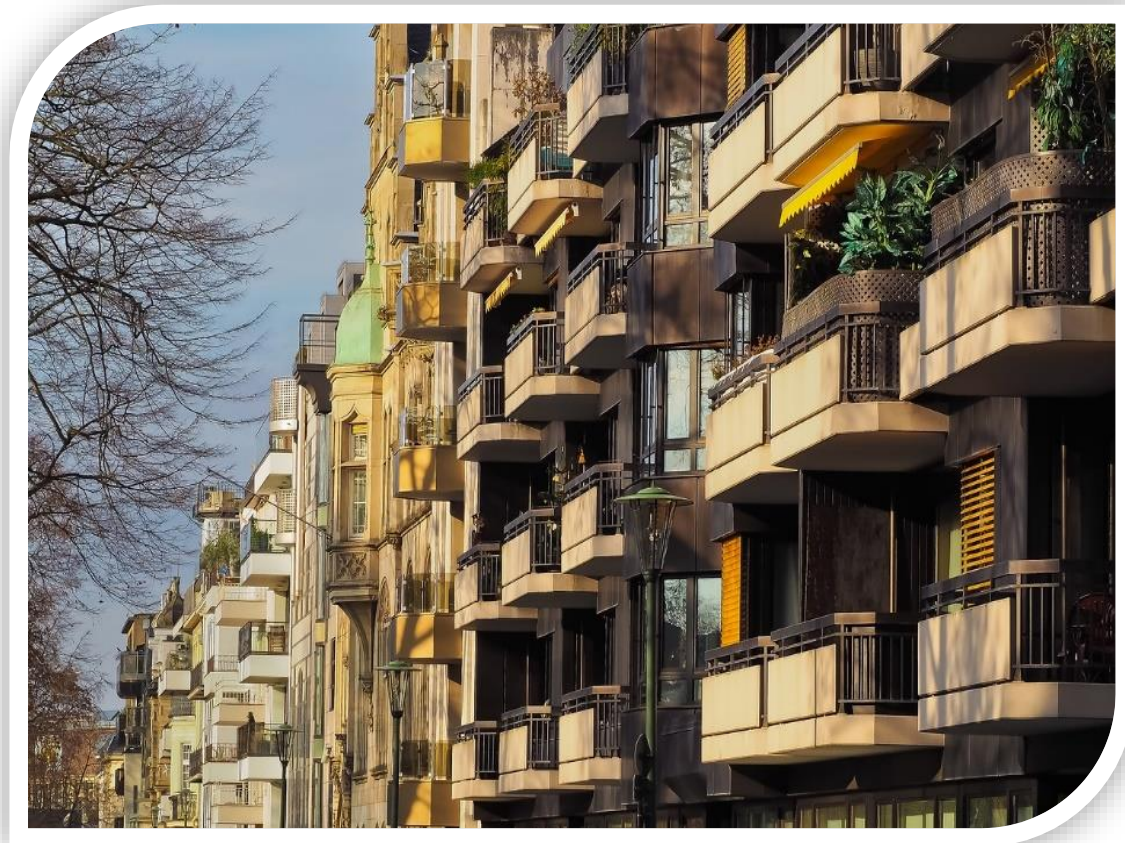


LowEx-Konzepte für die Wärmeversorgung von Mehrfamilien-Bestandsgebäuden

Bericht zu AP 3.1:

# LowEx-Bestand Referenzgebäude: Geometrie, Bauphysik, Last-Zeitreihen und Sanierungsszenarien



Der vorliegende Bericht ist Ergebnis der wissenschaftlichen Querspanne »LowEx-Bestand Analyse« des thematischen Projektverbunds »LowEx-Konzepte für die Wärmeversorgung von Mehrfamilien-Bestandsgebäuden (LowEx-Bestand)«. In diesem Verbund arbeiten Forschungsinstitute mit Herstellern von Heizungs- und Lüftungstechnik und mit Unternehmen der Wohnungswirtschaft zusammen. Gemeinsam werden Lösungen entwickelt, analysiert und demonstriert, die den effizienten Einsatz von Wärmepumpen, Wärmeübergabesystemen und Lüftungssystemen bei der energetischen Modernisierung von Mehrfamiliengebäuden zum Ziel haben.

LowEx-Systeme arbeiten durch geringe Temperaturdifferenzen zwischen Heizmedium und Nutzwärme besonders effizient. Wärmepumpen haben dabei erhebliches Potenzial zur Absenkung der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Wärmebereitstellung. Für die energetische Modernisierung von Mehrfamiliengebäuden ist der Einsatz solcher Systeme mit besonderen Herausforderungen und Anforderungen an die Übergabe der Raumwärme, die Warmwasserbereitung und die Nutzung von Umweltwärme verbunden. Diese Herausforderungen werden in LowEx-Bestand adressiert.

# Projekt LowEx-Bestand Analyse

## Bericht zu AP 3.1

# LowEx-Bestand Referenzgebäude: Geometrie, Bauphysik, Last-Zeitreihen und Sanierungsszenarien

Stand: 26.04.2022

Autoren: Raphael Vollmer (INATECH), Benjamin Köhler (ISE), Lotta Koch (ISE),  
Jeannette Wapler (ISE), Katrin Scharf (INATECH), Bernd Ebert (KIT),  
Dr.-Ing. Constanze Bongs (ISE), Dr. Stefan Hess (INATECH)

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

KIT - Die Forschungsuniversität in der Helmholtz- Gemeinschaft

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Institut für Nachhaltige Technische Systeme (INATECH)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Förderkennzeichen: 03SBE0001

[www.lowex-bestand.de](http://www.lowex-bestand.de)





## Kurzfassung

Innerhalb des Arbeitspaketes 3.1 wurden Referenz-Mehrfamiliengebäude definiert. Diese wurden in TNRSYS zur Erzeugung von Lastreihen modelliert. Sie werden innerhalb des Projekts „LowEx-Bestand“ verwendet.

Der Fokus wurde auf die Baualtersklassen 1958-78 und 1979-1994 gelegt. Erstere bildet den größten Anteil des Gebäudebestandes in Deutschland und bei letzterer besteht aktuell eine hohe Sanierungsdringlichkeit. Auf Basis eines realen 60er Jahre Mehrfamiliengebäudes, wurden nach dem Baukastenprinzip ein kleines, mittleres und großes Mehrfamilienhaus definiert. Auf Basis vorhandener Literatur wurden die energetischen Gebäudeparameter festgelegt. Hierzu gehören neben den Wärmedurchgangskoeffizienten für die verschiedenen Sanierungsstufen auch die Randbedingungen für die Energiebedarfsrechnungen. Darüber hinaus wurden mögliche Sanierungs-Szenarien für beide Baualtersklassen definiert, um verschiedene Ist- sowie zukünftige Soll-Zustände abbilden zu können.

Zusammenfassend dient dieser Bericht als Dokumentation für die geometrischen und bauphysikalischen Parameter der im gesamten Verbundprojekt untersuchten Mehrfamilienhäuser.

Ergebnisse:

- **Zahlenwerte** der **Norm-Heizlasten** und der jährlichen **Heizwärmebedarfe** im **Anhang**
- **Last-Zeitreihen**

## Abstract

Within the work package 3.1, reference buildings were defined. These were modelled in TNRSYS to generate load series. The load series are used within the project "LowEx-Bestand" for further simulations.

The focus was placed on the 1958-78 and 1979-1994 building age classes. The former forms the largest share of the building stock in Germany and the latter is currently in urgent need of renovation. Based on a real 1960s multi-family building, a small, medium and large multi-family building were defined according to the modular principle. Based on existing literature, the energetic building parameters were determined. These include not only the heat transfer coefficients for the various refurbishment stages but also the boundary conditions for the energy demand calculations. In addition, possible renovation packages were defined for both building age classes in order to be able to represent different actual as well as future target states.

In summary, this report serves as documentation for the geometric and building physics parameters of the multi-family houses investigated in the entire project.

Results:

- Numerical values of the **standard heating loads** and the **annual heating demand** can be found in the **appendix**
- **Load time series**

# Inhalt

Kurzfassung.....	V
Abstract .....	VI
Inhalt.....	VII
Abkürzungen .....	VIII
1 Einleitung.....	1
2 Baualtersperioden .....	3
3 Thermische Gebäudeparameter .....	5
3.1 Wärmedurchgangskoeffizienten der BAP 1958-78 .....	5
3.2 Wärmedurchgangskoeffizienten der BAP 1979-94 .....	6
3.3 Randbedingungen zur Energiebedarfsrechnung .....	7
4 Geometrische Gebäudeparameter .....	9
4.1 Kleines Mehrfamilienhaus .....	11
4.2 Mittleres Mehrfamilienhaus .....	12
4.3 Großes Mehrfamilienhaus .....	13
5 Sanierungs-Zustände.....	15
6 Sanierungs-Szenarien und Nutzungsdauern.....	17
7 Simulation der Last-Zeitreihen .....	21
7.1 Verwendete Software .....	21
7.2 Regelung .....	21
7.3 Wetterdaten.....	21
7.4 Lastreihen.....	21
8 Ergebnisse .....	23
8.1 Norm-Heizlasten.....	23
8.2 Heizwärmebedarf TRNSYS.....	25
9 Anhang.....	27
9.1 Außenansichten des kleinen MFH .....	27
9.2 Exakte U-Werte für TRNSYS Simulationen .....	29
9.3 Detaillierte Wärmedurchgangskoeffizienten der Sanierungspakete .....	30
9.4 Norm-Heizlasten mit stationärem Berechnungsansatz .....	31
9.5 Heizwärmebedarfe aus TRNSYS Simulationen .....	32
9.6 Weiterführende Literatur.....	33
Literaturverzeichnis .....	35

## Abkürzungen

<b>Abkürzung</b>	<b>Bedeutung</b>
BAK	Baualtersklasse
BAP	Baualtersperiode
GMH	Großes Mehrfamilienhaus
IWU	Instituts Wohnen und Umwelt
KMH	Kleines Mehrfamilienhaus
MFH	Mehrfamilienhaus
MMH	Mittleres Mehrfamilienhaus
WF	Wohnfläche
WG	Wohngebäude
WSV	Wärmeschutzverglasung

# 1 Einleitung

Im Rahmen des Arbeitspaketes AP 3.1 wurden die geometrischen und thermischen Parameter von Referenz-Mehrfamilienhäusern (MFH) definiert und auf dieser Basis wurden die Norm-Heizlast dieser Gebäude sowie Last-Zeitreihen des Raumwärmebedarfs ermittelt.

Die definierten MFH bilden die Basis für die technischen und ökonomischen Analysen im Projekt LowEx-Bestand. Dies gilt sowohl für Sanierungen der Gebäudehülle als auch des Wärmeversorgungssystems. Folgende Arbeitsschritte und Ergebnisse sind im vorliegenden Bericht dokumentiert:

- Festlegung der zu untersuchenden Baualtersperioden (BAP) des MFH-Bestandes (Kapitel 2)
- Definition thermischer Gebäudeparameter zur Raumwärme-Bedarfsberechnung (Kapitel 3)
- Bestimmung eines typischen Wohnungsgrundrisses sowie geometrischer Parameter für die verschiedenen MFH-Größen (Kapitel 4)
- Definition verschiedener Sanierungspakete zur Abbildung verschiedener möglicher Ist- und Soll-Zustände der MFH-Gebäudehüllen (Kapitel 5)
- Definition zu untersuchender Sanierungs-Szenarien mit zeitlichen Abfolgen von Maßnahmen an der Gebäudehülle und der Wärmeversorgung (Kapitel 6)
- Simulation von Lastreihen und Berechnung der Norm-Heizlast für die verschiedenen Gebäudegrößen und Sanierungspakete bzw. Sanierungszustände (Kapitel 7 und 8)

Um den Bericht übersichtlich zu halten finden sich die **Zahlenwerte der Ergebnisse** und der verwendeten Simulationsparameter **im Anhang (Kapitel 9)**.



## 2 Baualtersperioden

Die Baualtersklassen (BAK) mit dem höchsten Anteil an MFH und der sich hieraus ergebenden Relevanz für weitere Untersuchungen, sind nach Daten der deutschen Wohngebäudetypologie des Instituts Wohnen und Umwelt (IWU) die BAK 1958-68 und 1969-78 (Diefenbach 2013, S. 2). Ein Großteil der Literaturdaten bzgl. des Gebäudebestandes basiert auf den fortgeführten Datenreihen des Zensus 1987 (Bürger et al. 2015, S. 109). Für das Projekt LowEx-Bestand wird jedoch auf den neueren Zensus 2011 zurückgegriffen (Destatis 2014). Dies liegt zum einen an den Ungenauigkeiten des Zensus 1987 aufgrund der Fortschreibungen und zum anderen an der für das Projekt benötigten feineren Einteilung in kleine (KMH), mittlere (MMH) und große (GMH) Mehrfamilienhäuser. Da sich die beiden zentralen Datensätze des Zensus 2011 und IWU in der Einteilung der BAK unterscheiden, werden diese nach der in Bürger et al. 2015 beschriebenen Methodik angepasst. Tabelle 2-1 gibt einen Überblick über die so ermittelte Anzahl an Wohngebäuden (WG) und Wohnflächen (WF). Die Wohnflächen basieren hierbei auf einer zusätzlichen IWU-Abfrage des Fraunhofer ISE (IWU 2011).

Tabelle 2-1 Anzahl an Wohngebäuden (WG) und Wohnflächen (WF) nach Baujahr im deutschen Mehrfamilienhausbestand (Destatis 2014; IWU 2011)

Baujahr	KMH (3-6 WE)		MMH (7-12 WE)		GMH (> 12 WE)	
	WG [10 <sup>3</sup> ]	WF [10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup> ]	WG [10 <sup>3</sup> ]	WF [10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup> ]	WG [10 <sup>3</sup> ]	WF [10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup> ]
bis 1918	395,4	118,6	102,5	61,3	26,9	36,4
1919-1948	296,5	83,7	76,5	46,2	7,0	10
1949-1957	263,8	72,9	144,9	80	16,8	18,5
1958-1968	<b>401,5</b>	<b>131,4</b>	<b>161,8</b>	<b>92,8</b>	33,2	53,4
1969-1978	240,0	74,7	83,3	49,6	<b>41,6</b>	<b>83,6</b>
1979-1983	89,8	32,5	49,0	31,1	14,2	21,9
1984-1994	215,0	72,4	105,9	67,7	27,0	64,9
1995-2001	152,0	51,3	66,4	45,8	17,4	39,2
ab 2002	69,8	25,6	26,8	15,9	8,3	18,8

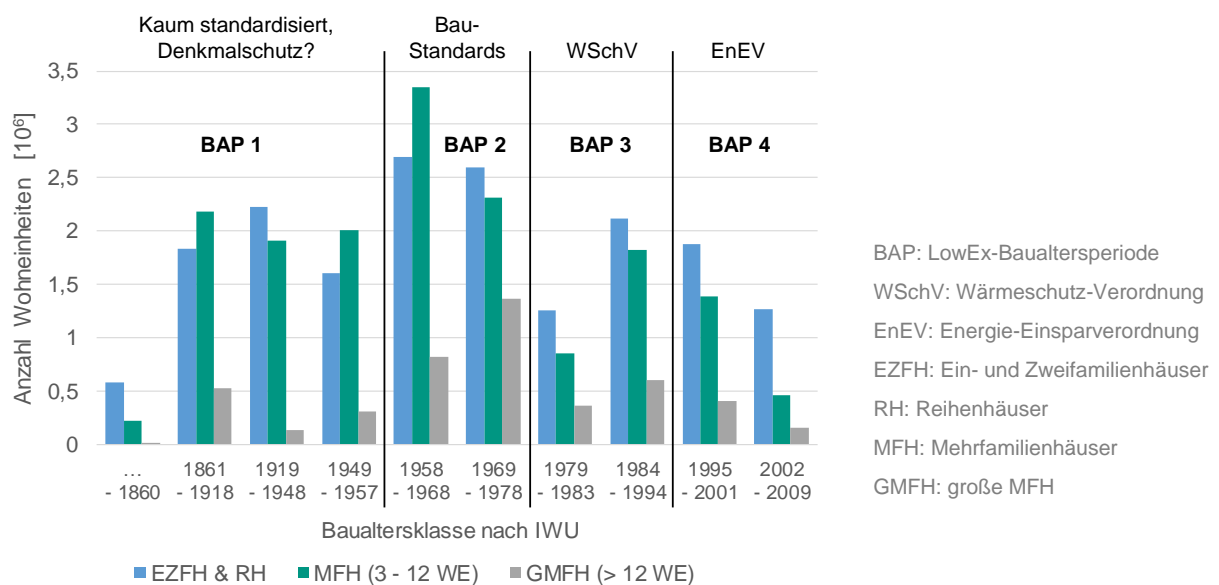


Abbildung 2-1: Deutscher Gebäudebestand - Gebäudetypen und Baualter

In Abbildung 2-1 ist neben der Häufigkeit von Gebäudetypen in bestimmten BAK auch jeweils der Baustandard bei Erbauung markiert. Im Rahmen von LowEx-Bestand wurden insbesondere die BAK 1958 bis 1994 näher betrachtet. Aufgrund der ähnlichen Wärmedurchgangskoeffizienten und Wohnflächen pro WE, wurden für LowEx-Bestand die beiden BAK 1958-68 und 1969-78 zur Baualtersperiode (BAP) 1958-78 zusammengelegt. Die zweite zentrale BAP 1979-94 wurde aus den beiden BAK 1979-83 und 1984-94 gebildet.

Vor 1958 wurde wenig standardisiert gebaut; aus dieser Zeit noch bestehende Gebäude unterliegen zudem teilweise dem Denkmalschutz. Die Gebäude dieser BAP wurden sehr individuell saniert und weisen heute vermutlich sehr unterschiedliche energetische Standards auf. Deshalb wurde in LowEx-Bestand nicht auf diese BAP fokussiert.

Während BAP 2 wurde geometrisch schon weitgehend standardisiert gebaut, es wurde auch eine hohe Anzahl WE in MFH errichtet. Es gab jedoch noch keine Vorgaben hinsichtlich des Wärmeschutzes. Hier ist also mit deutlichen Einsparungen durch LowEx-Maßnahmen zu rechnen. Diese werden auch oft im Zuge von Maßnahmen an der Gebäudehülle umgesetzt.

Während der BAP ab 1978 waren diese Vorgaben durch die Wärmeschutzverordnung vorhanden. Hier liegt der Fokus auf der zeitnah zu erwartenden Sanierung verschiedener Gebäudekomponenten durch das Überschreiten ihrer technischen Lebensdauer.

### 3 Thermische Gebäudeparameter

Das nachfolgende Kapitel beschreibt neben den Wärmedurchgangskoeffizienten der Gebäudehülle auch grundlegende Simulationsparameter wie Soll-Raumtemperatur, Luftwechselzahlen etc.

#### 3.1 Wärmedurchgangskoeffizienten der BAP 1958-78

Die vom Sanierungsgrad abhängigen U-Werte sind in Tabelle 3-1 dargestellt. Hier kann zwischen dem Erbauungszustand, aktuellem Ist-Zustand (Bestandszustand), der standardmäßigen GEG-Sanierung und einer ambitionierteren Sanierung mit U-Werten in Anlehnung an eine Passivhaus-Sanierung unterschieden werden. Abweichend zum Passivhaus-Standard wird in der Wärmebedarfs-Berechnung jedoch keine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung berücksichtigt.

*Tabelle 3-1: Berechnete U-Werte der opaken Bauteile und Verglasungsarten für **BAP 1958-78** basierend auf Literatur<sup>1</sup> nach (Loga et al. 2015; Cischinsky und Diefenbach 2018; Loga et al. 2005)*

	Erbauungs-Zustand		Bestands-Zustand		GEG-Sanierung		Anlehnung an Passivhaus-Sanierung	
	U-Wert [W/(m²K)]		U-Wert [W/(m²K)]		U-Wert [W/(m²K)]		U-Wert [W/(m²K)]	
Außenwand	1,12		0,31		0,23		0,13	
Oberste Geschossdecke	0,60		0,26		0,6		0,6	
Dach	1,60		1,60		0,19		0,13	
Unterster Geschossboden	1,32		0,39		0,30		0,20	
Fenster	g-Wert	U-Wert	g-Wert	U-Wert	g-Wert	U-Wert	g-Wert	U-Wert
	0,87	4,7	0,6	1,9	0,6	1,3	0,5	0,7

#### Erbauungszustand, GEG- und Passivhaussanierung

Die Wärmedurchgangskoeffizienten aus Tabelle 3-1 basieren auf Literaturangaben des Projektes TABULA (IWU 2012; Loga et al. 2015). Durch das Zusammenlegen zweier BAK zu einer einzigen BAP mit teilweise voneinander abweichenden U-Werten, werden die Wärmedurchgangskoeffizienten nach Formel (3-1) flächengemittelt berechnet:

$$\bar{U}_{1,2} = \frac{\sum_{i=1}^2 n_{GE,i} \cdot A_{BT,i} \cdot U_{BT,i}}{\sum_{i=1}^2 n_{GE,i} \cdot A_{BT,i}} \quad (3-1)$$

Hierbei wird der bauteilspezifischen U-Wert ( $U_{BT}$ ), die Bauteilfläche ( $A_{BT}$ ) und die jeweilige Gebäudeanzahl ( $n_{GE}$ ) der spezifischen BAK benötigt. Die Anzahl der Gebäude ( $n_{GE}$ ) entstammt dem Zensus und kann Tabelle 2-1 entnommen werden. Da das Tabula Projekt bereits von sanierten Fenstern für die BAK 1958-78 ausgeht, werden die U-Werte der transparenten Bauteile für den Erbauungszustand nach VFF und BF (2017) und Loga et al. (2005) definiert.

#### Bestands-Zustand:

Aufgrund von Einflussfaktoren wie dem Erbauungsjahr, der Bausubstanz oder Eigentümerinteressen entspricht der aktuelle Ist-Zustand des Gebäudes in der Regel nicht mehr dem Erbauungszustand. Die

<sup>1</sup> Diese Werte weichen leicht von den in der Simulation verwendeten Werten ab (vgl. Tabelle 9-1).

Sanierungsmaßnahmen für die BAK 1958-78 aus Tabelle 3-2 werden nach Cischinsky und Diefenbach (2018) angenommen und sind als Wärmedurchgangskoeffizient in Tabelle 3-1 hinterlegt.

*Tabelle 3-2: Anteil nachträglich gedämmter Bauteile im MFH-Altbau bis Baujahr 1978 nach (Cischinsky und Diefenbach 2018).*

Bauteil	Gebäudeanteil mit nachträglicher Dämmung	Mittlere Dämmstoffdicken
Außenwand	37,1 %	0,09 m
Dach / Obergeschossdecke bei unbeheiztem Dachraum	41,6 %	0,13 m
Fußboden / Kellerdecke	18,9 %	0,08 m

Da die technische Lebensdauer von Fenstern (ca. 40 Jahre) unter dem Gebäudealter der jüngsten Generation (1978) liegt wird angenommen, dass keine Fenster aus dem Erbauungszustand mehr im Bestand dieser BAP vorhanden sind (BMI 2017, S. 9). Bei einem Einbau der Fenster nach 1995 kann eine Wärmeschutzverglasung (WSV) vorausgesetzt werden. Auf diese Periode entfallen nach Cischinsky und Diefenbach (2018, S. 70) 57 % der Fenster. Hier wird entsprechend nach Loga et al. (2005, S. 10 Teil II) eine Zwei-Scheiben Isolierverglasung mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten von 1,9 W/(m²K) angenommen.

### 3.2 Wärmedurchgangskoeffizienten der BAP 1979-94

Die Wärmedurchgangskoeffizienten der BAP 1979-94 unterscheiden sich gegenüber der BAP 1958-78 hauptsächlich im Erbauungszustand. Aufgrund des jungen Baualters wird nur für die Fenster eine bis dato erfolgte Sanierung angenommen. Für alle weiteren Hüllkomponenten sind die U-Werte des Erbauungs- und Bestandszustandes identisch.

*Tabelle 3-3: Berechnete U-Werte der opaken Bauteile und Verglasungsarten für **BAP 1979-94** basierend auf Literatur<sup>1</sup> nach (Loga et al. 2015; Cischinsky und Diefenbach 2018; Loga et al. 2005)*

	Erbauungs-Zustand		Bestands-Zustand		GEG-Sanierung		Anlehnung an Passivhaus-Sanierung	
	U-Wert [W/(m²K)]		U-Wert [W/(m²K)]		U-Wert [W/(m²K)]		U-Wert [W/(m²K)]	
Außenwand	0,65		0,65		0,20		0,13	
Oberste Geschossdecke	0,43		0,43		0,16		0,13	
Dach	1,60		1,60		0,19		0,13	
Unterster Geschossboden	0,67		0,67		0,30		0,20	
Fenster	g-Wert 0,87	U-Wert 4,7	g-Wert 0,6	U-Wert 1,9	g-Wert 0,6	U-Wert 1,3	g-Wert 0,5	U-Wert 0,7

<sup>1</sup> Diese Werte weichen leicht von den in der Simulation verwendete Werten ab (vgl. Tabelle 9-2).

### 3.3 Randbedingungen zur Energiebedarfsrechnung

Tabelle 3-4 bildet die zentralen Randbedingungen zur Energiebedarfsrechnung ab. Die Werte basieren hierbei auf verschiedenen Richtlinien und Normen zur Gebäudeenergiebedarfsrechnung. Weitere Quellen bzgl. der hier aufgeführten Kenngrößen sind im Anhang (vgl. Kapitel 9.4) zu finden.

*Tabelle 3-4: Nutzungsrandbedingungen zur Energiebedarfsrechnung basierend auf Literaturangaben*

Kenngröße	Wert	Quelle / Anmerkung
Raum-Solltemperatur	20 °C	DIN V 18599-10, S. 17
Interne Wärmeleistung	90 Wh/(m <sup>2</sup> d) <sup>a)</sup>	DIN V 18599-10, S. 17
Luftwechselrate Wohnraum	0,6 h <sup>-1</sup>	DIN V 4108-6, S. 74
	0,7 h <sup>-1</sup>	gilt für Erbauungszustand bei BAK 58-78
Luftwechselrate Dachboden	1,0 h <sup>-1</sup>	DIN EN 12831-1, S. 76
	0,5 h <sup>-1</sup>	gilt für sanierte Dächer
Luftwechselrate Keller	0,5 h <sup>-1</sup>	DIN EN 12831-1, S. 76
Bewohneranzahl	1,7 Pers/WE	Ebert 2020, S. 60
Wärmebrückenzuschlag	0,1 W/(m <sup>2</sup> K)	DIN 4108-4, S. 75
	0,05 W/(m <sup>2</sup> K)	gilt für Passivhaussanierung
Heizgrenztemperatur	19 °C	gilt für Erbauungszustand
	15 °C	gilt für Bestands-/GEG-Zustand
	12 °C	gilt für Passivhauszustand
Verschattungsfaktor <sup>b)</sup>	0,1	DIN EN ISO 13790, S. 133
Fensterrahmenanteil	0,25	DIN EN ISO 52016-1, S. 200

a) Wert bezieht sich auf Nettogrundfläche  
b) Dauerhafte Einstrahlungsreduktion durch innenliegenden Sichtschutz



## 4 Geometrische Gebäudeparameter

Die Geometrie der Gebäude basiert auf den Abmessungen eines realen 60er Jahre MFH aus Karlsruhe-Durlach. Im Gegensatz zur Berechnung der Wärmedurchgangskoeffizienten werden somit keine gemittelten Datensätze verwendet. Folglich wird auf der einen Seite zwar kein „Durchschnittsgebäude“ abgebildet, auf der anderen Seite wird jedoch verhindert, dass es durch die Mittelung zu unrealistischen Geometrieabmessung kommt. Die Abstufung zwischen dem kleinen, mittleren und großen MFH geschieht über ein „Baukastenprinzip“. Das bedeutet, dass der Grundriss der einzelnen Wohnung jeweils konstant bleibt und sich nur die Anzahl der Geschosse und Treppenhäuser verändert. Die Gebäude werden vereinfachend sowohl für die BAP 1958-78 sowie BAP 1979-94 genutzt. Tabelle 4-1 stellt typische Raumgrößen der verschiedenen Bauperioden den Werten des Referenzgebäudes gegenüber. Die Räume des 1963 erbauten MFH sind für damalige Verhältnisse sehr groß und befinden sich am oberen Ende der typischen Raumgrößen. Für die späteren Baualtersklassen 1970-1980 steigt die durchschnittliche Raumgröße an, sodass die Räume des Referenzgebäudes auch für die BAK 1979-94 geeignet erscheinen.

*Tabelle 4-1: Einordnung der Raumgrößen des Referenzgebäudes im Vergleich zu typischen Raumgrößen für die Baujahre 1960 bis 1980 (Ebert 2020, S. 30)*

Raumbezeichnung	Referenz	Raumgrößen in m <sup>2</sup>		
		1960	1970	1980
Küche	7.8	6,1 – 9,1	6,3 – 9,4	6,5 – 9,7
Schlafzimmer	15.6	11,7 – 15,2	12,0 – 15,7	12,4 – 16,1
Kinderzimmer <sup>*)</sup>	18.7	8,6 – 14,2	8,9 – 14,6	9,1 – 15,1
Bad	3.7	3,0 – 6,0	3,0 – 6,0	3,0 – 6,0
Wohnzimmer	20.9	13,7 – 20,3	14,1 – 20,9	14,5 – 21,5
Flur	8.2	-	-	-
Abstellraum	0.9	-	-	-

<sup>\*)</sup> Originalgröße beträgt 14.2 m<sup>2</sup>: Durch das Eingliedern der ursprünglich vorhandenen Loggia wurde die Außenkontur für Simulationen vereinfacht und das Kinderzimmer auf 18.7 m<sup>2</sup> vergrößert

Tabelle 4-2 listet die zentralen geometrischen Parameter zur Berechnung der Gebäudekubatur des kleinen, mittleren und großen MFH auf (Flächenmaße der Außenwände jeweils als Innenmaß).

#### 4 Geometrische Gebäudeparameter

Tabelle 4-2: Geometrische Gebäudeparameter der BAP 1958-78 und 1979-94

Kenngroße	KMH	MMH	GMH
Anzahl Vollgeschosse	2	3	5
Anzahl Wohneinheiten	4	12	30
Anzahl Treppenhäuser	1	2	3
Keller	Vorhanden & Unbeheizt		
Dachraum	Vorhanden & Unbeheizt (Satteldach)		
Gebäudeorientierung	Nord-Süd (Giebelseite)		
Gebäudemaße	11,9 m x 16,1 m	11,9 m x 32,1 m	11,9 m x 48,1 m
Lichte Gebäudemaße	11,3 m x 15,5 m	11,3 m x 31,5 m	11,3 m x 47,5 m
Geschosshöhe	2,75 m		
Lichte Raumhöhe	2,55 m		
Kellerhöhe	2,35 m		
Lichte Kellerhöhe	2,15 m, davon 1,35 m unter Geländeoberkante		
Dachraumhöhe	3,9 m (First)		
Lichte Dachraumhöhe	3,7 m (First)		
Kniestockhöhe	0,8 m		
Dachneigung	27		
Konditionierte Wohnfläche pro WE	75,7 m <sup>2</sup> (ohne Treppenhaus)		
Nettogrundfläche	323,2 m <sup>2</sup>	969,5 m <sup>2</sup>	2423,7
Unterste / oberste Geschossebene	191,5 / 191,5 m <sup>2</sup>	381,6 / 381,6 m <sup>2</sup>	571,7 / 571,7 m <sup>2</sup>
Dachfläche (Ost / West – ohne Überstand)	98,2 / 98,2 m <sup>2</sup>	199,5 / 199,5 m <sup>2</sup>	300,8 / 300,8 m <sup>2</sup>
Transparente Fassade - Nord	1,6 m <sup>2</sup>	2,4 m <sup>2</sup>	3,9 m <sup>2</sup>
Transparente Fassade - Ost	19,2 m <sup>2</sup>	60,6 m <sup>2</sup>	157,9 m <sup>2</sup>
Transparente Fassade - Süd	1,6 m <sup>2</sup>	2,4 m <sup>2</sup>	3,9 m <sup>2</sup>
Transparente Fassade - West	25,0 m <sup>2</sup>	75,1 m <sup>2</sup>	187,8 m <sup>2</sup>
Opake Fassade - Nord	60,5 m <sup>2</sup>	90,7 m <sup>2</sup>	151,2 m <sup>2</sup>
Opake Fassade - Ost	66,2 m <sup>2</sup>	199,4 m <sup>2</sup>	495,6 m <sup>2</sup>
Opake Fassade - Süd	60,5 m <sup>2</sup>	90,7 m <sup>2</sup>	151,2 m <sup>2</sup>
Opake Fassade - West	60,3 m <sup>2</sup>	184,9 m <sup>2</sup>	465,6 m <sup>2</sup>

Die folgenden Abschnitte bilden jeweils neben dem Grundriss eine Außenansicht für den betreffenden Gebäudetyp ab. Weitere Außenansichten finden sich im Anhang 9.1)

4.1 Kleines Mehrfamilienhaus

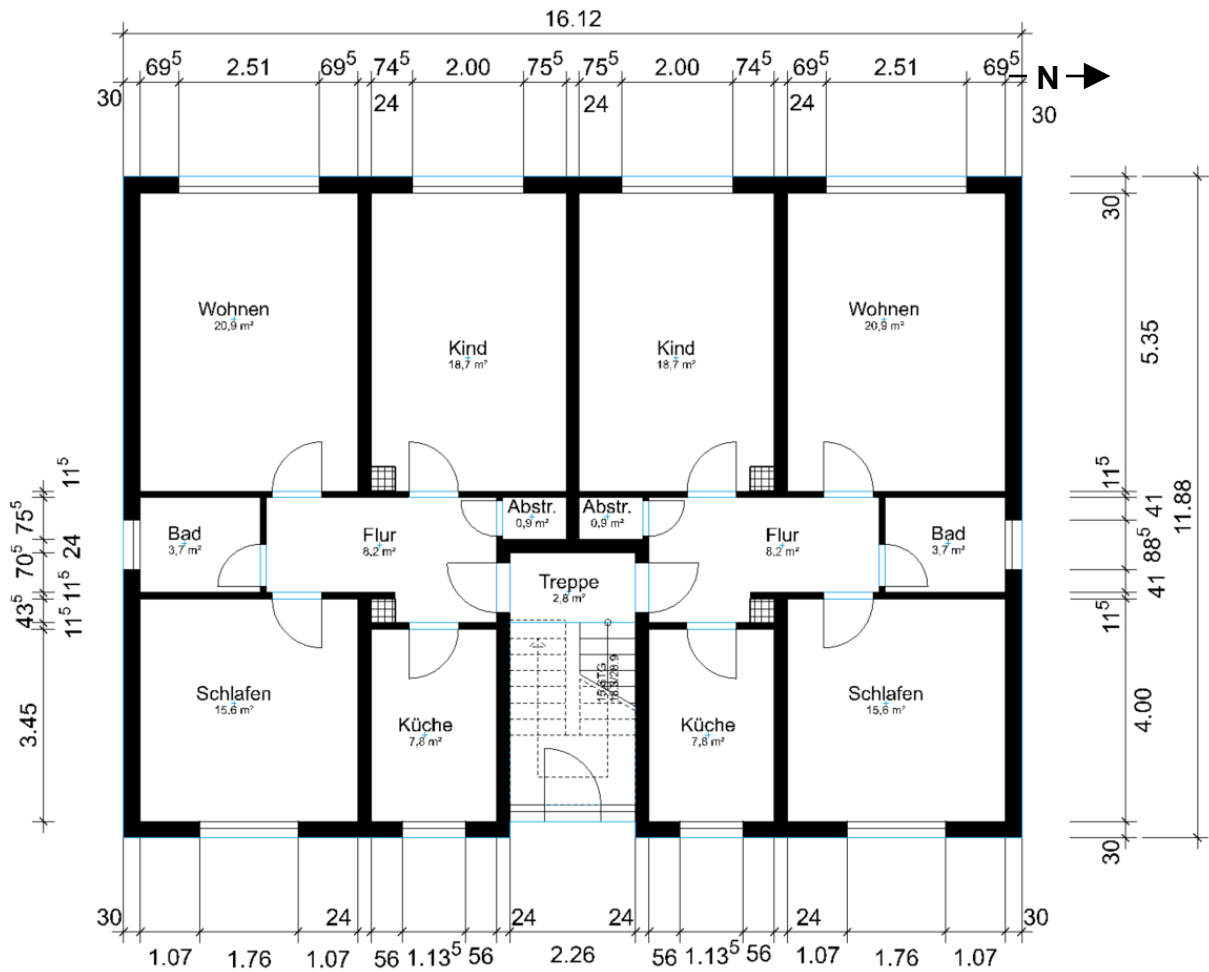


Abbildung 4-1: Grundriss des KMH mit 4 Wohneinheiten auf 2 Stockwerken in Anlehnung an das MFH in Karlsruhe-Durlach

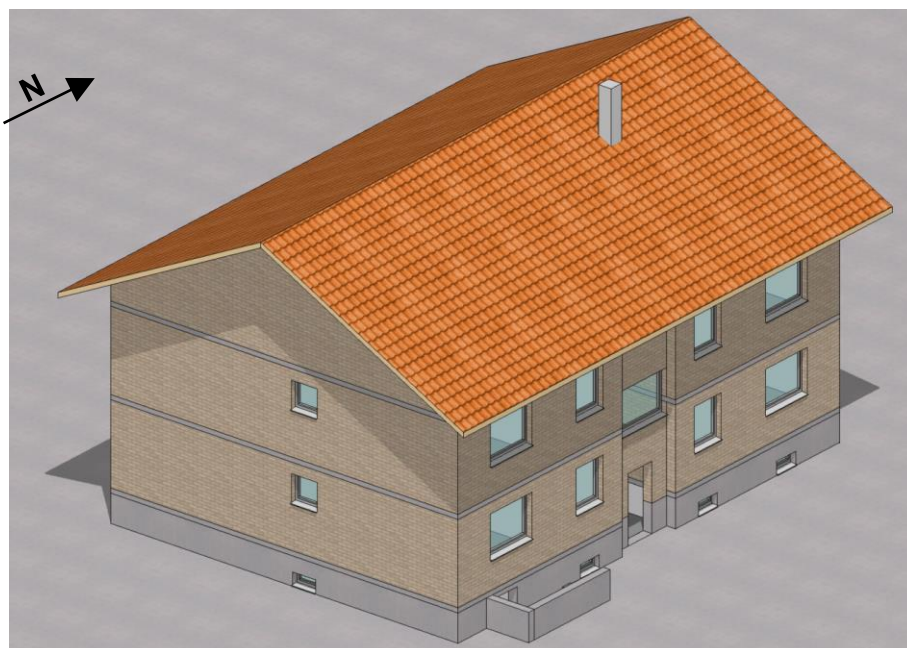


Abbildung 4-2: Isometrische Außenansicht des KMH

### 4.2 Mittleres Mehrfamilienhaus

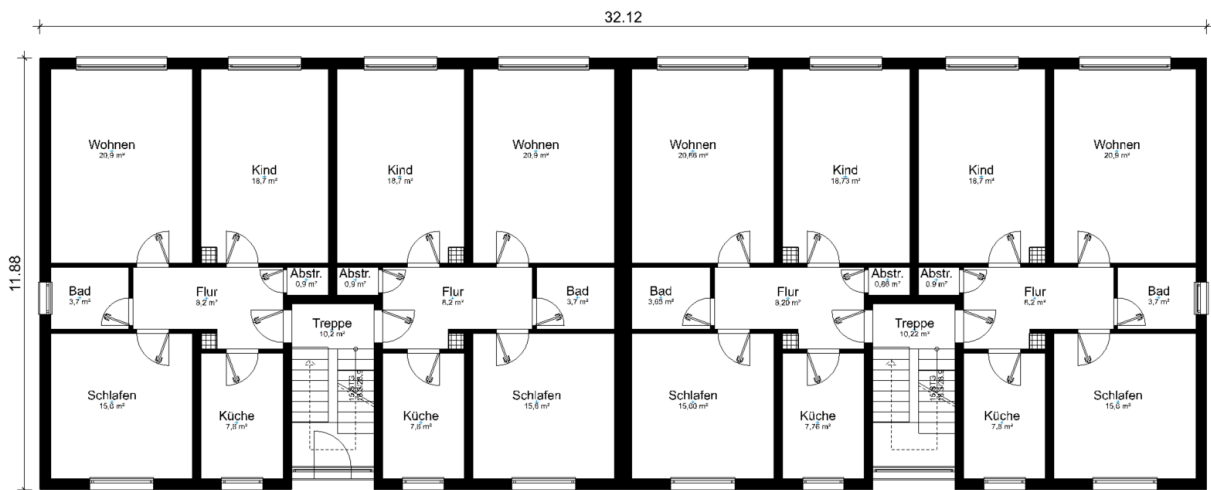


Abbildung 4-3: Grundriss des MMH mit 12 Wohneinheiten auf 3 Stockwerken in Anlehnung an das MFH in Karlsruhe-Durlach (Raumgrößen identisch mit KMH)

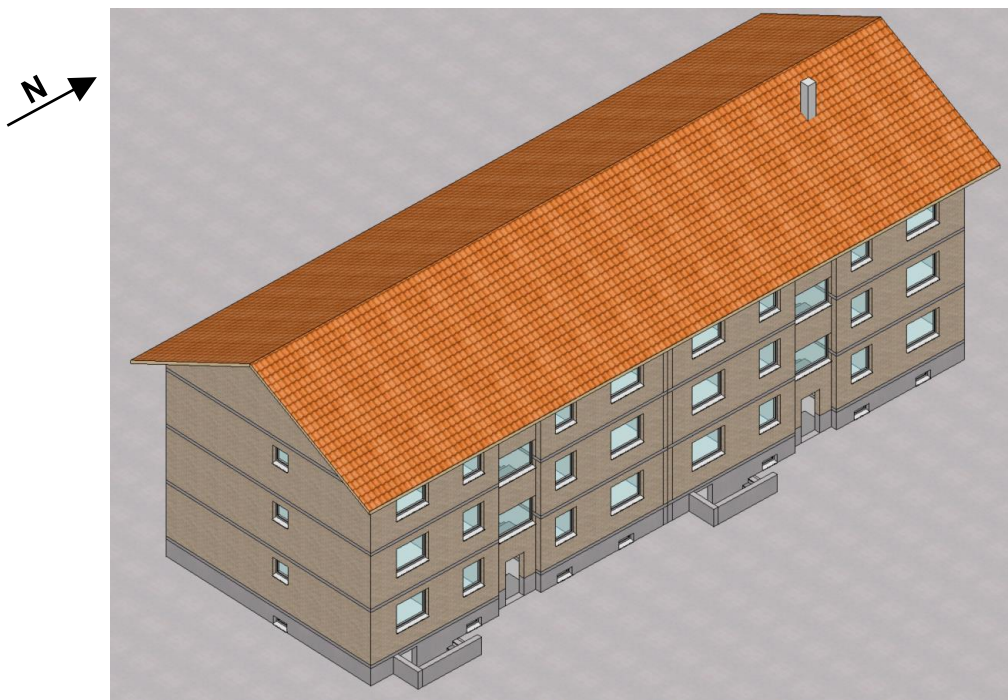


Abbildung 4-4: Isometrische Außenansicht des MMH

## 4.3 Großes Mehrfamilienhaus

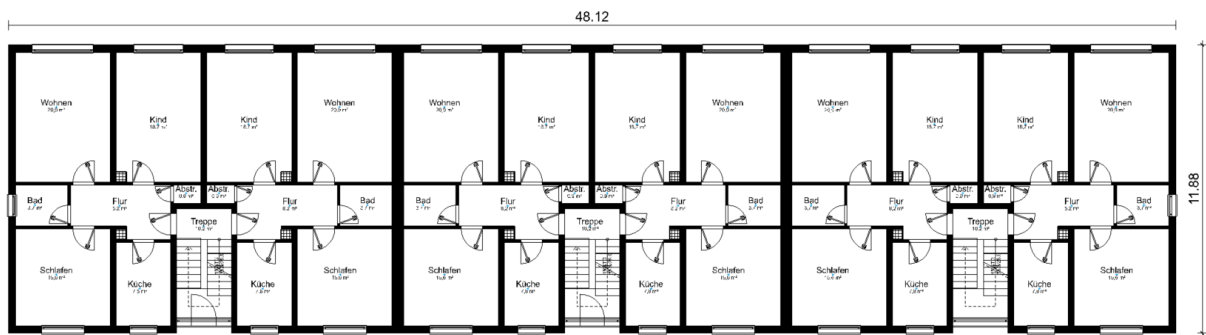


Abbildung 4-5: Grundriss des GMH mit 30 Wohneinheiten auf 5 Stockwerken in Anlehnung an das MFH in Karlsruhe-Durlach (Raumgrößen identisch mit KMH)

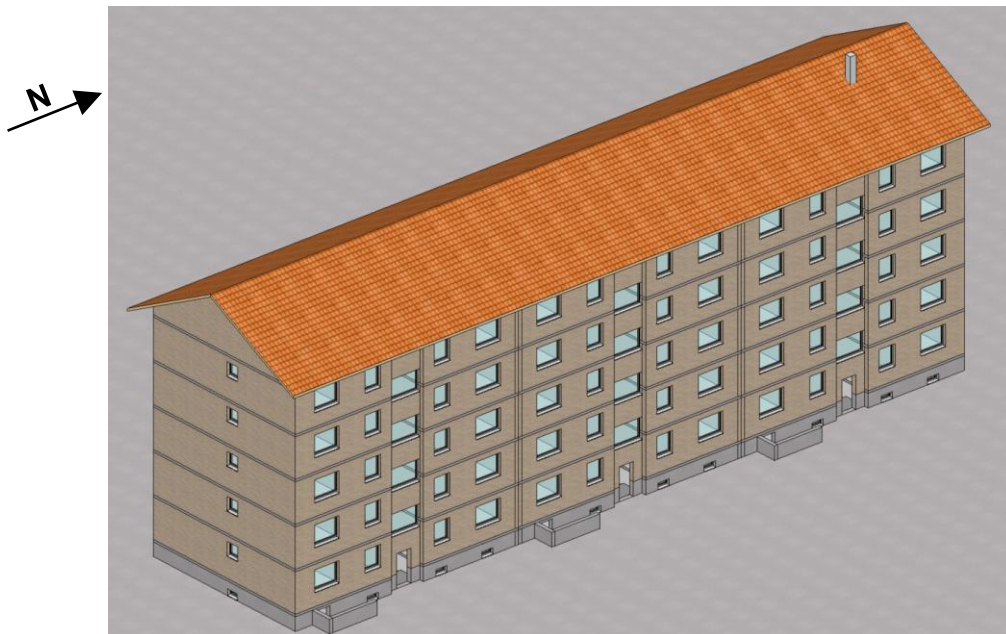


Abbildung 4-6: Isometrische Außenansicht des GMH



## 5 Sanierungs-Zustände

Grundsätzlich können die einzelnen Komponenten der Gebäude unabhängig voneinander saniert werden. Zum Beispiel ist es denkbar, dass ein Gebäude bereits eine Außenwand- und Fenstersanierung auf GEG-Niveau erhalten hat, jedoch die unterste Geschossdecke sowie das Dach sich noch im Erbauungszustand befinden. Folglich sind unterschiedlichste Konstellationen an Sanierungsmaßnahmen (vgl. Tabelle 5-1 und Tabelle 5-2) möglich. Eine detaillierte Auflistung der einzelnen U-Werte etc. befindet sich im Anhang (vgl. Kapitel 9.3).

*Tabelle 5-1: Untersuchte Maßnahmenpakete der BAP 1958-78 mit den Abkürzungen  
E = Erbauungszustand, B = Bestand, S = GEG-Niveau, P = U-Werte Passivhaus-Niveau*

Ausgangszustand: Sanierungs- Niveau von „o“	Endzustand: Sanierungs- Niveau von „x“	Fenster	Wand	Decke <sup>1)</sup>	Dach	Boden <sup>2)</sup>	Endzustand: Codierung 1	Endzustand: Codierung 2	Haupt- varianten
E	E	o	o	o	o	o	fE.wE.deE.daE.bE	E	E
	B	x	o	o	o	o	fB.wE.deE.daE.bE	B1	B1
	B	x	x	o	o	o	fB.wB.deE.daE.bE	B2	-
	B	x	x	x	o	x	fB.wB.deB.daE.bB	B	B
B1	S	o	o	o	o	x	fB.wE.deE.daE.bS	S1	-
	S	o	o	o	x	o	fB.wE.deE.daS.bE	S2	-
	S	x	x	o	o	o	fS.wS.deE.daE.bE	S3	-
	S	x	x	o	x	o	fS.wS.deE.daS.bE	S4	-
	S	x	x	o	x	x	fS.wS.deE.daS.bS	S	S
	P	x	x	o	x	x	fP.wP.deE.daP.bP	P	P
B2	S	o	o	o	x	x	fB.wB.deE.daS.bS	S5	-
B	S	x	x	o	x	x	fS.wS.deB.daS.bS	S6	-
	P	x	x	o	x	x	fP.wP.deB.daP.bP	P1	-

1) Decke = oberste Geschossdecke (Trennung beheiztes Raumvolumen von unbeheiztem Dachraum)

2) Boden = unterste Geschossdecke (Trennung beheiztes Raumvolumen von unbeheiztem Keller)

*Tabelle 5-2: Untersuchte Maßnahmenpakete der BAP 1979-94 mit den Abkürzungen E =  
Erbauungszustand, B = Bestand, S = GEG-Niveau, P = U-Werte Passivhaus-Niveau*

Ausgangszustand: Sanierungs-Niveau von „o“	Endzustand: Sanierungs- Niveau von „x“	Fenster	Wand	Decke <sup>1)</sup>	Dach	Boden <sup>2)</sup>	Endzustand: Codierung 1	Endzustand: Codierung 2 <sup>3)</sup>	Haupt- varianten
E	E	o	o	o	o	o	fE.wE.deE.daE.bE	E	E
	S	o	o	o	o	x	fE.wE.deE.daE.bS	S1	-
	S	o	o	x	o	o	fE.wE.deS.daE.bE	S2	-
	S	x	x	o	o	o	fS.wS.deE.daE.bE	S3	-
	S	x	x	x	o	o	fS.wS.deS.daE.bE	S4	-
	S	x	x	x	o	x	fS.wS.deS.daE.bS	S	S
	P	x	x	x	o	x	fP.wP.deP.daE.bP	P	P

1) Decke = oberste Geschossdecke (Trennung beheiztes Raumvolumen von unbeheiztem Dachraum)

2) Boden = unterste Geschossdecke (Trennung beheiztes Raumvolumen von unbeheiztem Keller)

3) Unterschied bei S2 bzw. S4 in der BAK 58 und '78: Bei '58 wird das Dach gedämmt und bei '78 die OGD



## 6 Sanierungs-Szenarien und Nutzungsdauern

Die Analyse in LowEx-Bestand erfolgt für verschiedene Ausgangssituationen, die in Abbildung 7 zusammengefasst sind. Die Hintergründe der verschiedenen Szenarien werden im Folgenden in der Reihenfolge ihrer Priorität für die Simulation erläutert:

BAK	Szenario	1970	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	Priorität		
		Betrachtungszeitraum (2020-2045)							KMH	MMH	GMH	
1958-78	70_main	E			B1		S/P			7	1	7
	70_min	E			B1			S/P				3
	70_part	E			B1		S1...S4					6
	70_mid	E			B			S6/P1				5
	70_max	E			B			S6/P1				4
1979-94	90_main			E			S/P			8	2	8

Abbildung 7: Übersicht über die zu berechnenden Szenarien für die Gebäudehülle (Betrachtungszeitraum gelb markiert)

### 70\_main:

Die Hauptanalyse für BAP 1958-78 wird für ein **1970 errichtetes Gebäude (E)** durchgeführt. Im Jahr 2000, als die Lebensdauer der Fenster abgelaufen war, wurde die notwendige Sanierung durchgeführt, d. h. die Fenster wurden ausgetauscht (B1). Zu Beginn des Betrachtungszeitraums im Jahr 2020 muss das Wärmeversorgungssystem ausgetauscht werden und gleichzeitig wird die Gebäudehülle nach GEG (S) oder mit U-Werten vergleichbar mit Passivhausstandard (P) saniert. Da das Dach saniert wird, bleibt die oberste Geschossdecke im Erbauungszustand. Die Zeitpunkte zum Austausch der verschiedenen Hüllkomponenten sind in Abbildung 8 dargestellt. Die Restnutzungsdauer bezieht sich auf die verbleibende Nutzungsdauer nach 2045.

70_main	Nutzungsdauer	1970	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	Restnutzungs-dauer
		E			B1		S/P			
Fenster	30 a									5 a
Dach	40 a									15 a
Fassade	40 a									15 a
Decke	50 a									0 a
Boden	50 a									25 a

Abbildung 8: Zeitplan für das Szenario 70\_main (Betrachtungszeitraum gelb markiert)

### 90\_main:

Die Hauptanalyse für BAP 1979-94 wird für ein **1990 errichtetes Gebäude (E)** durchgeführt. Zu Beginn des Betrachtungszeitraums im Jahr 2020, wenn die Lebensdauer der Fenster abgelaufen ist, wird eine vollständige energetische Sanierung nach GEG (S) oder mit U-Werten vergleichbar mit Passivhausstandard (P) durchgeführt. Das Dach wird nicht saniert, da seine Lebensdauer zum Zeitpunkt der Sanierung noch nicht abgelaufen ist. Die Zeitpunkte zum Austausch der verschiedenen Hüllkomponenten sind in Abbildung 9 dargestellt.

90_main	Nutzungsdauer	1970	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	Restnutzungs-dauer
				E			S/P			
Fenster	30 a									5 a
Dach	40 a									0 a
Fassade	40 a									15 a
Decke	50 a									25 a
Boden	50 a									25 a

Abbildung 9: Zeitplan für das Szenario 90\_main (Betrachtungszeitraum gelb markiert)

### 70\_min:

Diese Ausgangssituation beschreibt den geringstmöglichen Aufwand bei der Hüllsanierung eines im Jahr 1990 errichteten Gebäudes (E). Im Jahr 2000, als die Lebensdauer der Fenster abgelaufen war,

wurde die notwendige Sanierung durchgeführt, d. h. die Fenster wurden ausgetauscht (B1). Dach und Fassade werden über ihre Lebensdauer hinaus genutzt. Innerhalb des Betrachtungszeitraums im Jahr 2030, wenn die Lebensdauer der Fenster ein zweites Mal abläuft, wird eine energetische Vollsanierung nach den gesetzlichen Anforderungen des GEG (S) oder mit U-Werten vergleichbar mit Passivhausstandard (P) durchgeführt. Da das Dach saniert wird, bleibt die oberste Geschossdecke im Erbauungszustand. Die Zeitpunkte zum Austausch der verschiedenen Hüllkomponenten ist in Abbildung 10 dargestellt.

70_min	1970	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	Restnutzungsdauer
Nutzungsdauer	E			B1			S/P		
Fenster	30 a								15 a
Dach	40 a								25 a
Fassade	40 a								25 a
Decke	50 a								0 a
Boden	50 a								35 a

Abbildung 10: Zeitplan für das Szenario 70\_min (Betrachtungszeitraum gelb markiert)

**70\_max:**

Diese Ausgangssituation beschreibt den maximalen Aufwand bei der Hüllsanierung eines im Jahr 1970 errichteten Gebäudes (E). Im Jahr 2000, als die Lebensdauer der Fenster abgelaufen war, wurde eine vollständige energetische Sanierung nach dem damaligen Energiestandard durchgeführt (B). In diesem Fall wurde die oberste Geschossdecke gedämmt, nicht das Dach. Zu Beginn des Betrachtungszeitraums im Jahr 2020 muss das Wärmeversorgungssystem ausgetauscht werden und die Gebäudehülle wird gleichzeitig nach GEG (S6) oder mit U-Werten vergleichbar mit Passivhausstandard (P1) saniert. Die bereits sanierte Decke wird nicht mehr angefasst. Die Zeitpunkte zum Austausch der verschiedenen Hüllkomponenten ist in Abbildung 11 dargestellt.

70_max	1970	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	Restnutzungsdauer
Nutzungsdauer	E			B		S6/P1			
Fenster	30 a								5 a
Dach	40 a								15 a
Fassade	40 a								15 a
Decke	50 a								0 a
Boden	50 a								25 a

Abbildung 11: Zeitplan für das Szenario 70\_max (Betrachtungszeitraum gelb markiert)

**70\_mid (Durlach):**

Diese Ausgangssituation beschreibt einen Mittelweg zwischen minimalem und maximalem Aufwand bei der Hüllsanierung eines 1970 errichteten Gebäudes (E). Im Jahr 2000, als die Lebensdauer der Fenster abgelaufen war, wurde eine vollständige energetische Sanierung nach dem damaligen Energiestandard durchgeführt (B). In diesem Fall wurde die oberste Geschossdecke gedämmt, nicht das Dach. Innerhalb des Betrachtungszeitraums im Jahr 2030, wenn die Lebensdauer der Fenster ein zweites Mal abläuft, wird eine energetische Vollsanierung nach den gesetzlichen Anforderungen des GEG (S) oder mit U-Werten vergleichbar mit Passivhausstandard (P) durchgeführt. Da das Dach saniert wird, bleibt die oberste Geschossdecke im Erbauungszustand. Die Zeitpunkte zum Austausch der verschiedenen Hüllkomponenten ist in Abbildung 12 dargestellt.

70_mid	1970	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	Restnutzungsdauer
Nutzungsdauer	E			B			S6/P1		
Fenster	30 a								15 a
Dach	40 a								25 a
Fassade	40 a								25 a
Decke	50 a								0 a
Boden	50 a								35 a

Abbildung 12: Zeitplan für das Szenario 70\_mid (Betrachtungszeitraum gelb markiert)

**70\_part:**

Dieses Szenario beschreibt Teilsanierungen, um die Auswirkungen der Sanierung einzelner Komponenten der Gebäudehülle eines 1970 errichteten Gebäudes (E) zu analysieren. Im Jahr 2000, als die Lebensdauer der Fenster abgelaufen war, wurde die notwendige Sanierung durchgeführt, d. h. die Fenster wurden ausgetauscht (B1). Zu Beginn des Betrachtungszeitraums im Jahr 2020 muss das Wärmeversorgungssystem ausgetauscht werden und gleichzeitig werden einzelne Komponenten der Gebäudehülle saniert (S1 ... S4). Die Zusammensetzung der Teilsanierungszustände und die Zeitpunkte zum Austausch der verschiedenen Hüllkomponenten ist in Abbildung 13 dargestellt.

70_part	1970	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	Restnutzungsdauer
Nutzungsdauer	E			B1		S1/S2/S3/S4			
Fenster	30 a					S3 S4			0/0/5/5 a
Dach	40 a					S2 S4			0/15/0/15 a
Fassade	40 a					S3 S4			0/0/15/15 a
Decke	50 a								0/0/0/0 a
Boden	50 a					S1 S2			25/25/0/0 a

Abbildung 13: Zeitplan für das Szenario 70\_part (Betrachtungszeitraum gelb markiert)

**Gebäudegröße:**

Der Einfluss der Gebäudegröße auf die Ergebnisse wird anschließend für die Hauptszenarien beider BAPs analysiert, d. h. durch Betrachtung von KMH and GMH für 70\_main und 90\_main.

**Wärmeversorgungssystem:**

In den Szenarien 70\_min und 70\_mid findet innerhalb des Betrachtungszeitraums eine Hüllsanierung statt. Das heißt, auch der Raumwärmebedarf und die Nennheizlast ändern sich im Jahr 2030. Das Wärmeversorgungssystem muss in jedem Fall im Jahr 2020 ausgetauscht werden. Innerhalb des Betrachtungszeitraums sind Erneuerungen im Wärmeversorgungssystem notwendig, wie Abbildung 14 zeigt. Das System kann nun für den reduzierten Wärmebedarf kleiner dimensioniert werden.

	Nutzungsdauer	2020	2030	2040	Restnutzungsdauer
Gaskessel	18 a				11 a
Heizstab	22 a				19 a
Speicher	25 a				0 a
WP Luft	18 a				11 a
WP Sole	20 a				15 a
Bohrloch	50 a				25 a

Abbildung 14: Zeitplan der Erneuerungen im Wärmeversorgungssystem (Betrachtungszeitraum gelb markiert)



## 7 Simulation der Last-Zeitreihen

In diesem Kapitel werden die grundlegenden Informationen zur Simulation der Gebäude erläutert.

### 7.1 Verwendete Software

Die drei Gebäudegrößen wurden für beide Baualtersklassen in den Sanierungsstufen gemäß Tabelle 9-3 und Tabelle 9-4 in TRNSYS simuliert und so Lastreihen erzeugt. Dazu wurde die TRNSYS Version 17.02.0004 verwendet. Für die Gebäude wurde das Type 56 mit drei Zonen verwendet, die Wohnraum, Dach und Keller darstellen. Es wurde mit einem Zeitschritt von 5 Minuten gerechnet. Die Toleranz für Integration und Konvergenz betrug 0.001.

### 7.2 Regelung

Die Heizleistung wurde auf „unlimited“ gestellt, sodass die Raumtemperatur von 20 °C bei vorliegendem Heizsignal jederzeit erreicht wurde. Das Heizsignal wurde über den Vergleich des Mittelwertes der Außentemperatur der letzten 72 Stunden und der Heizgrenztemperatur geregelt.

### 7.3 Wetterdaten

Die Wetterdaten wurde mit der Software Meteonorm 7 Version 7.3.3 generiert. Es wurde der Wetterdatensatz des EnEV-Referenzstandortes Potsdam „Potsdam, Wetter Station 52.4°N, 13.1°E, 81 m, Deutschland“ verwendet. Weitere Einstellungen waren: Einstrahlungsperiode: 1991-2010, Periode der Temperatur: 2000-2009, Erste Zufallsauswahl: 1.

Für die Horizontüberhöhung (engl. sky view factor) wurde für alle senkrechte Flächen 0.5 und für die Dachflächen 0.946 angenommen.

### 7.4 Lastreihen

Der Dateiname der erzeugten Lastreihen setzt sich auf der Gebäudegröße (KMH, MMH oder GMH), der Gebäudealtersklasse (1958-78 oder 1979-94), der Nummerierung und dem Kürzel für den Sanierungszustand nach Tabelle 9-3 und Tabelle 9-4 sowie einem Suffix für die Zeitschrittweite zusammen. Stündliche Lastreihen haben das Suffix \_hourly.txt, das Suffix \_Timestep.txt bezeichnet einen Zeitschritt von 5 Minuten.

Zwei Beispielnamen lauten wie folgt:

GMH\_1958-78-N\_01\_fE\_wE\_deE\_daE\_bE\_hourly.txt

GMH\_1958-78-N\_01\_fE\_wE\_deE\_daE\_bE\_Timestep.txt.



## 8 Ergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse und Annahmen der Heizlastberechnung basierend auf der DIN EN 12831-1, sowie die in TRNSYS-Simulationen ermittelten Heizwärmebedarfe aufgeführt.

### 8.1 Norm-Heizlasten

Die Heizlastberechnung stellt einen stationären Berechnungsansatz dar. Ziel ist die Ermittlung der maximal benötigten thermischen Energie zur Kompensation der Wärmeverluste über Lüftung und Transmission eines Gebäudes oder Raumes. Die Norm-Heizlast  $\Phi_{HL}$  kann vereinfachend nach Formel (8-1) unter Vernachlässigung der zusätzlichen Aufheizleistung berechnet werden (DIN EN 12831-1, S. 56):

$$\phi_{HL} = \phi_T + \phi_V \quad (8-1)$$

Hierbei stellen  $\Phi_T$  die Norm-Transmissionswärmeverluste und  $\Phi_V$  die Norm-Lüftungswärmeverluste des Gebäudes dar und lassen sich wie folgt bestimmen:

$$\phi_T = \sum_k \phi_{T,k} = \sum_k \{A_k \cdot (U_k + \Delta U_{TB}) * f_{x,k}\} \cdot (\theta_{int} - \theta_{ext}) \quad (8-2)$$

Der Norm-Transmissionswärmeverlust des Gebäudes setzt sich aus der Summe der Transmissionswärmeverluste der einzelnen Bauteile  $\Phi_{T,k}$  zusammen. Dieser berechnet sich wiederum aus der Fläche  $A_k$ , der Summe aus dem Wärmedurchgangskoeffizienten  $U_k$  und dem pauschalen Wärmebrückenzuschlag sowie einem Temperaturanpassungsfaktor  $f_{x,k}$  und der Differenz zwischen Norm-Innentemperatur  $\theta_{int}$  und Norm-Außentemperatur  $\theta_{ext}$ .

$$\phi_V = V * n * \rho_L * c_{p,L} * (\theta_{int} - \theta_{ext}) \quad (8-3)$$

Der Norm-Lüftungswärmeverlust des Gebäudes setzt sich aus dem Produkt des Gebäudeluftvolumens  $V$ , der Luftwechselrate  $n$ , der Stoffkonstanten<sup>1</sup> der Luft  $\rho_L$  und  $c_{p,L}$  sowie der Temperaturdifferenz zusammen. Die Parameter für die Bauteilflächen  $A_k$  und das Gebäudevolumen  $V$  sind Tabelle 4-2 zu entnehmen. Die Werte für die Wärmedurchgangskoeffizienten  $U_k$  Tabelle 9-1 und Tabelle 9-2. Die weiteren Werte befinden sich in der nachfolgenden Tabelle 8-1:

Tabelle 8-1: Werte bzgl. Normheizlastberechnung für die BAK '58-78 und '79-94

Kenngröße	Sanierungszustand				Quelle / Anmerkung
	Erbaue- ung	Bestand	GEG	Passiv- haus <sup>1)</sup>	
$\theta_{int}$			20 °C		DIN EN 12831-1, S. 77
$\theta_{ext}$			-12,6 °C		DIN SPEC 12831-1, PLZ 14473 Potsdam
$\Delta U_{TB}$ (alle Bauteile)	0,1	0,1	0,1	0,05	DIN EN 12831-1, S. 68
$f_{obersteGeschossdecke}^{2)}$	0,75	0,75	0,75 / 0,6	0,75 / 0,6	DIN SPEC 12831-1, S. 18
$f_{Außenwand}$	1,0	1,0	1,0	1,0	DIN EN 12831-1, S. 75
$f_{untersteGeschossdecke}$	0,5	0,5	0,5	0,5	DIN EN 12831-1, S. 75
$f_{Fenster}$	1,0	1,0	1,0	1,0	DIN EN 12831-1, S. 75
$n$	0,7	0,6	0,6	0,6	Anlehnung an TRNSYS

1) ohne Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

2) Temperaturkorrekturfaktor von 0,6 nur für die Sanierungszustände GEG und Passivhaus der BAK '58-78.

<sup>1</sup> Beim vereinfachten Ansatz wird das Produkt aus der Dichte und spez. Wärmekapazität der Luft  $\rho_L * c_{p,L} = 0,34$  festgesetzt (DIN EN 12831-1, S. 58).

Exemplarisch sind in Abbildung 15 und Abbildung 16 die Norm-Heizlasten für die beiden BAK angegeben, welche aus obigen Werten resultieren.

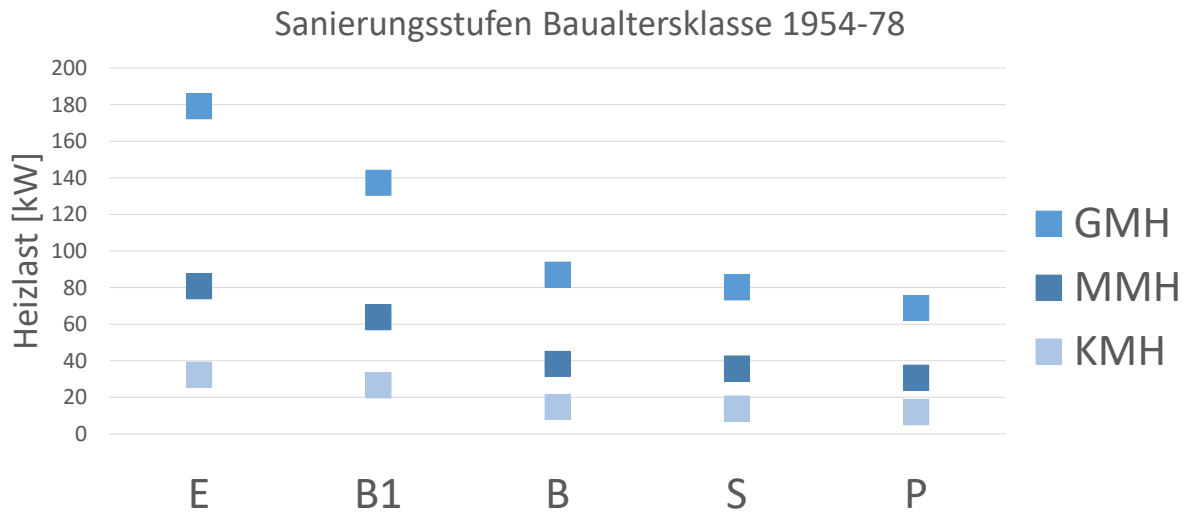


Abbildung 15: Norm-Heizlast für die BAP 1954-78

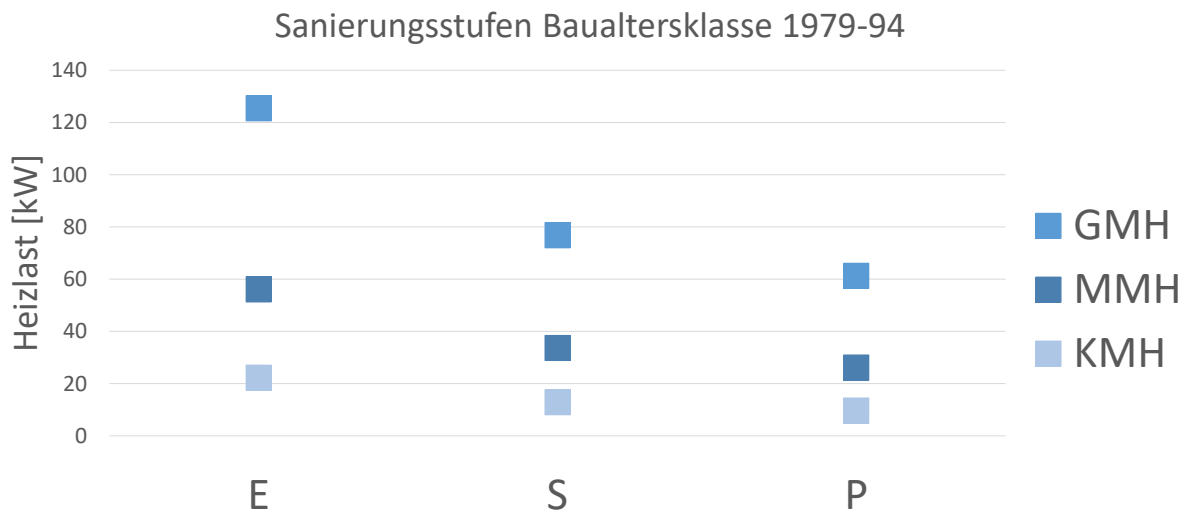


Abbildung 16: Norm-Heizlast für die BAP 1979-94

Die auf Basis obiger Gleichungen mit den Werten aus Tabelle 8-1 **berechneten Zahlenwerte der Norm-Heizlasten** für alle in TRNSYS simulierten Varianten finden sich im **Anhang 9.4**.

## 8.2 Heizwärmebedarf TRNSYS

Nachfolgende Abbildung 17 und Abbildung 18 stellen die aus der TRNSYS Simulation entstammenden spez. Heizwärmebedarfe für die wichtigsten der in Kapitel 5 dargestellten Sanierungs-Zustände dar.

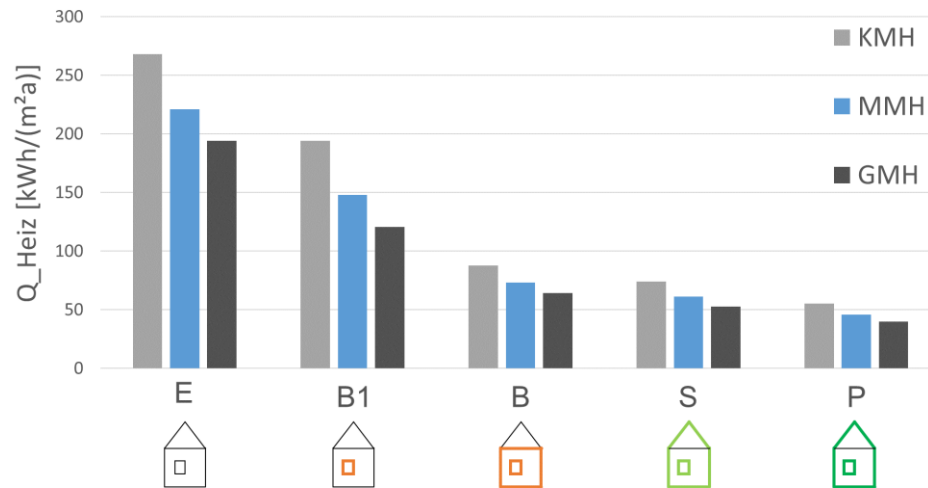


Abbildung 17: Spez. Heizwärmebedarf für die BAP 1954-1978 aus TRNSYS Simulationen (Haussymbole zeigen Sanierungszustand: E = schwarz, B = orange, S = hellgrün, P = dunkelgrün)

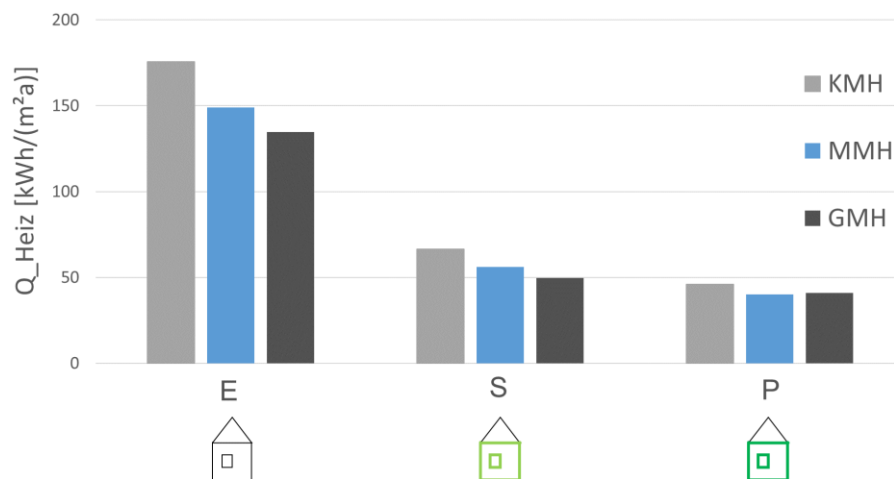


Abbildung 18: Spez. Heizwärmebedarf für die BAP 1979-1994 aus TRNSYS Simulationen (Haussymbole zeigen Sanierungszustand: E = schwarz, B = orange, S = hellgrün, P = dunkelgrün)

Die **Zahlenwerte der Heizwärmebedarfe** aller simulierten Varianten finden sich im **Anhang 9.5**.



## 9 Anhang

### 9.1 Außenansichten des kleinen MFH

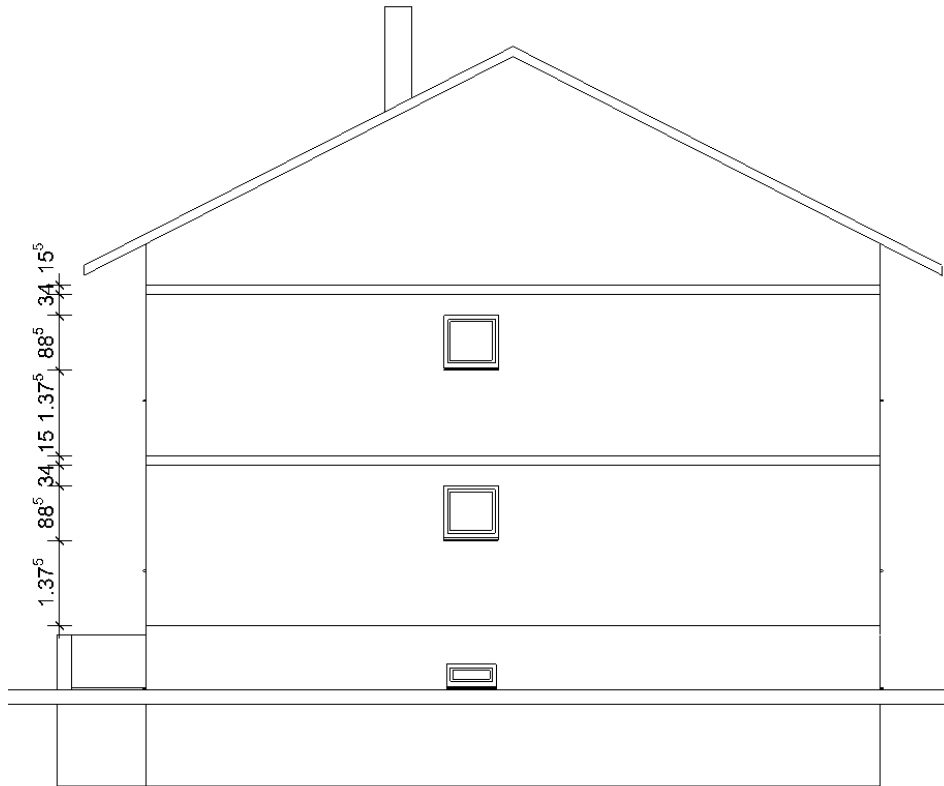


Abbildung 9-1: Nordseite des KMH

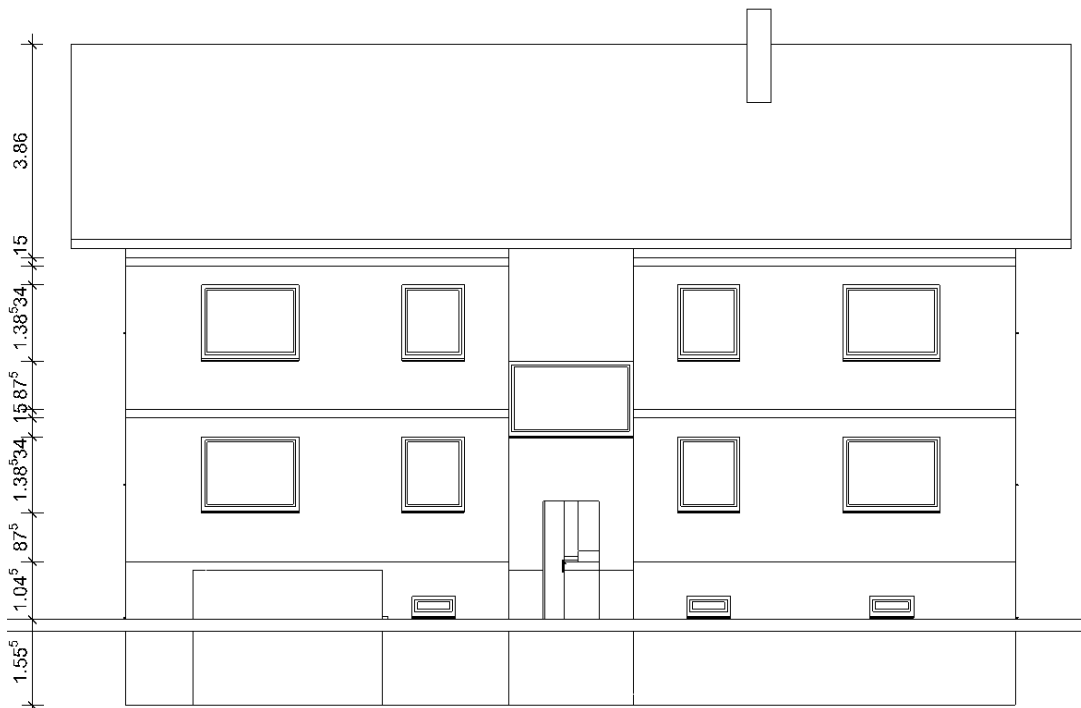


Abbildung 9-2: Ostseite des KMH

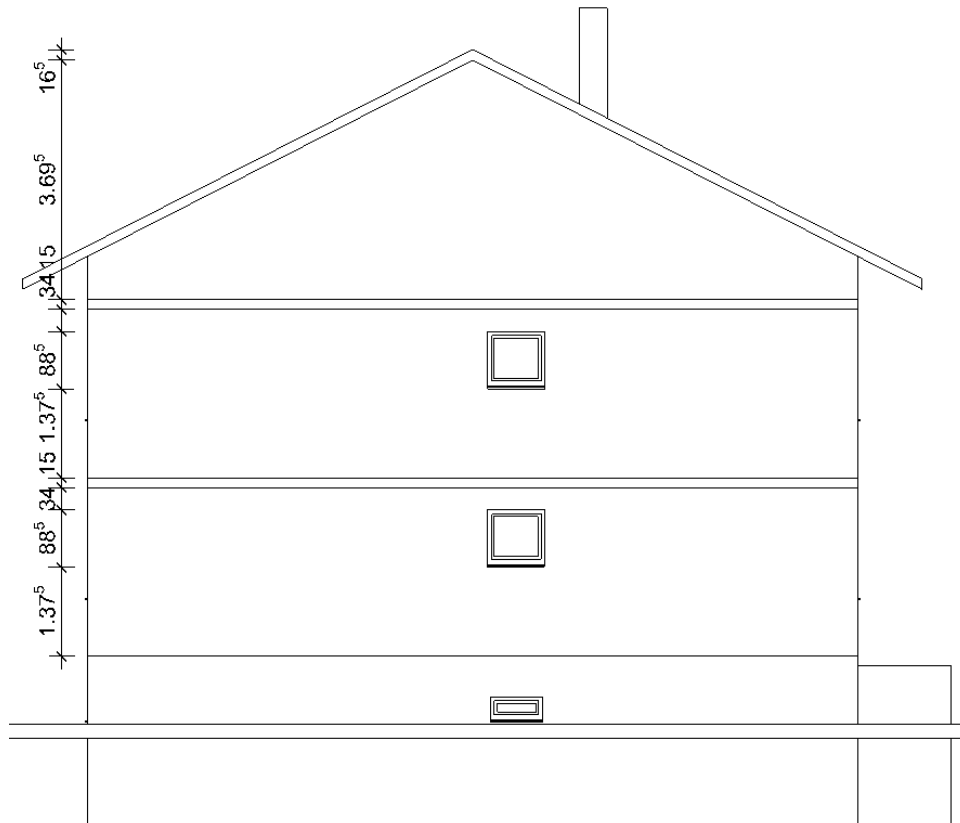


Abbildung 9-3: Südseite des KMH

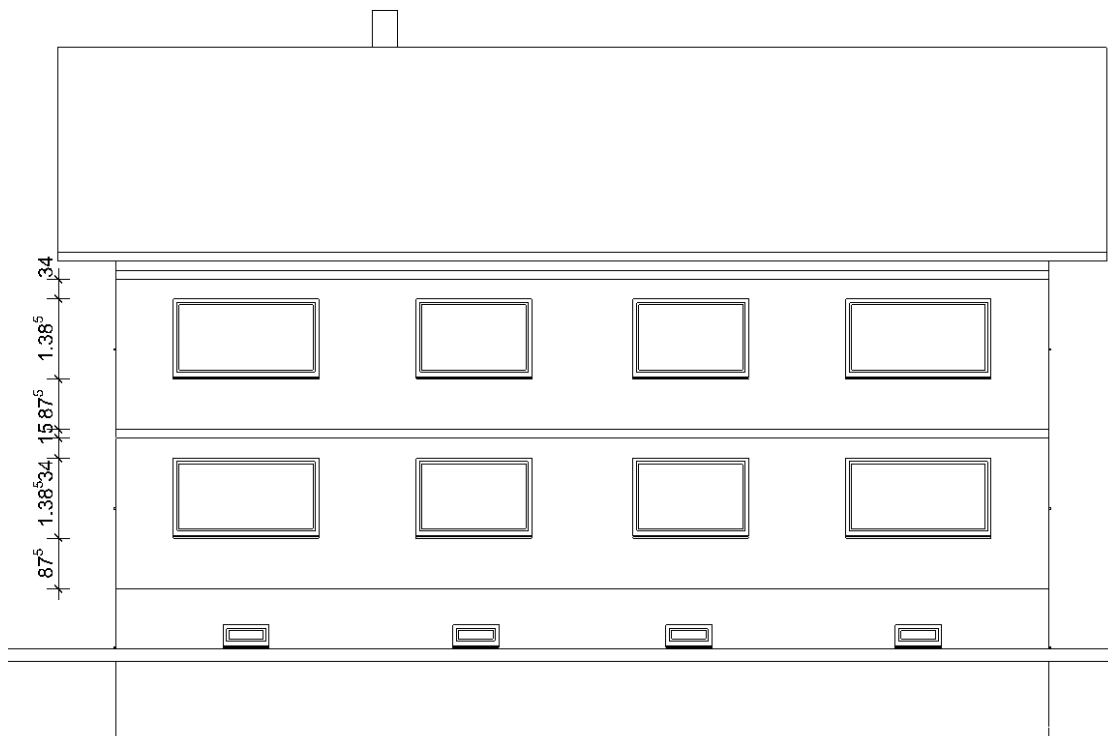


Abbildung 9-4: Westseite des KMH

## 9.2 Exakte U-Werte für TRNSYS Simulationen

Die nachfolgenden Wärmedurchgangskoeffizienten weichen leicht von den in Kapitel 3 definierten Werten ab. Dies liegt an der Art der Dateneingabe in TRNSYS, in welchem die einzelnen Materialstärken des Wandaufbaus eingegeben werden müssen. Folglich kann es zu leichten Abweichungen kommen. Da TRNSYS bei den Fenstern auf eine Bibliothek zurückgreift, die eine genaue Übernahme der berechneten U-Werte nicht erlaubt, ist hier die Abweichung am größten.

*Tabelle 9-1: U-Werte für opake Bauteile und Verglasungsarten angepasst an TRNSYS Simulation der BAP 1958-78*

	Erbauungs-Zustand		Bestands-Zustand		GEG-Sanierung		Anlehnung an Passivhaus-Sanierung	
	U-Wert [W/(m²K)]		U-Wert [W/(m²K)]		U-Wert [W/(m²K)]		U-Wert [W/(m²K)]	
Außenwand	1,140		0,299		0,216		0,129	
Oberste Geschossdecke	0,584		0,251		0,584		0,584	
Dach	1,487		1,487		0,189		0,127	
Unterster Geschossboden	1,355		0,389		0,278		0,199	
Fenster	g-Wert	U-Wert	g-Wert	U-Wert	g-Wert	U-Wert	g-Wert	U-Wert
	0,682	5,16	0,597	1,76	0,624	1,27	0,567	0,71
Boden gegen Erdreich	2,775							
Außenwand Keller	1,620							

*Tabelle 9-2: U-Werte für opake Bauteile und Verglasungsarten angepasst an TRNSYS Simulation der BAP 1979-94 (geänderte Werte zur BAP 1958-78 sind grün markiert)*

	Erbauungs-Zustand		Bestands-Zustand		GEG-Sanierung		Anlehnung an Passivhaus-Sanierung	
	U-Wert [W/(m²K)]		U-Wert [W/(m²K)]		U-Wert [W/(m²K)]		U-Wert [W/(m²K)]	
Außenwand	0,709		0,709		0,207		0,129	
Oberste Geschossdecke	0,467		0,467		0,269		0,113	
Dach	1,487		1,487		1,487		1,487	
Unterster Geschossboden	0,672		0,672		0,230		0,199	
Fenster	g-Wert	U-Wert	g-Wert	U-Wert	g-Wert	U-Wert	g-Wert	U-Wert
	0,698	3,20	0,597	1,76	0,698	3,20	0,597	1,76
Boden gegen Erdreich	0,61							
Außenwand Keller	0,716							

### 9.3 Detaillierte Wärmedurchgangskoeffizienten der Sanierungspakete

Tabelle 9-3: Untersuchte Maßnahmenpakete der BAP 1958-78

(E = Erbauungszustand, B = Bestand, S = GEG-Niveau, P = Anlehnung an Passivhaus-Niveau)

Ausgangs-zustand	End-zustand	Wärme-brücken-zuschlag	T <sub>Grenz</sub> <sup>1)</sup>	LW <sub>Wohn</sub> <sup>2)</sup>	LW <sub>Dach</sub> <sup>2)</sup>	Fenster	Wand	Decke <sup>3)</sup>	Dach	Boden <sup>4)</sup>	Endzustand Codierung 1	Endzustand Codierung 2
Einheit		$\left[\frac{W}{m^2K}\right]$	[°C]	[1/h]	[1/h]	$\left[\frac{W}{m^2K}\right]$	$\left[\frac{W}{m^2K}\right]$	$\left[\frac{W}{m^2K}\right]$	$\left[\frac{W}{m^2K}\right]$	$\left[\frac{W}{m^2K}\right]$	[-]	[-]
E	E	0,1	19	0,7	1	5,16	1,14	0,584	1,487	1,355	fE.wE.deE.daE.bE	E
	B	0,1	19	0,6	1	1,76	1,14	0,584	1,487	1,355	fB.wE.deE.daE.bE	B1
	B	0,1	19	0,6	1	1,76	0,299	0,584	1,487	1,355	fB.wB.deE.daE.bE	B2
	B	0,1	19	0,6	1	1,76	0,299	0,251	1,487	0,389	fB.wB.deB.daE.bB	B
B1	S	0,1	19	0,6	1	1,76	1,14	0,584	1,487	0,278	fB.wE.deE.daE.bS	S1
		0,1	19	0,6	0,5	1,76	1,14	0,584	0,189	1,355	fB.wE.deE.daS.bE	S2
		0,1	15	0,6	1	1,27	0,216	0,584	1,487	1,355	fS.wS.deE.daE.bE	S3
		0,1	15	0,6	0,5	1,27	0,216	0,584	0,189	1,355	fS.wS.deE.daS.bE	S4
	P	0,05	12	0,6	0,5	0,71	0,129	0,584	0,127	0,199	fP.wP.deE.daP.bP	P
B2	S	0,1	15	0,6	0,5	1,76	0,299	0,584	0,189	0,278	fB.wB.deE.daS.bS	S5
B	S	0,1	15	0,6	0,5	1,27	0,216	0,251	0,189	0,278	fS.wS.deB.daS.bS	S6
	P	0,05	12	0,6	0,5	0,71	0,129	0,251	0,127	0,199	fP.wP.deB.daP.bP	P1

1) T<sub>Grenz</sub> = Heizgrenztemperatur  
 2) LW<sub>Wohn/Dach</sub> = Luftwechsel Wohnraum/Dach  
 3) Decke = oberste Geschossdecke (Trennung beheiztes Raumvolumen von unbeheiztem Dachraum)  
 4) Boden = unterste Geschossdecke (Trennung beheiztes Raumvolumen von unbeheiztem Keller)

Tabelle 9-4: Untersuchte Maßnahmenpakete der BAP 1979-94

(E = Erbauungszustand, B = Bestand, S = GEG-Niveau, P = Anlehnung an Passivhaus-Niveau)

Ausgangs-zustand	End-zustand	Wärme-brücken-zuschlag	T <sub>Grenz</sub> <sup>1)</sup>	LW <sub>Wohn</sub> <sup>2)</sup>	LW <sub>Dach</sub> <sup>2)</sup>	Fenster	Wand	Decke <sup>2)</sup>	Dach	Boden <sup>3)</sup>	Endzustand Codierung 1	Endzustand Codierung 2
Einheit		$\left[\frac{W}{m^2K}\right]$	[°C]	[1/h]	[1/h]	[1/h]	[1/h]	$\left[\frac{W}{m^2K}\right]$	$\left[\frac{W}{m^2K}\right]$	$\left[\frac{W}{m^2K}\right]$	[-]	[-]
E	E	0,1	19	0,6	1,0	3,2	0,709	0,467	1,487	0,672	fE.wE.deE.daE.bE	E
	S	0,1	19	0,6	1,0	3,2	0,709	0,467	1,487	0,23	fE.wE.deE.daE.bS	S1
		0,1	19	0,6	1,0	3,2	0,709	0,269	1,487	0,672	fE.wE.deS.daE.bE	S2
		0,1	15	0,6	1,0	1,27	0,207	0,467	1,487	0,672	fS.wS.deE.daE.bE	S3
		0,1	15	0,6	1,0	1,27	0,207	0,269	1,487	0,672	fS.wS.deS.daE.bE	S4
		0,1	15	0,6	1,0	1,27	0,207	0,269	1,487	0,23	fS.wS.deS.daE.bS	S
	P	0,05	12	0,6	1,0	0,71	0,129	0,113	1,487	0,199	fP.wP.deP.daE.bP	P

1) T<sub>Grenz</sub> = Heizgrenztemperatur  
 2) LW<sub>Wohn/Dach</sub> = Luftwechsel Wohnraum/Dach  
 3) Decke = oberste Geschossdecke (Trennung beheiztes Raumvolumen von unbeheiztem Dachraum)  
 4) Boden = unterste Geschossdecke (Trennung beheiztes Raumvolumen von unbeheiztem Keller)

## 9.4 Norm-Heizlasten mit stationärem Berechnungsansatz

Tabelle 9-5: Berechnete Norm-Heizlasten für die BAP 1954-1978

BAP 54-78		E	B1	B2	B	S1	S2	S3	S4	S	P	S5	S6	P1	
Codierung		N_01	N_02	N_03	N_04	N_05	N_06	N_07	N_08	N_09	N_10	N_11	N_12	N_13	
		fE_wE_deE_daE_bE	fB_wE_deE_daE_bE	fB_wB_deE_daE_bE	fB_wB_deB_daE_bB	fB_wE_deE_daE_bS	fB_wE_deE_daS_bE	fS_wS_deE_daE_bE	fS_wS_deE_daS_bE	fS_wS_deE_daS_bS	fP_wP_deE_daP_bP	fB_wB_deE_daS_bS	fS_wS_deB_daS_bS	fP_wP_deB_daP_bP	
		KMH	32.4	26.6	19.3	14.8	23.2	25.9	17.9	17.3	13.9	11.9	15.3	12.7	10.6
Norm-Heizlast [kW]		MMH	80.7	63.8	47.4	38.3	57.1	62.5	43.7	42.5	35.8	30.7	39.4	33.3	28.2
		GMH	179.2	137.3	100.7	87.1	127.3	135.4	92.1	90.2	80.1	68.9	88.8	76.4	65.1

Tabelle 9-6: Berechnete Norm-Heizlasten für die BAP 1979-1994

BAP 79-94		E	S1	S2	S3	S4	S	P	
Codierung		N_01	N_02	N_03	N_04	N_05	N_06	N_07	
		fE_wE_deE_daE_bE	fE_wE_deE_daE_bS	fE_wE_deS_daE_bE	fS_wS_deE_daE_bE	fS_wS_deS_daE_bE	fS_wS_deS_daE_bS	fP_wP_deP_daE_bP	
		KMH	22.3	20.9	21.3	15.2	14.2	12.8	9.7
Norm-Heizlast [kW]		MMH	56.1	53.3	54.2	38.2	36.4	33.6	26.2
		GMH	125.4	121.3	122.6	83.7	80.9	76.8	61.3

### 9.5 Heizwärmebedarfe aus TRNSYS Simulationen

Tabelle 9-7: Aus TRNSYS Simulationen entnommener gesamter und spez. Heizwärmebedarf für die BAP 1954-1978

BAP 54-78		E	B1	B2	B	S1	S2	S3	S4	S	P	S5	S6	P1
Codierung		N_01	N_02	N_03	N_04	N_05	N_06	N_07	N_08	N_09	N_10	N_11	N_12	N_13
		fE_wE_deE_daE_bE	fB_wE_deE_daE_bE	fB_wB_deE_daE_bE	fB_wB_deB_daE_bB	fB_wE_deE_daE_bS	fB_wE_deE_daS_bE	fS_wS_deE_daE_bE	fS_wS_deE_daS_bE	fS_wS_deE_daS_bS	fP_wP_deE_daP_bP	fB_wB_deE_daS_bS	fS_wS_deB_daS_bS	fP_wP_deB_daP_bP
Heizwärme- bedarf in [MWh/a]	KMH	87	63		28					24	18			
	MMH	214	143		71	118	139	88	83	59	45		55	41
	GMH	470	293		155					127	96			
Spez. Heizwärme- bedarf in [kWh/m²/a]	KMH	268	194		88					74	55			
	MMH	221	148		73	122	144	91	86	61	46		57	43
	GMH	194	121		64					53	40			

Tabelle 9-8: Aus TRNSYS Simulationen entnommener gesamter und spez. Heizwärmebedarf für die BAP 1979-1994

BAP 79-94		E	S1	S2	S3	S4	S	P
Codierung		N_01	N_02	N_03	N_04	N_05	N_06	N_07
		fE_wE_deE_daE_bE	fE_wE_deE_daE_bS	fE_wE_deS_daE_bE	fS_wS_deE_daE_bE	fS_wS_deS_daE_bE	fS_wS_deS_daE_bS	fP_wP_deP_daE_bP
Heizwärme- bedarf in [MWh/a]	KMH	57	63				21	15
	MMH	145	138	140	66	61	54	39
	GMH	326	293				121	99
Spez. Heizwärme- bedarf in [kWh/m²/a]	KMH	176	194				66	46
	MMH	149	142	144	68	63	56	40
	GMH	135	121				50	41

## 9.6 Weiterführende Literatur

Nachfolgend findet sich eine Zusammenstellung verschiedener Normen, welche als Alternative für die im Kapitel 7 angeführten energetischen Randbedingungen verwendet werden können:

Kenngröße	Wert	Quelle / Anmerkung
Raum-Solltemperatur	19 °C	DIN V 4108-6
Interne Wärmeleistung	5 W/m <sup>2</sup>	DIN V 4108-6
	2,1 W/m <sup>2</sup>	Passivhaus
Luftwechselrate	0,5 h <sup>-1</sup>	DIN V 18599-10
	0,25 - 1,0 h <sup>-1</sup>	DIN EN 12831-1
Wärmebrückenzuschlag	0,03 - 0,1 W/(m <sup>2</sup> K)	DIN V 18599-2
	0,02 - 0,1 W/(m <sup>2</sup> K)	DIN EN 12831-1
	0,02 - 0,15 W/(m <sup>2</sup> K)	Tabula
Verschattungsfaktor	0,0 - 0,9	DIN 4108-2
Fensterrahmenanteil	0,2 - 0,3	DIN EN ISO 13790



## Literaturverzeichnis

- BMI (2017): Nutzungsdauern von Bauteilen. Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB). Hg. v. Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat. Online verfügbar unter <https://www.nachhaltigesbauen.de/austausch/nutzungsdauern-von-bauteilen/>, zuletzt geprüft am 02.12.2020.
- Bürger, Veit; Tilman, Hesse; Palzer, Andreas; Köhler, Benjamin; Herkel, Sebastian; Engelmann, Peter (2015): Klimaneutraler Gebäudebestand 2050. Öko-Institut e.V. Freiburg im Breisgau.
- Cischinsky, Holger; Diefenbach, Nikolaus (2018): Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016. Datenerhebung zu den energetischen Merkmalen und Modernisierungsraten im deutschen und hessischen Wohngebäudebestand. 1. Auflage. Hg. v. Institut Wohnen und Umwelt. Darmstadt.
- Destatis (2014): Zensus 2011. Hg. v. Statistische Ämter des Bundes und der Länder. Online verfügbar unter [www.ergebnisse.zensus2011.de](http://www.ergebnisse.zensus2011.de), zuletzt geprüft am 25.11.2020.
- Diefenbach, Nikolaus (2013): Basisdaten für Hochrechnungen mit der Deutschen Gebäudetypologie des IWU: Neufassung Oktober 2013. Hg. v. Institut Wohnen und Umwelt. Darmstadt. Online verfügbar unter [http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/klima\\_altbau/FI%C3%A4chen\\_Geb%C3%A4udetypologie\\_Okt\\_2013.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/FI%C3%A4chen_Geb%C3%A4udetypologie_Okt_2013.pdf).
- Ebert, Bernd (2020): Systematische Analyse der Mehrfamilien-Bestandsgebäude. Bericht zu AP 1.1. Karlsruhe. Online verfügbar unter [www.lowex-bestand.de](http://www.lowex-bestand.de).
- DIN V 18599-10, 2018: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung.
- DIN V 18599-2, 2018: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung.
- DIN EN ISO 52016-1, 2018: Energetische Bewertung von Gebäuden - Energiebedarf für Heizung und Kühlung, Innentemperaturen sowie fühlbare und latente Heizlasten.
- DIN EN 12831-1, 2017: Energetische Bewertung von Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast.
- DIN EN ISO 13790, 2008: Energieeffizienz von Gebäuden.
- IWU (2011): Auswertung der IWU-Gebäudedatenbank. Unter Mitarbeit von Matthias Schick Tanz. Hg. v. Institut Wohnen und Umwelt. Online verfügbar unter <http://datenbasis.iwu.de/>, zuletzt geprüft am 19.12.2011.
- IWU (2012): Tabula Calculator. Hg. v. Institut Wohnen und Umwelt. Online verfügbar unter [www.iwu.de/forschung/gebäudebestand/tabula/](http://www.iwu.de/forschung/gebäudebestand/tabula/), zuletzt geprüft am 25.11.2020.
- Loga, Tobias; Diefenbach, Nikolaus; Knissel, Jens; Born, Rolf (2005): Kurzverfahren Energieprofi. Entwicklung eines vereinfachten, statistisch abgesicherten Verfahrens zur Erhebung von Gebäudedaten für die Erstellung des Energieprofils von Gebäuden. Hg. v. Institut Wohnen und Umwelt. Darmstadt.
- Loga, Tobias; Stein, Britta; Diefenbach, Nikolaus; Born, Rolf (2015): Deutsche Wohngebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden. 2. Aufl. Institut Wohnen und Umwelt. Darmstadt.
- DIN SPEC 12831-1, 2018: Verfahren zur Berechnung der Raumheizlast.
- VFF; BF (2017): Mehr Energie sparen mit neuen Fenstern. Aktualisierung September 2017 der Studie „Im neuen Licht: Energetische Modernisierung von alten Fenstern“. Frankfurt am Main. Online

verfügbar unter [https://www.window.de/fileadmin/redaktion\\_window/vff/docs\\_und\\_pdf/VFF-BF\\_Studie\\_Mehr\\_Energie\\_sparen\\_mit\\_neuen\\_Fenstern\\_2017-09.pdf](https://www.window.de/fileadmin/redaktion_window/vff/docs_und_pdf/VFF-BF_Studie_Mehr_Energie_sparen_mit_neuen_Fenstern_2017-09.pdf), zuletzt geprüft am 02.12.2020.

DIN V 4108-6, 2003: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden.

DIN 4108-2, 2013: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden.

DIN 4108-4, 2017: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden.