0,13 / 0,035		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	40	0,13 / 0,035		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
				DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	20	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
				DIN 4108 7.3.1 Bitumendachbahnen nach DIN EN 13707	4	0,17		Bitumenbahnen V 60
				DIN 4108 7.3.1 Bitumendachbahnen nach DIN EN 13707	4	0,17		Bitumenbahnen V 60
				DIN 4108 5.4 Polyurethan-Hartschaum nach DIN EN 13165 NW 0,024	30	0,025		PU-Dämmplatten aus Blockschaumstoff
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
				DIN EN ISO 10456 Gummi Ethylen-Propylenedien, Monomer (EPDM)	1,5	0,25		Dachbahnen EPDM
				Kunststoff-Vlies	1	0,23		PE/PP Vlies
				DIN 4108 8.1.1 Lose Schüttung, abgedeckt: Schaumlava, 1500	25	0,27		Lava Körnung
F	Sanierung	Dach Sporthalle	IV	DIN EN ISO 10456 Metalle Stahl	1,6	50		Baustähle: Offene Walzprofile und Grobbleche
				Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,2	0,2		Dampfbremse PE

				DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,039	200	0,04		Mineralwolle (Boden/Fas- sade/Flachdach/Innenaus- bau/Schrägdach)
				DIN 4108 5.17 Wärmedämmung aus Mineralwolle nach DIN EN 14064-1 NW 0,034	60	0,035		Mineralwolle (Boden/Fas- sade/Flachdach/Innenaus- bau/Schrägdach)
				DIN EN ISO 10456 Metalle Stahl	1	50		Baustähle: Offene Walzprofile und Grobbleche
				DIN EN ISO 10456 Erdreich Sand, Kies	40	2		Vegetationssubstrat
				DIN EN ISO 10456 Gipskarton- platten 900	15	0,25		Gipsbauplatte (Feuerschutz)

Tabelle A- 8: Übersicht über die bilanzierten opaken Konstruktionen inklusive der spezifischen Materialkennwerte und Zuordnung des Baustoffs für die Ökobilanzierung der Neubauvariante (eigene Darstellung)

Variante	Bauteilname	Materialbezeichnung GEG-Berechnung	Dicke [mm]	λ -Wert [W/mK]	Literaturquelle - überarbeitet	Zuordnung Baustoff nach QNG-Ökobilanzierung –Rechenwerte 2023
Neubau	Außenwand gegen Erdreich	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1	in Anlehnung an Neubauplanungen der LHM	Kalkzement Putzmörtel
		DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	250	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
		DIN EN ISO 10456 Bitumen als Stoff	5	0,17		Bitumen Emulsion (40% Bitumen, 60% Wasser)
		DIN 4108 5.6 Schaumglas nach DIN EN 13167 NW 0,041	200	0,042		FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+
Neubau	Außenwand Hlzt.	DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	12,5	0,25	in Anlehnung an Neubauplanungen der LHM und Dataholz.eu, 2024, Außenwand awrhh03a	Gipsbauplatte (Feuerschutz)
		DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	12,5	0,25		Gipsbauplatte (Feuerschutz)
		DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,031	40	0,13 / 0,032		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
		Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie $s_d=20m$)	0,02	0,2		Dampfbremse PE
		DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe OSB-Platten	20	0,13		Oriented Strand Board-OSB (Durchschnitt DE)
		DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,031	180	0,13 / 0,032		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
		DIN 4108 5.10 Holzfaserdämmstoff nach DIN EN 13171 NW 0,044	30	0,046		Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)
		DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - stark belüftet	40	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
		DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	24	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
Neubau	Boden Nebenräume	DIN EN ISO 10456 Fußbodenbeläge Linoleum	4	0,17	in Anlehnung an Neubauplanungen der LHM	Linoleum
		DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	75	1,4		Zementestrich
		Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie $s_d=20m$)	0,02	0,2		Dampfbremse PE
		DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,039	20	0,04		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)

		DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
		DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	300	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
		DIN 4108 5.6 Schaumglas nach DIN EN 13167 NW 0,039	160	0,04		FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+
Neubau	Boden Nebenräume, Fliesen	Fliesen (keramisch, ubakus)	12	1,2	in Anlehnung an Neubauplanungen der LHM	Steinzeugfliesen glasiert
		DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	75	1,4		Zementestrich
		Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,02	0,2		Dampfbremse PE
		DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,039	20	0,04		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
		DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
		DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	300	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
		DIN 4108 5.6 Schaumglas nach DIN EN 13167 NW 0,039	160	0,04		FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+
Neubau	Boden Sporthalle	DIN EN ISO 10456 Fußbodenbeläge Linoleum	4	0,17	in Anlehnung an Neubauplanungen der LHM	Linoleum
		DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe Sperrholz 500	12	0,13		Brettsperrholz (Durchschnitt DE)
		Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,02	0,2		Dampfbremse PE
		DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	15	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
		DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	15	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
		DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe OSB-Platten / Luftschicht - nicht belüftet	9	0,13		Oriented Strand Board-OSB (Durchschnitt DE) / Luftschicht
		DIN EN ISO 10456 Gummi Schaumgummi / Luftschicht - nicht belüftet	9	0,06		Gummi-Bodenbelag mit Schaumstoffbeschichtung EN 1816 / Luftschicht
		DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500 / Luftschicht - nicht belüftet	21	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) / Luftschicht
		DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
		DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	xx	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
		DIN 4108 5.6 Schaumglas nach DIN EN 13167 NW 0,039	160	0,04		FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

Neubau	Flachdach	Brettschichtholz (ubakus)	220	0,15	in Anlehnung an Neubauplanungen der LHM und INFORMATIONSDIENST HOLZ, 2019, Bauteil Ib	Brettschichtholz - Standardformen (Durchschnitt DE)
		DIN 4108 7.3.1 Bitumendachbahnen nach DIN EN 13707	5	0,17		Bitumenbahnen V 60
		DIN 4108 7.3.1 Bitumendachbahnen nach DIN EN 13707	5	0,17		Bitumenbahnen V 60
		DIN 4108 5.4 Polyurethan-Hartschaum nach DIN EN 13165 NW 0,023	140	0,024		PU-Dämmplatten aus Blockschaumstoff
		DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
		DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,23		Bitumenbahnen G 200 S4
		DIN EN ISO 10456 Gummi Ethylen-Propylenedien, Monomer (EPDM)	1,5	0,25		Dachbahnen EPDM
		Kunststoff-Vlies	1	0,23		PE/PP Vlies
		DIN 4108 8.1.1 Lose Schüttung, abgedeckt: Schaumlava, 1500	25	0,27		Lava Körnung
		Kunststoff-Vlies	1,3	0,23		PE/PP Vlies
		DIN 4108 8.1.3 Lose Schüttung, abgedeckt: Sand, Kies, Splitt (trocken)	80	0,7		Blähglas Körnung
Neubau	Decke	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
		DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	300	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
		Schaumglas Foamglas T3+	80	0,037		FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+
		DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,039	40	0,04		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
		Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,02	0,2		Dampfbremse PE
		DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	75	1,4		Zementestrich
		DIN EN ISO 10456 Fußbodenbeläge Linoleum	4	0,17		Linoleum
Neubau	Decke, Fliesen	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1	in Anlehnung an Neubauplanungen der LHM	Kalkzement Putzmörtel
		DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	300	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
		Schaumglas Foamglas T3+	80	0,037		FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+

		DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,039	40	0,04		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
		Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,02	0,2		Dampfbremse PE
		DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	75	1,4		Zementestrich
		Fliesen (keramisch, ubakus)	12	1,2		Steinzeugfliesen glasiert
Neubau	Decke, gg. unbeheizt	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1	in Anlehnung an Neubauplanungen der LHM	Kalkzement Putzmörtel
		DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	300	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
		Schaumglas Foamglas T3+	130	0,037		FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+
		DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,039	40	0,04		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
		Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z. B. PE-Folie sd=20m)	0,02	0,2		Dampfbremse PE
		DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	75	1,4		Zementestrich
		DIN EN ISO 10456 Fußbodenbeläge Linoleum	4	0,17		Linoleum
Neubau	Innenwand verglast	DIN EN ISO 10456 Glas Natronglas (einschl. Floatglas)	4	1		Fensterglas einfach
Neubau	Innenwand 11,5, Fliesen beidseitig	Fliesen (keramisch, ubakus)	6	1,2	in Anlehnung an Neubauplanungen der LHM	Steinzeugfliesen glasiert
		DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
		DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1200	115	0,5		Mauerziegel (ungefüllt)
		DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
		Fliesen (keramisch, ubakus)	6	1,2		Steinzeugfliesen glasiert
Neubau	Innenwand 11,5, Fliesen	Fliesen (keramisch, ubakus)	6	1,2	in Anlehnung an Neubauplanungen der LHM	Steinzeugfliesen glasiert
		DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
		DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1200	115	0,5		Mauerziegel (ungefüllt)
		DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
Neubau	Innenwand 11,5	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1	in Anlehnung an Neubauplanungen der LHM	Kalkzement Putzmörtel

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

		DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1200	115	0,5		Mauerziegel (ungefüllt)
		DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
Neubau	Innenwand 17,5	Fliesen (keramisch, ubakus)	6	1,2	in Anlehnung an Neubauplanungen der LHM	Steinzeugfliesen glasiert
		DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
		DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1200	175	0,5		Mauerziegel (ungefüllt)
		DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
Neubau	Innenwand 24, Fliesen beidseitig	Fliesen (keramisch, ubakus)	6	1,2	in Anlehnung an Neubauplanungen der LHM	Steinzeugfliesen glasiert
		DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
		DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1200	240	0,5		Mauerziegel (ungefüllt)
		DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
		Fliesen (keramisch, ubakus)	6	1,2		Steinzeugfliesen glasiert
Neubau	Innenwand 24, Fliesen	Fliesen (keramisch, ubakus)	6	1,2	in Anlehnung an Neubauplanungen der LHM	Steinzeugfliesen glasiert
		DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
		DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1200	240	0,5		Mauerziegel (ungefüllt)
		DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
Neubau	Innenwand 24, Hlzt., Fliesen beidseitig	Fliesen (keramisch, ubakus)	6	1,2	in Anlehnung an Neubauplanungen der LHM und Dataholz.eu, 2024, Innenwand iwrxxo06a-00	Steinzeugfliesen glasiert
		DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	12,5	0,25		Gipsbauplatte (Feuerschutz)
		DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	12,5	0,25		Gipsbauplatte (Feuerschutz)
		DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	100	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
		DIN 4108 5.17 Wärmedämmung aus Mineralwolle nach DIN EN 14064-1 NW 0,039	100	0,04		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
		DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	12,5	0,25		Gipsbauplatte (Feuerschutz)
		DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	12,5	0,25		Gipsbauplatte (Feuerschutz)
		Fliesen (keramisch, ubakus)	6	1,2		Steinzeugfliesen glasiert

Neubau	Innenwand 24, Hlzst., Fliesen	Fliesen (keramisch, ubakus)	6	1,2	in Anlehnung an Neubauplanungen der LHM und Dataholz.eu, 2024, Innenwand iwrxxo06a-00	Steinzeugfliesen glasiert
		DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	12,5	0,25		Gipsbauplatte (Feuerschutz)
		DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	12,5	0,25		Gipsbauplatte (Feuerschutz)
		DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	100	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
		DIN 4108 5.17 Wärmedämmung aus Mineralwolle nach DIN EN 14064-1 NW 0,039	100	0,04		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
		DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	12,5	0,25		Gipsbauplatte (Feuerschutz)
		DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	12,5	0,25		Gipsbauplatte (Feuerschutz)
Neubau	Innenwand 24, Hlzst.	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1	in Anlehnung an Neubauplanungen der LHM und Dataholz.eu, 2024, Innenwand iwrxxo06a-00	Kalkzement Putzmörtel
		DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	12,5	0,25		Gipsbauplatte (Feuerschutz)
		DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	12,5	0,25		Gipsbauplatte (Feuerschutz)
		DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	100	0,13		Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
		DIN 4108 5.17 Wärmedämmung aus Mineralwolle nach DIN EN 14064-1 NW 0,039	100	0,04		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
		DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	12,5	0,25		Gipsbauplatte (Feuerschutz)
		DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	12,5	0,25		Gipsbauplatte (Feuerschutz)
		DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
Neubau	Innenwand 24	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1	in Anlehnung an Neubauplanungen der LHM	Kalkzement Putzmörtel
		DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1200	240	0,5		Mauerziegel (ungefüllt)
		DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
Neubau	Innenwand, gg. unbeheizt, Fliesen	Fliesen (keramisch, ubakus)	6	1,2	in Anlehnung an Neubauplanungen der LHM	Steinzeugfliesen glasiert
		DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
		DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	250	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
		DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	170	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
		DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
Neubau	Innenwand, gg. unbeheizt	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1	in Anlehnung an Neubauplanungen der LHM	Kalkzement Putzmörtel

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

		DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	250	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
		DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	170	0,035		Mineralwolle (Boden/Fassade/Flachdach/Innenausbau/Schrägdach)
		DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
Neubau	Innenwand Stb.	Fliesen (keramisch, ubakus)	6	1,2	in Anlehnung an Neubauplanungen der LHM	Steinzeugfliesen glasiert
		DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	25	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
		DIN 4108 4.1.2 Voll-, Hochloch-, Füllziegel 1200	175	0,5		Mauerziegel (ungefüllt)
Neubau	Innenwand Stb., Prallwand, Fliesen	DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	250	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
		DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel
		Fliesen (keramisch, ubakus)	6	1,2		Steinzeugfliesen glasiert
Neubau	Innenwand Stb., Prallwand	DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 2% Stahl) 2400	250	2,5		Transportbeton C20/25, Bewehrungsstahl (2 Prozent)
		DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	10	1		Kalkzement Putzmörtel

Übersicht über die bilanzierten Fenster- und Türkonstruktionen

Ebenfalls werden bei der Bilanzierung Innentüren berücksichtigt und werden mit Brettspertholz (Durchschnitt DE) und einer Schichtdicke 40 von mm angenommen. Die Maße ergeben sich aus den Plänen.

Tabelle A- 9: Übersicht über die bilanzierten Fensterkonstruktionen inklusive der spezifischen Materialkennwerte und Zuordnung der Baustoffe für die Ökobilanzierung des Ursprungszustands, Status quo und der Sanierungsvariante (eigene Darstellung)

Halle	Variante	Bauteilname	Bau- al- ters- klasse	Materialbezeichnung GEG-Berechnung	Fläche [m²]	U-Wert [W/m²K]	Literaturquelle	Zuordnung Baustoff nach QNG-Ökobilanzie- rung –Rechenwerte 2023
A	Ursprungs- zustand	Fenster Neben- räume	I	Holzfenster, einfach	70	5	in Anlehnung an BMWi & BMI, 2020	Holz-Blendrahmen, Holz-Flügelrahmen, Fenster- glas einfach, Elastomer Fugenbänder, Silikon- kautschuk
		Fenster Sport- halle		Holzfenster, einfach	3	5	in Anlehnung an BMWi & BMI, 2020	Holz-Blendrahmen, Holz-Flügelrahmen, Fenster- glas einfach, Elastomer Fugenbänder, Silikon- kautschuk
		Außentür opak		Außentür opak	2,31	2,9	in Anlehnung an BMWi & BMI, 2020	Brettspertholz (Durchschnitt DE)
A	Status quo	Fenster Neben- räume	I	Zweischeiben-Isolierver- glasung, Holzrahmen	70	2,3	Pläne	Isolierglas 2-Scheiben, Holz-Blendrahmen, Holz- Flügelrahmen, Elastomer Fugenbänder, Silikon- kautschuk
		Fenster Sport- halle		Zweischeiben-Isolierver- glasung, Holzrahmen	3	2,3	Pläne	Isolierglas 2-Scheiben, Holz-Blendrahmen, Holz- Flügelrahmen, Elastomer Fugenbänder, Silikon- kautschuk
		Außentür opak		Außentür opak	2,31	2,9	in Anlehnung an BMWi & BMI, 2020	Brettspertholz (Durchschnitt DE)
A	Sanierung / Neubau	Fenster Neben- räume	I	Dreischeiben-Isolierver- glasung, Holzrahmen	70	0,9		Dreifachverglasung, Holz-Blendrahmen, Holz-Flü- gelrahmen, Elastomer Fugenbänder, Silikonkaut- schuk
		Fenster Sport- halle		Dreischeiben-Isolierver- glasung, Holzrahmen	3	0,9		Dreifachverglasung, Holz-Blendrahmen, Holz-Flü- gelrahmen, Elastomer Fugenbänder, Silikonkaut- schuk
		Außentür opak		Außentür opak	2,31	1,4		Brettspertholz (Durchschnitt DE)
B	Ursprungs- zustand	Fenster Neben- räume	II	Zweischeibenverglasung, Holzrahmen	29,05	2,7	in Anlehnung an BMWi & BMI, 2020	Isolierglas 2-Scheiben, Holz-Blendrahmen, Holz- Flügelrahmen, Elastomer Fugenbänder, Silikon- kautschuk

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

		Lichtband Sport-halle		Transluzente Fassade aus Polycarbonatplatten	286,8	3,0	Schätzung Hersteller	Polycarbonatplatte
		Lichtkuppel		Lichtkuppel, PVC	7	3,5	in Anlehnung an Energieinstitut Hessen, 2017	Polycarbonatplatte, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk, Flügelrahmen PVC-U, Blendrahmen PVC-U
		Außentür verglast		Außentür verglast, Alurahmen	11,63	2,9	in Anlehnung an BMWi & BMI, 2020	Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk, Aluminium-Rahmenprofil, pulverbeschichtet, Aluminium-Flügelrahmenprofil, pulverbeschichtet, Isolierglas 2-Scheiben
		Außentür opak		Außentür opak	10,21	2,9	in Anlehnung an BMWi & BMI, 2020	Brettsper Holz (Durchschnitt DE)
B	Status quo	Fenster Nebenräume	II	Zweischeibenverglasung, Holzrahmen	29,05	1,3	in Anlehnung an Sanierungsplanungen der LHM	Isolierglas 2-Scheiben, Holz-Blendrahmen, Holz-Flügelrahmen, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk,
		Lichtband Sport-halle		Transluzente Fassade aus Polycarbonatplatten	286,8	3,0	Schätzung Hersteller	Polycarbonatplatte
		Lichtkuppel		Lichtkuppel, PVC	7	1,9	in Anlehnung an Sanierungsplanungen der LHM	Polycarbonatplatte, Flügelrahmen PVC-U, Blendrahmen PVC-U, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk
		Außentür verglast		Außentür verglast, Alurahmen	11,63	2,9	in Anlehnung an BMWi & BMI, 2020	Isolierglas 2-Scheiben, Aluminium-Rahmenprofil, pulverbeschichtet, Aluminium-Flügelrahmenprofil, pulverbeschichtet, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk
		Außentür opak		Außentür opak	10,21	2,9	in Anlehnung an BMWi & BMI, 2020	Brettsper Holz (Durchschnitt DE)
B	Sanierung / Neubau	Fenster Nebenräume	II	Dreischeiben-Isolierverglasung, Holzrahmen	29,05	0,9		Dreifachverglasung, Holz-Blendrahmen, Holz-Flügelrahmen, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk
		Profilitfassade Sporthalle		Profilitfassade	286,8	0,9		Polycarbonatplatte
		Lichtkuppel		Lichtkuppel, PVC	7	1,1		Polycarbonatplatte, Flügelrahmen PVC-U, Blendrahmen PVC-U, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk
		Außentür verglast		Außentür verglast, Alurahmen	11,63	0,9		Gussglas - Glasfabrik Lamberts GmbH & Co. KG - LINIT Basisprofilbauglas, Pfosten/Riegelsystem aus Stahl, Beschlagverbund Fenster Stahl, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk
		Außentür opak		Außentür opak	10,21	1,4		Brettsper Holz (Durchschnitt DE)

C	Ursprungszustand	Fenster Nebenräume	II	Zweischeibenverglasung, Holzrahmen	34,08	2,7	in Anlehnung an BMWi & BMI, 2020	Isolierverglasung 2-Scheiben, Aluminium-Rahmenprofil, pulverbeschichtet, Aluminium-Flügelrahmenprofil, pulverbeschichtet, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk
		Glasbausteine Sporthalle		Glasbausteine	359,64	2,8		Glasbausteine
		Lichtkuppel		Lichtkuppel, PVC dreischalig	85,04	3,5	in Anlehnung an Energieinstitut Hessen, 2017	Polycarbonatplatte, Flügelrahmen PVC-U, Blendrahmen PVC-U, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk,
		Außentür verglast		Außentür verglast, Alurahmen	14,4	2,9	in Anlehnung an BMWi & BMI, 2020	Isolierverglasung 2-Scheiben, Aluminium-Rahmenprofil, pulverbeschichtet, Aluminium-Flügelrahmenprofil, pulverbeschichtet, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk
		Außentür opak		Außentür opak	8,18	2,9	in Anlehnung an BMWi & BMI, 2020	Brettspertholz (Durchschnitt DE)
C	Status quo	Fenster Nebenräume	II	Zweischeibenverglasung, Holzrahmen	34,08	2,7	in Anlehnung an BMWi & BMI, 2020	Isolierverglasung 2-Scheiben, Aluminium-Rahmenprofil, pulverbeschichtet, Aluminium-Flügelrahmenprofil, pulverbeschichtet, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk
		Profilitfassade Sporthalle		Profilitfassade	359,64	1,2	Pläne	Gussglas - Glasfabrik Lamberts GmbH & Co. KG - LINIT Basisprofilbauglas, Pfosten/Riegelsystem aus Stahl, Beschlagverbund Fenster Stahl, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk
		Lichtkuppel		Lichtkuppel, PVC dreischalig	85,04	1,6	in Anlehnung an Herstellerangaben	Polycarbonatplatte, Flügelrahmen PVC-U, Blendrahmen PVC-U, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk,
		Außentür verglast		Außentür verglast, Alurahmen	14,4	2,9	in Anlehnung an BMWi & BMI, 2020	Isolierverglasung 2-Scheiben, Aluminium-Rahmenprofil, pulverbeschichtet, Aluminium-Flügelrahmenprofil, pulverbeschichtet, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk
		Außentür opak		Außentür opak	8,18	2,9	in Anlehnung an BMWi & BMI, 2020	Brettspertholz (Durchschnitt DE)
C	Sanierung / Neubau	Fenster Nebenräume		Dreischeiben-Isolierverglasung, Holzrahmen	34,08	0,9		Dreifachverglasung, Holz-Blendrahmen, Holz-Flügelrahmen, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk
		Profilitfassade Sporthalle		Profilitfassade	359,64	0,9		Gussglas - Glasfabrik Lamberts GmbH & Co. KG - LINIT Basisprofilbauglas, Pfosten/Riegelsystem aus Stahl, Beschlagverbund Fenster Stahl, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

		Lichtkuppel	II	Lichtkuppel, PVC dreischalig	85,04	1,1		Polycarbonatplatte, Flügelrahmen PVC-U, Blendrahmen PVC-U, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk,
		Außentür verglast		Außentür verglast, Alurahmen	14,4	0,9		Dreifachverglasung, Silikonkautschuk, Aluminium-Rahmenprofil, pulverbeschichtet, Aluminium-Flügelrahmenprofil, pulverbeschichtet, Elastomer Fugenbänder,
		Außentür opak		Außentür opak	8,18	1,4		Brettsperrholz (Durchschnitt DE)
D	Ursprungszustand	Fenster Nebenräume	III	Zweischeibenisolierverglasung, Holzrahmen	49,92	2,7	in Anlehnung an Begehung und BMWi & BMI, 2020	Isolierverglasung 2-Scheiben, Holz-Blendrahmen, Holz-Flügelrahmen, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk
		Fenster Sport-halle		Zweischeibenisolierverglasung, Holzrahmen	88,92	2,7	in Anlehnung an Begehung und BMWi & BMI, 2020	Isolierverglasung 2-Scheiben, Holz-Blendrahmen, Holz-Flügelrahmen, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk
		Außentür verglast		Außentür verglast, Alurahmen	6,75	2,9	in Anlehnung an BMWi & BMI, 2020	Isolierverglasung 2-Scheiben, Aluminium-Rahmenprofil, pulverbeschichtet, Aluminium-Flügelrahmenprofil, pulverbeschichtet, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk
		Außentür opak		Außentür opak	3,15	2,9	in Anlehnung an BMWi & BMI, 2020	Brettsperrholz (Durchschnitt DE)
D	Status quo	Fenster Nebenräume	III	Zweischeibenisolierverglasung, Holzrahmen	49,92	2,7	in Anlehnung an Begehung	Isolierverglasung 2-Scheiben, Holz-Blendrahmen, Holz-Flügelrahmen, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk
		Fenster Sport-halle		Zweischeibenisolierverglasung, Holzrahmen	88,92	2,7	in Anlehnung an Begehung	Isolierverglasung 2-Scheiben, Holz-Blendrahmen, Holz-Flügelrahmen, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk
		Außentür verglast		Außentür verglast, Alurahmen	6,75	2,9	in Anlehnung an BMWi & BMI, 2020	Isolierverglasung 2-Scheiben, Aluminium-Rahmenprofil, pulverbeschichtet, Aluminium-Flügelrahmenprofil, pulverbeschichtet, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk
		Außentür opak		Außentür opak	3,15	2,9	in Anlehnung an BMWi & BMI, 2020	Brettsperrholz (Durchschnitt DE)
D	Sanierung / Neubau	Fenster Nebenräume	III	Dreischeiben-Isolierverglasung, Holzrahmen	49,92	0,9		Dreifachverglasung, Holz-Blendrahmen, Holz-Flügelrahmen, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk
		Fenster Sport-halle		Dreischeiben-Isolierverglasung, Holzrahmen	88,92	0,9		Dreifachverglasung, Holz-Blendrahmen, Holz-Flügelrahmen, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk

		Außentür verglast		Außentür verglast, Alurahmen	6,75	0,9		Dreischeibenverglasung, Aluminium-Rahmenprofil, pulverbeschichtet, Aluminium-Flügelrahmenprofil, pulverbeschichtet, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk
		Außentür opak		Außentür opak	3,15	1,4		Brettsperrholz (Durchschnitt DE)
E	Ursprungszustand	Fenster Nebenräume	IV	Zweischeibenisolierglas, Alurahmen	15,71	1,3	in Anlehnung an Heizlastberechnung	Isolierglas 2-Scheiben, Aluminium-Rahmenprofil, pulverbeschichtet, Aluminium-Flügelrahmenprofil, pulverbeschichtet, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk
		Pfosten-Riegel-Fassade, Sport-halle		Pfosten-Riegel-Fassade	238,85	1,2	in Anlehnung an Heizlastberechnung	Dreifachverglasung, Pfosten-Riegelsystem aus Aluminium, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk
		Dachoberlicht		Dachoberlicht	20,47	1,3	in Anlehnung an Heizlastberechnung	Isolierglas 2-Scheiben, Aluminium-Rahmenprofil, pulverbeschichtet, Aluminium-Flügelrahmenprofil, pulverbeschichtet, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk
		Pfosten-Riegel-Fassade, Tür		Pfosten-Riegel-Fassade, Außentür	5,8	1,2	in Anlehnung an Heizlastberechnung	Dreifachverglasung, Pfosten-Riegelsystem aus Aluminium, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk
		Außentor		Außentor	14,82	1,8	in Anlehnung an Herstellerangaben	Brettsperrholz (Durchschnitt DE)
		Außentür opak		Außentür opak	2,56	1,9	in Anlehnung an Anforderungen EnEV	Brettsperrholz (Durchschnitt DE)
E	Sanierung / Neubau	Fenster Nebenräume	IV	Dreischeiben-Isolierverglasung, Alurahmen	15,71	0,9		Isolierglas 2-Scheiben, Aluminium-Rahmenprofil, pulverbeschichtet, Aluminium-Flügelrahmenprofil, pulverbeschichtet, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk
		Pfosten-Riegel-Fassade, Sport-halle		Pfosten-Riegel-Fassade	207,28	0,9		Dreifachverglasung, Pfosten-Riegelsystem aus Aluminium, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk
		Dachoberlicht		Dachoberlicht	20,47	0,9		Isolierglas 2-Scheiben, Aluminium-Rahmenprofil, pulverbeschichtet, Aluminium-Flügelrahmenprofil, pulverbeschichtet, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk
		Außentür, verglast		Pfosten-Riegel-Fassade, Außentür	5,8	0,9		Dreifachverglasung, Pfosten-Riegelsystem aus Aluminium, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk
		Außentor		Außentor	14,82	1,8	in Anlehnung an Herstellerangaben	Brettsperrholz (Durchschnitt DE)
		Außentür opak		Außentür opak	2,56	1,4		Brettsperrholz (Durchschnitt DE)

A.2 Baukonstruktion Ursprungszustand, Status quo, Sanierungs- und Neubauvariante

F	Ursprungszustand	Fenster Nebenräume	IV	Dreischeiben-Isolierverglasung, Alurahmen	56,03	1,1	EnEV-Berechnung	Dreifachverglasung, Aluminium-Rahmenprofil, pulverbeschichtet, Aluminium-Flügelrahmenprofil, pulverbeschichtet, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk
		Profilitfassade Sporthalle		Profilitfassade	466,87	1,2	EnEV-Berechnung	Gussglas - Glasfabrik Lamberts GmbH & Co. KG - LINIT Basisprofilbauglas, Pfosten/Riegelsystem aus Stahl, Beschlagverbund Fenster Stahl, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk
		Eingangstür West		Dreischeiben-Isolierverglasung, Alurahmen	8,14	1,9	EnEV-Berechnung	Dreifachverglasung, Aluminium-Rahmenprofil, pulverbeschichtet, Aluminium-Flügelrahmenprofil, pulverbeschichtet, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk,
		Außentür opak		Außentür opak	26,31	1,9	EnEV-Berechnung	Brettsper Holz (Durchschnitt DE)
F	Sanierung / Neubau	Fenster Nebenräume	IV	Dreischeiben-Isolierverglasung, Alurahmen	56,03	0,9		Dreifachverglasung, Aluminium-Rahmenprofil, pulverbeschichtet, Aluminium-Flügelrahmenprofil, pulverbeschichtet, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk
		Profilitfassade Sporthalle		Profilitfassade	466,87	0,9		Gussglas - Glasfabrik Lamberts GmbH & Co. KG - LINIT Basisprofilbauglas, Pfosten/Riegelsystem aus Stahl, Beschlagverbund Fenster Stahl, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk
		Eingangstür West		Dreischeiben-Isolierverglasung, Alurahmen	8,14	0,9		Dreifachverglasung, Aluminium-Rahmenprofil, pulverbeschichtet, Aluminium-Flügelrahmenprofil, pulverbeschichtet, Elastomer Fugenbänder, Silikonkautschuk,
		Außentür opak		Außentür opak	26,31	1,4		Brettsper Holz (Durchschnitt DE)

A.3 Sportfunktionale Einbauten

Die sporthallenspezifischen Einbauten sind anbei exemplarisch für eine Dreifachhalle dargestellt.

Tabelle A- 10: Übersicht über die bilanzierten sportfunktionalen Einbauten und die Zuordnung der Baustoffe für die Ökobilanzierung (eigene Darstellung)

Anzahl	Bezeichnung	Menge je Einheit	Material (Hauptkomponente)	Menge [kg] je Stk.	Bemerkung	Zuordnung ÖKOBAUDAT	Menge gesamt [kg]
12	Steckbarren	1	Stahl	57,5	Stahl	Stahlprofil	690,0
		1	Spezial-Schichtholz	0,024	Angabe in m³	Brettschichtholz	0,3
		2	Bodenhülse	11	Stahl	Stahlprofil	264,0
3	Steckreck (6-fach-Anlage)	6	Reckstange für Steckreck samt Gabelkopf mit Filzeinlage rostfrei	11,8	Edelstahl	Edelstahlblech	212,4
		6	Steckrecksäule aus Alu eloxiert mit Konus	9,8	Aluminium	Aluminium Profil	176,4
		6	Tragegriff und Vorstecke	1	Stahl	Stahlprofil	18,0
		6	Bodenhülse	11	Stahl	Stahlprofil	198,0
2	Mult. Schaukel-Anlage	1	Ringträger inkl. Haltebügel und Gegenplatte	32,14	Stahl	Stahlprofil	64,3
		4	Beschwerungsbeutel für Ringe 3,40 kg mit Karabiner	3,5	Leder	-	28,0
		4	Kettenstellbock 2fach mit Sicherheitskarabiner und Bef. Material	11,86	Stahl	Stahlprofil	94,9
		4	Stellkette für Schaukelringe	2,1	Stahl	Stahlprofil	16,8
		8	Turnringe aus Schichtholz Außendurchmesser 240mm Stärke 28mm	0,35	Multiplex	Brettsperrholz (Durchschnitt DE, 489.41 kg/m³)	5,6
		8	Hanfseil 14 mm, gedreht, dehnungsarm	0,15	Naturhanf	Hanfvlies (Rohdichte: 38 kg/m³)	2,4
2	Kletteranlage (8 Taue)	1	Laufschiene für Klettertaue mit Gehänge und Schäkel	41,84	Stahl	Stahlprofil	83,7
		8	Klettertau 5m mit Höhenmarkierung	5	Naturhanf	Hanfvlies (Rohdichte: 38 kg/m³)	80,0
8	Spielschiene	1	Spielschiene mit Spannvorrichtung	7,28	Stahl	Stahlprofil	58,2
2	Basketballkorb (Hauptspielfeld)	1	Wandrahmen inkl. Ausleger	129,06	Stahl	Stahlprofil	258,1
		1	Basketball Zielbrett 1800x1050mm Holz markiert	30	Multiplex	Brettsperrholz (Durchschnitt DE, 489.41 kg/m³)	60,0
		1	Zugstange lang mit Zugöse seitlich verzinkt mit Rohrkappen 2900mm	2,7	Stahl	Stahlprofil	5,4
		1	Basketballnetz aus 4 mm Perlon Weiß DIN EN 1270 Nylon-Flechtleine	0,15	Perlon (Polycaprolactam, Polyamid 6)	Dampfbremse PA (Dampfbremse Polyamid PA, Flächengewicht: 0.08 kg/m²)	0,3

A.3 Sportfunktionale Einbauten

		1	Basketballkorb	10	Stahl	Stahlprofil	20,0
6	Basketballkorb (Einzelhalle)	1	Wandrahmen inkl. Ausleger	129,06	Stahl	Stahlprofil	774,4
		1	Basketball Zielbrett 1800x1050mm Holz markiert	30	Multiplex	Brettsperrholz (Durchschnitt DE, 489.41 kg/m³)	180,0
		1	Zugstange lang mit Zugöse seitlich verzinkt mit Rohrkappen 2900mm	2,7	Stahl	Stahlprofil	16,2
		1	Basketballnetz aus 4 mm Perlon Weiß DIN EN 1270 Nylon-Flechtleine	0,15	Perlon (Polycaprolactam, Polyamid 6)	Dampfbremse PA (Dampfbremse Polyamid PA)	0,9
		1	Basketballkorb	10	Stahl	Stahlprofil	60,0
4	Basketballkorb (Übungsbrett)	1	Wandrahmen inkl. Ausleger	129,06	Stahl	Stahlprofil	516,2
		1	Basketball Zielbrett 1800x1050mm Holz markiert	30	Multiplex	Brettsperrholz (Durchschnitt DE, 489.41 kg/m³)	120,0
		1	Zugstange lang mit Zugöse seitlich verzinkt mit Rohrkappen 2900mm	2,7	Stahl	Stahlprofil	10,8
		1	Basketballnetz aus 4 mm Perlon Weiß DIN EN 1270 Nylon-Flechtleine	0,15	Perlon (Polycaprolactam, Polyamid 6)	Dampfbremse PA (Dampfbremse Polyamid PA)	0,6
		1	Basketballkorb	10	Stahl	Stahlprofil	40,0
11	Spialsäule	1	Spielständer mit Spindelspannvorrichtung	19	Aluminium	Aluminium Profil	209,0
		1	Bodenhülse	11	Stahl	Stahlprofil	121,0
2	Handballtor (Hauptspielfeld)	1	Handballtorrahmen 3x2m	30	Aluminium	Aluminiumblech	60,0
		2	Netzbügel seitlich einklappbar	10,7	Stahl	Stahlprofil	42,8
		1	Handballtornetz 4mm	1	Polypropylen (PP)	Unterspannbahn PP (Polypropylenvlies)	2,0
6	Handballtor (Einzel- halle)	1	Handballtorrahmen 3x2m	30	Aluminium	Aluminiumblech	180,0
		2	Netzbügel seitlich einklappbar	10,7	Stahl	Stahlprofil	128,4
		1	Handballtornetz 4mm	1	Polypropylen (PP)	Unterspannbahn PP (Polypropylen Vlies)	6,0
8	Sprossenwand	1	Feststellsäule für schwenkbare Sprossen- wand mit Konus und Kugelknopf	11,6	Stahl	Stahlprofil	92,8
		3	Sprossenwandholm 262cm, für 18 Sprossen mit Hartholzkante	5,89	Fichte und Hartholz- anleimer	Nadelschnittholz – getrocknet (Durchschnitt DE, Rohdichte: 484.51 kg/m³)	11,0
		36	Sprosse aus Buchenschichtholz 178 cm mit ovalem Profil	1,54	Buche Vollholz	Laubschnittholz – getrocknet (Durchschnitt DE, Rohdichte: 761.6 kg/m³)	443,5
		1	Bodenhülse	11	Stahl	Stahlprofil	88,0

2	Trennvorhang	1	Unterkonstruktion	360	Stahl	Stahlprofil	720
		1	Behang 1200g/m², Kunstleder (ca. 430m² Behang)	510	Kunstleder	PE/PP Vlies	750,80
		1	Motor	50		-	-
		1	Hubstange	175	Stahl	Stahlprofil	350
1	Tribüne (z. B. Teleskoptribüne: 45 m, 3 Sitzreihen)	1	Stahlkonstruktion	42 kg laufen- der Meter	Stahl	Stahlprofil	5670
		1	Verkleidung	13 kg je m² Tribünenflä- che	Brettsper Holz	Brettsper Holz	1664
An- zahl	Bezeichnung	Menge	Material (Hauptkomponente)	Schichtdi- cke [mm]	Bemerkung	Zuordnung ÖKOBAUDAT	
1	Prallwand (Höhe = 2,7 m)	338 m	Bekleidung, lackiert	15 mm	Brettsper Holz	Brettsper Holz	
			Absorberschicht	4 mm	Holzweichfaser	Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)	
			Konterlattung	60 mm		Konstruktionsvollholz	
			Holzlattung	45 mm		Konstruktionsvollholz	
1	Sportboden	1278 m²	Siehe Anhang A.2				