



Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften, Fakultät Versorgungstechnik
Institut für energieoptimierte Systeme, Salzdhahmer Str. 46/48, 38302 Wolfenbüttel

Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff
Dipl.-Ing. (TU) Anke Unverzagt
M.Eng. Adrian Schünemann

DBU-Projekt "EAV-Anwendung in der Wohnungswirtschaft"

Bericht 3: EAV-Handbuch und Anwendungsbeispiele

Stand: 31.03.2020



Gefördert von:



Inhalt

1	Abbildungsverzeichnis	4
2	Abkürzungsverzeichnis	6
3	Überblick	8
4	EAV-Methode	9
4.1	EAV-Methode für Gebäude	9
4.1.1	Auswertung WMZ Heizstrang	9
4.1.2	Auswertung WMZ TWW	12
4.1.3	Auswertung WMZ Gesamt	13
4.2	EAV-Methodik für Erzeuger	14
4.2.1	Heizkessel	14
4.2.2	KWK-Anlage	16
4.2.3	Wärmepumpenanlage	17
5	EXCEL-TOOL-EAV	21
5.1	EAV-Auswertung Gebäude	21
5.1.1	Dateneingabe	21
5.1.2	Datenauswertung Gebäude	23
5.1.3	Ergebnis-Ausgabe Gebäude	24
5.2	EAV-Auswertung Erzeuger	25
5.2.1	Dateneingabe	25
5.2.2	Datenauswertung Erzeuger	26
5.2.3	Ergebnis-Ausgabe Erzeuger	26
5.3	Ausblick	28
6	Gebäudetypologie auf EAV-Basis	29
6.1	Systematik der EAV-Gebäudetypologie	29
6.2	EAV-Gebäudetypologie	30
6.2.1	Baualtersklasse 1949 bis 1957	31
6.2.2	Baualtersklasse 1958 bis 1968	32
6.2.3	Baualtersklasse 1958 bis 1968 – Hochhaus	33
6.2.4	Baualtersklasse 1984 bis 1994	33
6.2.5	Baualtersklasse 2002 bis 2009	35
6.2.6	Baualtersklasse 2010 bis GEG	36

6.3	Ergebnisse EAV-Gebäudetypologie	37
6.3.1	Ergebnisse Gebäudeeffizienz: h-Wert	37
6.3.2	Ergebnisse Heizwärme-Kennwert	38
6.3.3	Ergebnisse Gebäude-Heizlast	39
6.3.4	Ergebnisse TWW-Sockel	40
6.3.5	Ergebnisse Wärmenachfrage bei zentraler Heizung und Trinkwarmwasserbereitung	41
6.4	Forschungsbedarf	42
7	Praxisbeispiele Erzeugereffizienz-Bewertung	43
7.1	Heizkessel	43
7.2	KWK-Anlage	45
7.3	Wärmepumpenanlage	48
8	EAV-Anwendung in der Wohnungswirtschaft	51
8.1	Bestandsanalyse	51
8.1.1	Heizwärme	51
8.1.2	Trinkwarmwasser	52
8.1.3	Erzeugung	54
8.1.4	Quartier	55
8.2	Einsparprognose und Erfolgskontrolle	56
8.2.1	Heizwärme	56
8.2.2	Trinkwarmwasser	58
8.2.3	Erzeugung	58
8.2.4	Quartier	59
8.3	Systemauslegung	60
9	Quellen	62

1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Abkürzungsverzeichnis.....	7
Abbildung 2	Überblick EAV-Tools.....	8
Abbildung 3	Gebäude-EAV: WMZ Heizstrang.....	9
Abbildung 4	h-Wert und zugehörige Wärmeverluste.....	10
Abbildung 5	Berechnung Heizwärme-Kennwert.....	10
Abbildung 6	Definition Heizgradtage.....	11
Abbildung 7	Berechnung Gebäude-Heizlast.....	11
Abbildung 8	Berechnung Sommerheizung.....	12
Abbildung 9	Gebäude-EAV: WMZ Trinkwarmwasser.....	13
Abbildung 10	Gebäude-EAV: WMZ Gesamt.....	13
Abbildung 11	Systemeffizienz Heizkessel im Realbetrieb.....	14
Abbildung 12	Umrechnung Heizwert-Brennwert.....	15
Abbildung 13	Erzeuger-EAV Heizkessel: Brennwert-bezogene Kennwerte.....	15
Abbildung 14	Aufwand und Nutzen BHKW-Modul.....	17
Abbildung 15	Systemeffizienz Wärmepumpenanlage im Realbetrieb.....	18
Abbildung 16	Einflussgrößen Jahresarbeitszahl Wärmepumpe.....	18
Abbildung 17	Tagesarbeitszahl von 2 Luftwärmepumpenanlagen, Quelle: Fraunhofer ISE, [3].....	19
Abbildung 18	Theoretische Effizienz einer Luft-Wärmepumpe nach [6].....	20
Abbildung 19	Arbeitsblätter DBU-Tool EAV.....	21
Abbildung 20	Arbeitsblatt Eingabe: Erfassung Messdaten.....	22
Abbildung 21	Arbeitsblatt Fingerabdruck Geb: Auswertung.....	23
Abbildung 22	Arbeitsblatt Fingerabdruck Geb: Konstruktionspunkte EAV für Gesamt-WMZ.....	23
Abbildung 23	Arbeitsblatt Fingerabdruck Geb: Konstruktionspunkte für WMZ Heizstrang und WMZ TWW	24
Abbildung 24	Ergebnis-Blatt: EAV-WMZ-ges und EAV-WMZ-getrennt.....	25
Abbildung 25	Arbeitsblatt Eingabe: Erfassung Gesamtwärmemenge und Brennstoffeinsatz.....	25
Abbildung 26	Arbeitsblatt Fingerabdruck Kessel: Konstruktionspunkte für Kessel-Fingerabdruck.....	26
Abbildung 27	Ergebnis-Blatt: EAV-Erzeuger.....	27
Abbildung 28	Wohngebäudetypen im Geschosswohnungsbau, Häufigkeit nach [16].....	29
Abbildung 29	Unterteilung nach dem Umfang der Modernisierung.....	30
Abbildung 30	Baualtersklasse 1949 bis 1957.....	31
Abbildung 31	Grundriss-Beispiel, Baualtersklasse 1949 bis 1957, rot markiert: Steigestränge.....	32
Abbildung 32	Baualtersklasse 1958 bis 1968.....	32
Abbildung 33	Baualtersklasse 1958 bis 1968 –Hochhaus.....	33
Abbildung 34	Baualtersklasse 1984 bis 1994.....	34
Abbildung 35	Grundriss-Beispiel, Baualtersklasse 1984 bis 1994, rot markiert: Steigestränge.....	34
Abbildung 36	Baualtersklasse 2002 bis 2009.....	35
Abbildung 37	Baualtersklasse 2010 bis GEG.....	36
Abbildung 38	Auswertung EAV-Typologie: Mittelwerte h-Werte mit Bandbreite.....	37
Abbildung 39	U-Werte von Bauteilen nach Baualtersklasse.....	37
Abbildung 40	Auswertung EAV-Typologie: Mittelwerte h-Werte Bestand und nach Modernisierung.....	38
Abbildung 41	Auswertung EAV-Typologie: Mittelwerte Heizwärme-Kennwert mit Bandbreite.....	38
Abbildung 42	Auswertung EAV-Typologie: Mittelwerte Heizwärme-Kennwert Bestand und nach Modernisierung	39
Abbildung 43	Auswertung EAV-Typologie: Mittelwerte Gebäude-Heizlast mit Bandbreite.....	39
Abbildung 44	Auswertung EAV-Typologie: Mittelwert Gebäude-Heizlast: Bestand und nach Modernisierung	40
Abbildung 45	Auswertung EAV-Typologie: Mittelwerte Sockel-Kennwert TWW mit Bandbreite.....	40
Abbildung 46	Anforderungen an die Dämmung von Verteilleitungen ab 1978 bis heute.....	41
Abbildung 47	Auswertung EAV-Typologie: Wärmenachfrage bei Objekten mit zentraler Heizung und Trinkwarmwasserbereitung.....	41
Abbildung 48	Vorschlag Premium-Neubau und Premium Modernisierung.....	42

Abbildung 49	Wohnkomplex BS-B18-19 mit gebäudezentralem Gas-Brennwertkessel.....	43
Abbildung 50	Erfolgskontrolle Erzeugereffizienz (Dez. 2015 bis Aug. 2016), Objekt BS-B18-19.....	44
Abbildung 51	Erfolgskontrolle Erzeugereffizienz nach Optimierung (Messperiode 2017), Objekt BS-B18-19	
Abbildung 52	Wohnkomplex H-AK-5 mit KWK-Versorgung	46
Abbildung 53	Effizienzbewertung KWK-Anlage H-AK-5, Hannover	47
Abbildung 54	Wärmepumpenkompaktgerät Tecalor, Typ THZ [18]	48
Abbildung 55	Kennwerte Wärmepumpenanlage Haus 2.....	49
Abbildung 56	Kennwerte Wärmepumpenanlage inkl. Haus 3	50
Abbildung 57	Excel-Tools EAV	51
Abbildung 58	Erfahrungswerte EAV-Gebäudetypologie.....	51
Abbildung 59	h-Wert Prognose aus Energiebilanz nach EnEV.....	52
Abbildung 60	Ermittlung h-Wert aus Effizienzhaus-Nachweise Objekt Hi-E34	52
Abbildung 61	Excel-Tools EAV	53
Abbildung 62	Prinzipschema 4-Leiter-System.....	53
Abbildung 63	Trinkwarmwassernutzen und Verteilungsaufwand.....	54
Abbildung 64	Excel-Tools EAV Erzeuger	54
Abbildung 65	Erfahrungswerte Erzeugereffizienz	55
Abbildung 66	Excel-Tool Quartier	55
Abbildung 67	Wärmeeinsparung durch Einzelmaßnahmen an der Gebäudehülle	57
Abbildung 68	Wärmeeinsparung durch Lüftungstechnik	57
Abbildung 69	Excel-Tool Einsparprognose.....	58
Abbildung 70	Excel-Tool Einsparprognose.....	58
Abbildung 71	Einsparprognose Kesseltausch	59
Abbildung 72	Beispiel Energiekonzept Quartier mit überprüfbaren Kennwerten	60
Abbildung 73	Berechnung Gebäudeheizlast aus EAV-Heizsteigung	60
Abbildung 74	Auslegung KWK-Anlage mit Hilfe der Jahresdauerlinie, DBU-TOOL-EAV	61

2 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
A_{EBF}	Energiebezugsfläche, im Geschosswohnungsbau entspricht diese der beheizten Wohnfläche zuzüglich beheizter Gewerbeflächen bei Mischnutzungen
A/V _e -Verhältnis	Verhältnis Transmissionsfläche zum beheizten Gebäudevolumen
AW	Außenwand
BHKW	Blockheizkraftwerk
BWK	Brennwertkessel
COP	Leistungszahl Wärmepumpe (Coefficient of Performance)
DA	Dach
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
dena	Deutsche Energie-Agentur
DWD	Deutscher Wetterdienst
EAV	Energieanalyse aus dem Verbrauch
EDE	Elektrische Durchlauferhitzer
EE	Erneuerbare Energien
EnEV	Energieeinsparverordnung
Erz	Erzeuger
EVU	Energieversorgungsunternehmen
FE	Fenster
GEG	Gebäudeenergiegesetz
H	Heizsteigung/Wärmeverlustkoeffizient
H _i	Heizwert: bei der Verbrennung maximal nutzbare Wärmemenge
H _s	Brennwert: bei der Verbrennung maximal nutzbare Wärmemenge inklusive Kondensationswärme
H _{zg}	Heizung
h-Wert	Auf die Energiebezugsfläche bezogene Heizsteigung/Wärmeverlustkoeffizient
JNG	Jahresnutzungsgrad
KE	Kellerdecke
OG	Oberste Geschossdecke
PHPP	Passivhaus-Projektierungspaket
PS	Polystyrol

SPF	Seasonal Performance Faktor, deutsch: Jahresarbeitszahl
TMK	Tagesmitteltemperatur
TWW	Trinkwarmwasser
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient
Vbh	Vollbenutzungsstunden
WDVS	Wärmedämm-Verbundsystem
Whg	Wohnung
WschV	Wärmeschutzverordnung
WMZ	Wärmemengenzähler

Abbildung 1 Abkürzungsverzeichnis

3 Überblick

Das vorliegende EAV-Handbuch dokumentiert die Methodik der Energieanalyse aus dem Verbrauch, im DBU-Projektrahmen entwickelte Excel-Tools und stellt Benchmarks für die Bewertung von Gebäuden und Erzeugern vor. Zielgruppe der Dokumentation sind mit dem Energiecontrolling betraute Mitarbeiter von Wohnungsunternehmen, auf die Wohnungswirtschaft spezialisierte Ingenieurbüros sowie Software-Unternehmen.

Das Handbuch gliedert sich wie folgt:

- **Vorstellung der EAV-Methodik (Kapitel 4) und Beschreibung des zugehörigen Excel-Tools (Kapitel 5)**
- **Kapitel 6** enthält die **Entwicklung einer Gebäudetypologie auf EAV-Basis**: Es zeigt sich, dass verbrauchsbasierte Kennwerte von Geschosswohnungsbauten gut nach den Kriterien Baualter, Kompaktheit und Modernisierungsgrad zu klassifizieren sind.
- Für einen Heizkessel, eine KWK-Anlage und eine Wärmepumpenanlage werden in **Kapitel 7** jeweils ein **Praxisbeispiel zur Bewertung der Erzeugereffizienz** vorgestellt. Monovalent oder mit Heizstab betriebene Luft-Wärmepumpen sind bei den Projektpartnern bisher nicht umgesetzt. Es wird daher ein Einfamilienhaus-Beispiel mit Wärmepumpen-Kompaktgerät dargestellt.
- **Kapitel 8** zeigt, wie sich bisher wenig genutzte Verbrauchsdaten in der Wohnungswirtschaft zur **Bestandsanalyse, für Energiekonzepte und Monitoring** nutzen lassen. Als **Werkzeuge** stehen folgende Excel-Tools zur Verfügung:

DBU-TOOL-EAV:	Bewertung der Gebäude- und Erzeugereffizienz nach EAV-Methode
DBU-TOOL-Einsparprognose:	Abschätzung von Wärme- und Brennstoffeinsparungen nach Modernisierungsmaßnahmen
DBU-TOOL-BHKW:	Bewertung der Anlageneffizienz einer KWK-Anlage auf Basis von Jahreswerten
DBU-TOOL-Quartier:	Zusammenfassung der einzelnen EAV-Ergebnisse von Liegenschaften im Quartier

Abbildung 2 Überblick EAV-Tools

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die verfügbaren Daten ausreichen, um die Entwicklung der Wärmenachfrage und Effizienz der Energieversorgung darzustellen und ggf. zu optimieren. Zur breitenwirksamen Einführung von Verbrauchscontrolling in der Wohnungswirtschaft ist eine weitere Prozessautomatisierung erforderlich, die insbesondere die Zählerauslesung und die Überwachung der Einhaltung von Grenzwerten und Visualisierung umfasst.

Für einen effizienten Anlagenbetrieb fehlt derzeit ein geeignetes Anreizsystem, da die Heizkosten aufgrund des Nutzer-Investor-Dilemmas in der Wohnungswirtschaft nicht im Fokus der Betrachtung stehen. Die letzten Jahre waren von stabilen Wärmekosten auf niedrigem Niveau geprägt. Die Umweltkosten wurden nicht in die Betrachtung einbezogen. Mit Einführung eines CO₂-Preises im Gebäudesektor zum 01.01.2021 verteuert sich der Einsatz fossiler Energieträger und im Marktsegment preisgünstiger Mietwohnungen steigt der Modernisierungsdruck. In der Wohnungswirtschaft wird es bei steigenden Bau- und Wärmekosten zur Herausforderung, die Warmmieten für Mieter mit geringem Einkommen stabil zu halten. Zur Identifizierung von Erzeugern mit ungünstiger Effizienz und Optimierungspotenzial bietet sich der Aufbau eines Datenpools in der Wohnungswirtschaft und deren Interessenvereinigungen an, damit die begrenzt verfügbaren Mittel sinnvoll eingesetzt werden.

4 EAV-Methode

Gebäude und Erzeuger lassen sich auf Basis unterjährig erhobener Wärme- und Brennstoff- bzw. Wärmepumpenstrom-Verbräuche bewerten. Kapitel 4 enthält die Erläuterung der Methodik und abgeleiteten Kennwerte.

4.1 EAV-Methode für Gebäude

Zur Bewertung von Gebäuden können die Wärmemengenzähler-Werte von Heizstrang, Trinkwarmwasser und der gesamten Wärmeabnahme herangezogen werden. Als Mindeststandard für die unterjährige Gebäudebewertung sind zwei Wärmemengenzähler vorzusehen: Neben dem ohnehin nach Heizkostenverordnung vorgeschriebenen Wärmemengenzähler für Trinkwarmwasserbereitung in Mehrfamilienhäusern mit zentraler Warmwasserbereitung sollte ein Gesamtzähler oder alternativ ein Wärmemengenzähler für den Heizstrang in der Wärmezentrale installiert werden.

4.1.1 Auswertung WMZ Heizstrang

Die Energieanalyse aus dem Verbrauch (EAV) bezeichnet die energetische Bewertung von Gebäuden auf Basis im Zeitintervall gemessener Wärmeverbräuche. Die Messperiode sollte möglichst ein Jahr mit Messwerten im wöchentlichem bis monatlichen Intervall umfassen. Die Wärmemengenzählerwerte werden als mittlere Leistungswerte über der zugehörigen mittleren Außentemperatur im Messzeitraum aufgetragen. Abbildung 3 zeigt beispielhaft die Ergebnisauswertung für die Wärmemengen eines Heizstranges:

Aus den witterungsabhängigen Messpunkten wird eine Regressionsgerade mit der **Heizsteigung H** ermittelt. Die Heizsteigung stellt die Änderung der Leistungsabnahme je Kelvin Außentemperaturabfall dar. Wird die Heizsteigung auf die beheizte Wohnfläche bezogen, lässt sich die Gebäudeeffizienz nach einem einfachen Ampelsystem einstufen:

$h < 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ Wfl. K})$	$1,0 \leq h \leq 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ Wfl. K})$	$h > 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ Wfl. K})$
Gut	Mittel	Schlecht

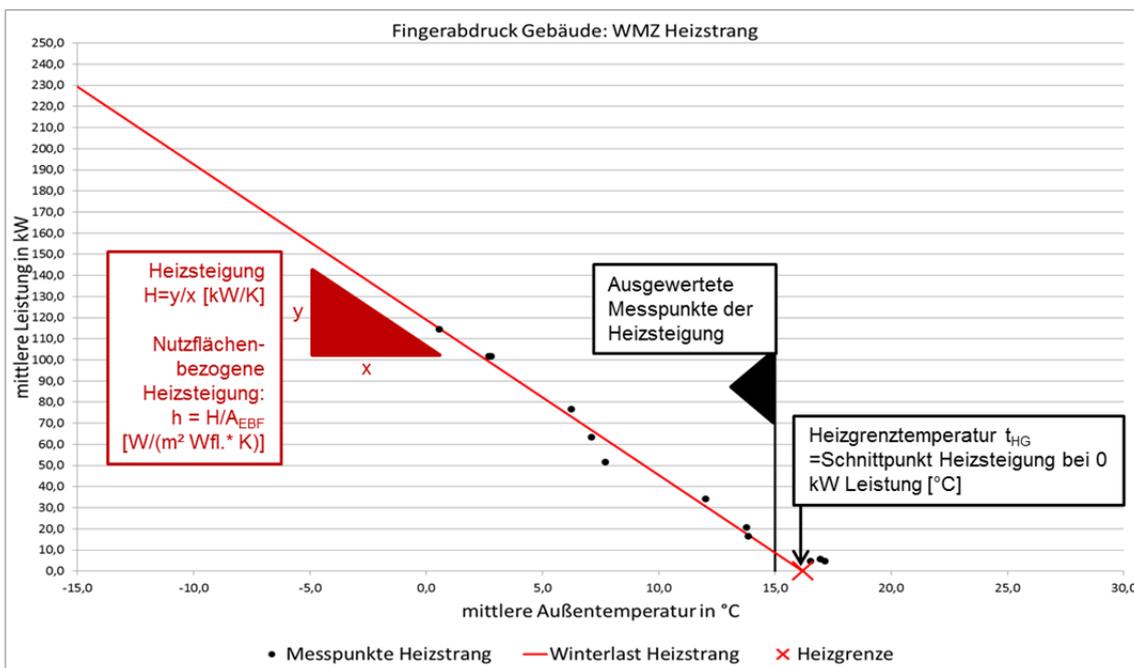


Abbildung 3 Gebäude-EAV: WMZ Heizstrang

Die **Heizgrenztemperatur** t_{HG} grenzt die Heizperiode von der heizfreien Zeit ab. Bei Auswertung des Heizstrangs ist die Heizgrenztemperatur als Schnittpunkt der Heizgerade bei einer Leistungsabnahme von Null ablesbar. Das Beispiel aus Abbildung 3 weist eine Heizgrenztemperatur von 16 °C aus. Typische Werte liegen bei 15 bis 16 °C, wobei die Bandbreite zwischen 10 °C (Passivhäuser) bis 19 °C (Pflegeeinrichtungen) variieren kann. Hohe Heizgrenztemperaturen deuten auf überdurchschnittliche Innentemperaturen und/oder auf zu hohen ungeregelten Eintrag von Wärme aus gebäudeinternen, nicht ausreichend gedämmten Verteilnetzen hin.

Der gemessene h-Wert enthält vor allem Transmissions- und Lüftungswärmeverluste sowie ferner nicht nutzbare, lastabhängige Heizverteilverluste im unbeheizten Bereich, deren Einfluss in der Regel wenig relevant ist. Der Messwert lässt sich mit dem berechneten Wärmeverlustkoeffizienten aus Energiebilanzen nach Energieeinsparverordnung oder Passivhaus-Projektierung vergleichen:

$$h = \frac{H_T + H_V + \frac{\dot{Q}_{H,d}}{t_{HG} - t_{a,HP}}}{A_{EBF}} = \frac{U_m \cdot A_{Hüll} + n \cdot V_L \cdot 0,34 + \frac{\dot{Q}_{H,d}}{t_{HG} - t_{a,HP}}}{A_{EBF}}$$

mit

h	gesamter Wärmeverlustkoeffizient bezogen auf die beheizte Wohnfläche in $W/(m^2 A_{EBF}K)$
H_T	Transmissionswärmeverlustkoeffizient in W/K
H_V	Lüftungswärmeverlustkoeffizient in W/K
$\dot{Q}_{H,d}$	nicht nutzbare, lastabhängige Heizverteilverlust im unbeheizten Bereich in W
t_{HG}	Heizgrenze in °C
$t_{a,HP}$	mittlere Außentemperatur der Heiz-(Mess-)periode in °C
U_m	mittlerer U-Wert der Gebäudehülle in $W/(m^2K)$
$A_{Hüll}$	Äußere Hüllfläche des beheizten Bereichs m^2
n	Luftwechselrate in h^{-1}
V_L	Belüftetes Nettovolumen der beheizten Hülle in m^3
0,34	Wärmekapazität Luft in $Wh/(m^3K)$
A_{EBF}	Energiebezugsfläche, entspricht bei Wohngebäuden der beheizten Wohnfläche in m^2

Abbildung 4 h-Wert und zugehörige Wärmeverluste

Der **Heizwärme-Kennwert** wird durch Multiplikation des h-Wertes mit der Temperaturdifferenz aus Heizgrenztemperatur und mittlerer Außentemperatur während der Heizperiode sowie der Dauer der Heizperiode ermittelt.

$$q_H = h \cdot (t_{HG} - t_{a,HP}) \cdot d_{HP} / 1.000$$

mit

q_H	Heizwärme-Kennwert in $kWh/(m^2a)$
h	auf die Energiebezugsfläche bezogene Heizsteigung in $W/(m^2 A_{EBF}K)$
t_{HG}	Heizgrenztemperatur in °C
$t_{a,HP}$	mittlere Außentemperatur in der Heizperiode in °C
d_{HP}	Dauer der Heizperiode in h

Abbildung 5 Berechnung Heizwärme-Kennwert

Wird für die mittlere Außentemperatur und die Länge der Heizperiode ein langjähriger Mittelwert angesetzt, ist der Heizwärme-Kennwert witterungsbereinigt. Die Vorgehensweise entspricht der Klimabereinigung des gemessenen Jahres-Heizwärmeverbrauchs über Heizgradtage, d. h. den aufsummierten Differenzen von Heizgrenztemperatur und mittlerer Tagesaußentemperatur, siehe Abbildung 6. Bei der Witterungsbereinigung von Jahreswerten wird allerdings eine fiktive Heizgrenze in Abhängigkeit von der Gebäudeeffizienz angesetzt, die von den realen Messwerten der Heizgrenztemperatur deutlich abweichen kann.

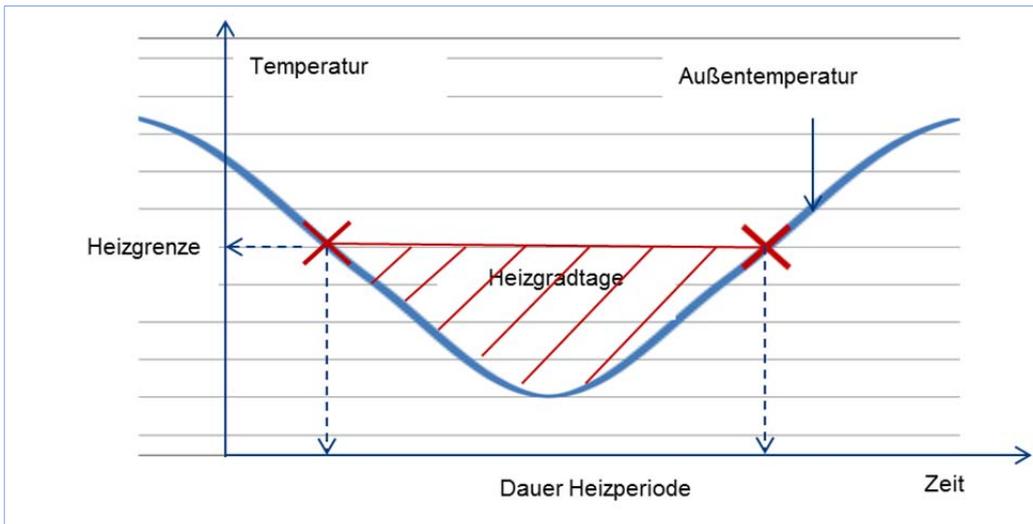


Abbildung 6 Definition Heizgradtage

Die **Gebäudeheizlast** wird durch Multiplikation der Heizsteigung mit der Temperaturdifferenz aus Auslegungs-Innentemperatur und Auslegungs-Außentemperatur als genäherter repräsentativer Mittelwert für das Gebäude bestimmt. Die Ableitung der Gebäudeheizlast aus der EAV ist nach DIN SPEC 12831-1 (2018-10) zugelassen.

$$\text{Heizlast } \Phi_{\text{Geb}} = H * (t_i - t_a) / 1.000$$

mit

Φ_{Geb}	Gebäudeheizlast in kW
H	Heizsteigung in W/K
t_i	Auslegungs-Innentemperatur in °C
t_a	Auslegungs-Außentemperatur in °C

Abbildung 7 Berechnung Gebäude-Heizlast

Auch im Sommer kann eine Wärmeabnahme stattfinden. Die Sommerheizung wird als mittlere Wärmeabnahme außerhalb der Heizperiode berechnet siehe Abbildung 8. Sie kann nur bestimmt werden, wenn ein separater Wärmemengenzähler für den Heizstrang installiert ist bzw. wenn nicht Heizung und Trinkwarmwasserbereitung über einen gemeinsamen Zähler erfasst werden. In den untersuchten Praxisobjekten wurde eine Bandbreite des Sommerverbrauchs zwischen Null und 4 kWh/(m²a) gemessen. Übliche Werte liegen bei 1-2 kWh/(m²a).

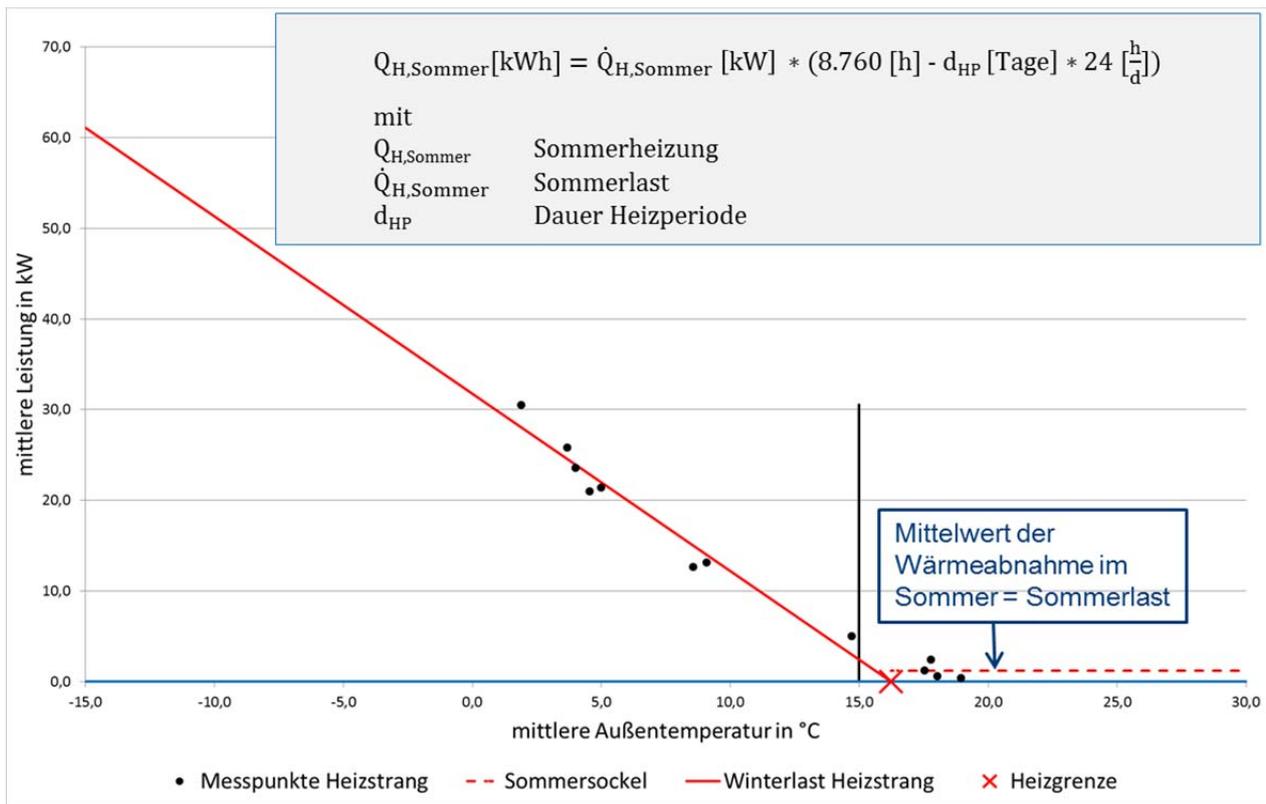


Abbildung 8 Berechnung Sommerheizung

4.1.2 Auswertung WMZ TWW

Abbildung 9 zeigt die Auswertung für einen Wärmemengenzähler der zentralen Trinkwarmwasserbereitung und den daraus abgeleiteten Sockelverbrauch des Gebäudes. Dieser enthält die gezapfte Trinkwarmwassermenge sowie gebäudeinterne Speicher- und Verteilverluste von Zirkulation und Trinkwarmwasser-Vorlauf. Verteilverluste in beheizten Bereichen sind während der Heizperiode teilweise zur Raumheizung nutzbar. Je besser der Dämmstandard des Gebäudes ist, umso weniger sind die ungeregelten Wärmeeinträge nutzbar. Mit der EAV ist der zur Heizung genutzte Anteil nicht bestimmbar.

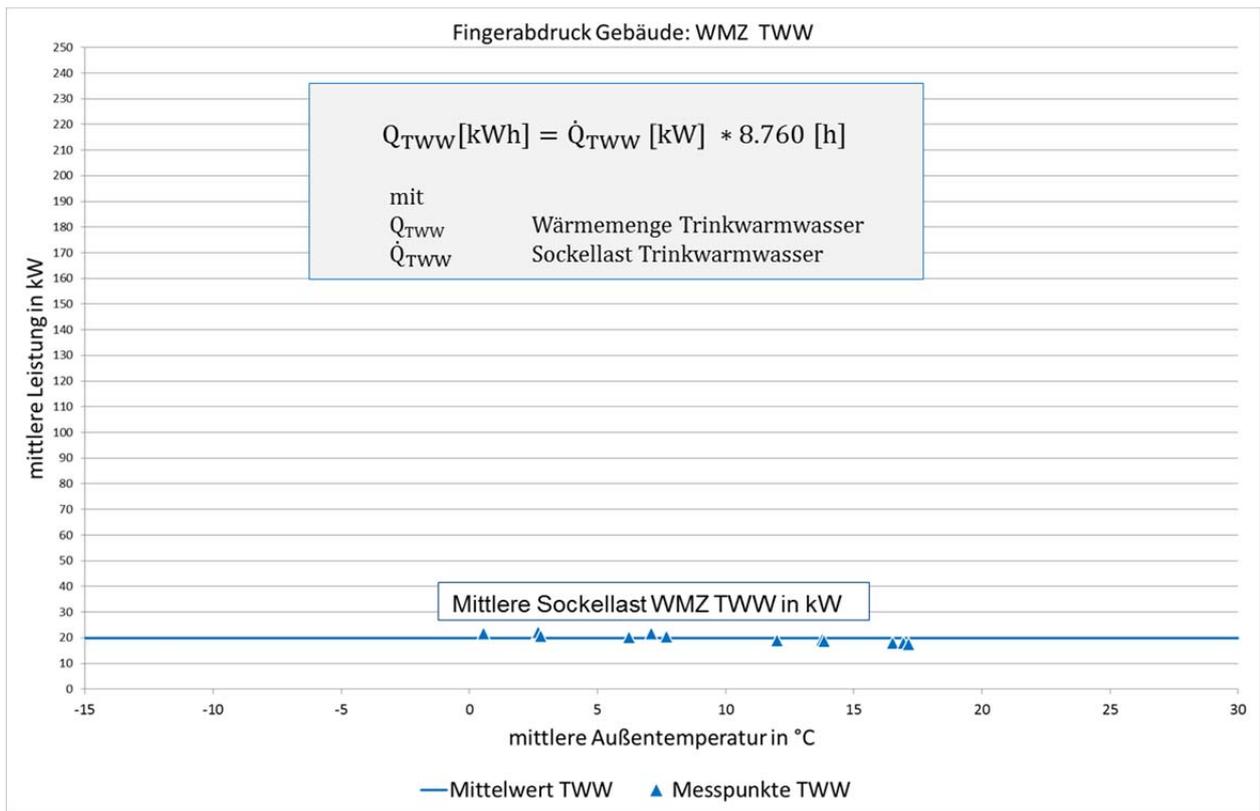


Abbildung 9 Gebäude-EAV: WMZ Trinkwarmwasser

Der separate Wärmemengenzähler für den Trinkwarmwasserstrang ermöglicht eine fehlerfreie Bestimmung der Trinkwarmwasserleistung. Bei Verwendung eines gemeinsamen Zählers für Heizung und Trinkwarmwassererwärmung ist die mögliche Sommerheizung enthalten.

4.1.3 Auswertung WMZ Gesamt

Die Auswertung des Gesamt-Wärmemengenzähler für Heizung und zentrale Trinkwarmwasserbereitung ergibt folgenden charakteristischen Gebäude-Fingerabdruck:

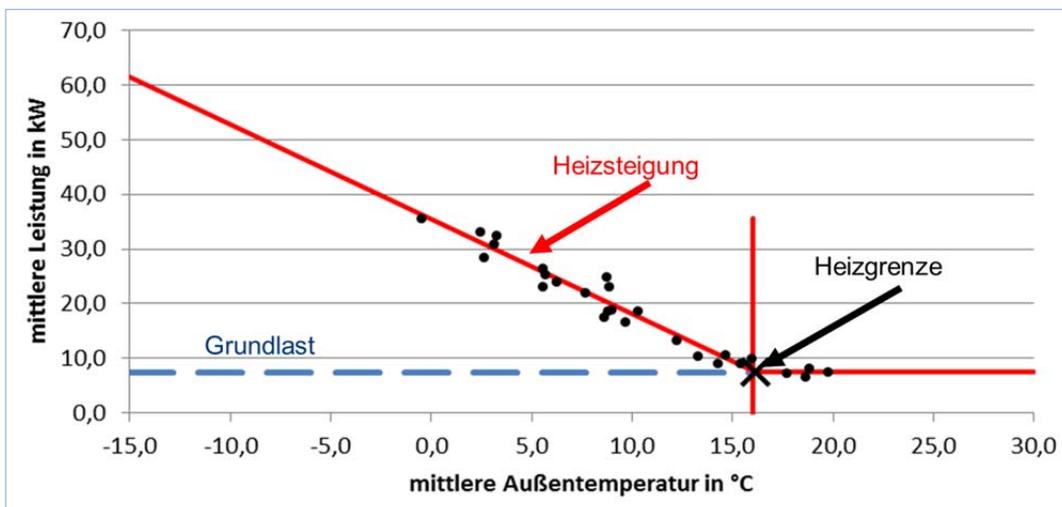


Abbildung 10 Gebäude-EAV: WMZ Gesamt

Es lassen sich von der Witterung abhängige und unabhängige Messpunkte unterscheiden. Die witterungsunabhängige Grundlast enthält bei Geschosswohnbauten Nutzenergie für

Trinkwarmwasser, Zirkulation, Speicher- und Verteilverluste sowie ggf. Sommerheizung. Die **Heizgrenztemperatur** ergibt sich aus dem Schnittpunkt der Heizgeraden mit der sommerlichen Grundlast.

Liegt neben dem Gesamt-Wärmemengenzähler auch der Trinkwarmwasserzähler vor, empfiehlt sich immer eine getrennte Auswertung von Heizstrang (= Gesamt-WMZ minus TWW-WMZ) und Trinkwarmwasser, weil hierdurch die Höhe der Sommerheizung bestimmt werden kann.

4.2 EAV-Methodik für Erzeuger

In den folgenden Kapiteln wird die EAV-Methodik für die Erzeugerarten Heizkessel, Wärmepumpe und KWK-Anlage beschrieben.

4.2.1 Heizkessel

Bei Heizkesseln wird die Systemeffizienz durch das Verhältnis von Wärmenutzen zu Brennstoffeinsatz beschrieben. Abbildung 11 zeigt wesentliche Kenngrößen zur Bewertung der Erzeugereffizienz von Heizkesseln:

- Der **Kesselwirkungsgrad η** beschreibt die Effizienz im durchgehenden Nennlastbetrieb und enthält im Wesentlichen Abgasverluste sowie Verluste über die Kesseloberflächen. Der Kesselwirkungsgrad ist definiert als Verhältnis von Nennwärmeleistung zur Feuerungsleistung des Brennstoffs.
- Der **Abgasverlust** beschreibt die ungenutzte Wärme, die mit den Abgasen den Kessel verlässt. Der Wert wird im Rahmen der Schornsteinfegermessung bei Volllast bestimmt.
- Im Realbetrieb kommen **Bereitschaftsverluste** hinzu, die durch Auskühlverluste des Feuerraums, Vorspülverluste vor Brennerstart und Zündung sowie Anfahrverluste bis zum Erreichen stabiler Verbrennungswerte verursacht werden.
- Der **Jahresnutzungsgrad JNG** wird als das Verhältnis von jährlich abgegebener Wärmemenge zum jährlichen Brennstoffeinsatz angegeben.

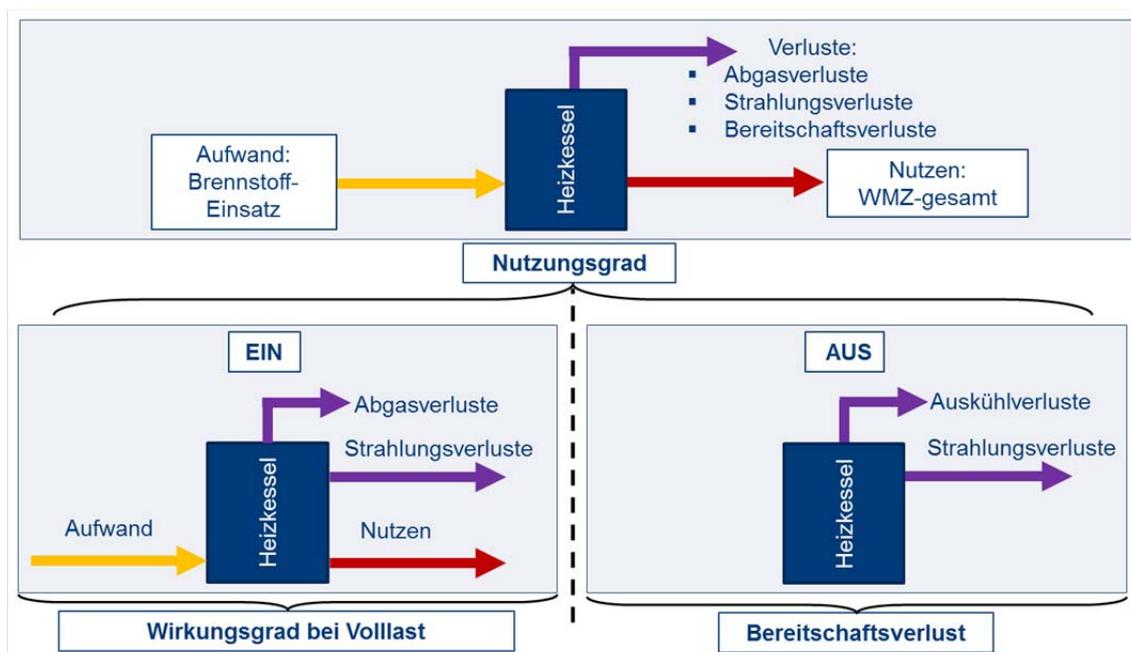


Abbildung 11 Systemeffizienz Heizkessel im Realbetrieb

Die Kennwerte können auf den Heizwert (H_i) oder den Brennwert (H_s) bezogen sein. Der Heizwert gibt die bei der Brennstoffverbrennung frei werdende Wärmemenge ohne Berücksichtigung von Kondensationswärme an. Beim Brennwert wird diese mit einbezogen.

Während Erdgas auf den Brennwert bezogen abgerechnet wird, sind die Endenergiekennwerte in Energiebilanzen häufig auf den Heizwert bezogen. Die im Rahmen der EAV-Analyse ermittelten Kenngrößen werden immer auf den Brennwert bezogen. Diese Festsetzung empfiehlt sich, weil Ablesewerte der Gaszähler genutzt werden, die mit der Abrechnung des Energieversorgungsunternehmens (EVU) korrespondieren. Zur Berechnung des Brennwertes sind die vom EVU veröffentlichten Brennwerte zu verwenden. Zum Vergleich mit Heizwert-bezogenen Größen ist eine Umrechnung erforderlich, die mit den Faktoren von DIN EN 18599 Anhang B vorgenommen werden kann siehe Abbildung 12.

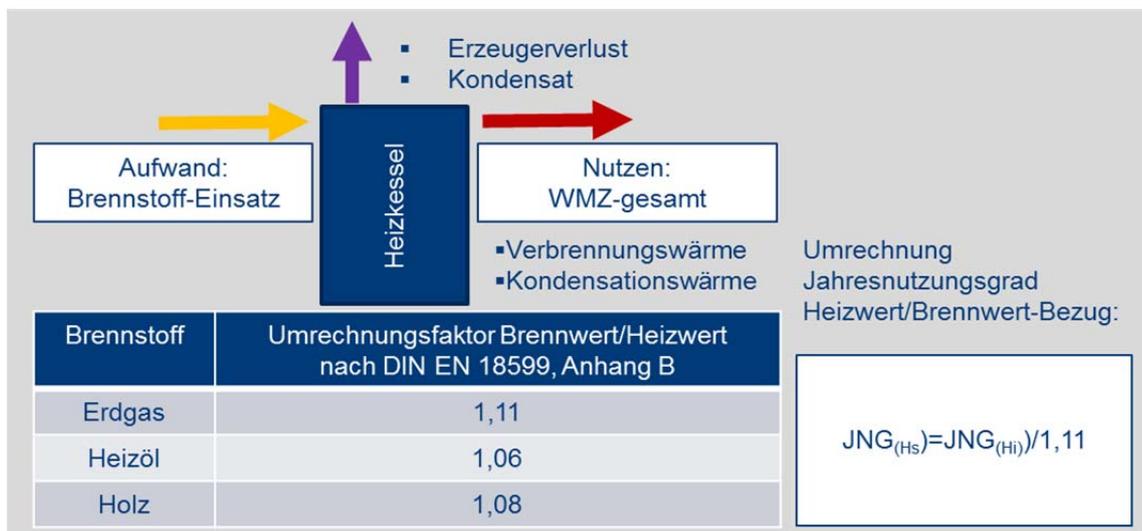


Abbildung 12 Umrechnung Heizwert-Brennwert

Der „Fingerabdruck des Erzeugers“ stellt die Wärmeabgabe und den Brennstoffeinsatz des Erzeugers im Zeitintervall dar siehe Abbildung 13.

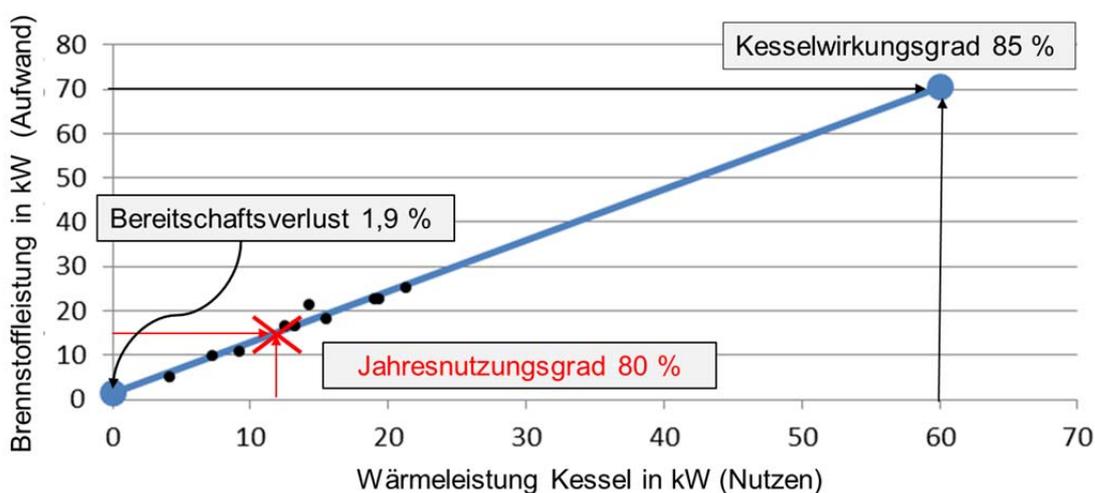


Abbildung 13 Erzeuger-EAV Heizkessel: Brennwert-bezogene Kennwerte

Auf den Brennwert bezogen sind folgende Kennwerte ablesbar:

- **Kesselwirkungsgrad** bei Vollast: Bei 60 kW und 71 kW Feuerungsleistung ergibt sich im Beispiel ein Wirkungsgrad von 85 %.
- Der **Jahresnutzungsgrad** bei mittlerer Auslastung von 20 % beträgt im Beispiel 80 %. Die durchschnittliche Wärmeleistungsabgabe beträgt 12 kW bei durchschnittlich 15 kW Feuerungsleistung.
- Der **Bereitschaftsverlust** ohne Wärmeabnahme ist als Ordinatenabschnitt in der Grafik ablesbar. Er wird prozentual bezogen auf die Feuerungsleistung des Erzeugers angegeben ausgewiesen.

4.2.2 KWK-Anlage

BHKW-Module bestehen aus den Hauptkomponenten Verbrennungsmotor als mechanischer Antrieb und einem Generator zur Stromerzeugung siehe Abbildung 14. Wärme und Strom werden gleichzeitig erzeugt: Der Hubkolben des Motors treibt über eine Kurbelwelle den Strom erzeugenden Generator an. Die Wärme des Heizungsrücklaufs und die Wärme des Abgases werden auf den Heizkreislauf übertragen.

Wesentliche Kenngrößen zur Bewertung der Effizienz von BHKW-Modulen sind:

- Der **thermische Wirkungsgrad** η_{th} ist definiert als Verhältnis von Wärmeleistung zur Brennstoffleistung des BHKW-Moduls. Die Herstellerangaben sind auf den Heizwert bezogen. Übliche thermische Wirkungsgrade liegen bei 50 bis 60 %.
- Der **elektrische Wirkungsgrad** η_{el} wird auch als Stromausbeute bezeichnet und ist definiert als Verhältnis von elektrischer Leistung zur Brennstoffleistung des BHKW-Moduls. Die Herstellerangaben sind auf den Heizwert bezogen. Übliche elektrische Wirkungsgrade liegen bei 25 bis 45 %. Mit zunehmender Leistung des Verbrennungsmotors steigt der elektrische Wirkungsgrad.
- Der **Gesamtwirkungsgrad** η_{Ges} bildet die Summe aus thermischem und elektrischem Wirkungsgrad. Die Herstellerangaben sind auf den Heizwert bezogen. Übliche Gesamtwirkungsgrade erreichen 90 %.
- Die **Stromkennzahl** σ gibt an, wieviel Strom im Verhältnis zur Heizwärme erzeugt wird. Die übliche Bandbreite der Stromkennzahl reicht von 0,4 bis 1,1.
- Die Anzahl der **Vollbenutzungsstunden** V_{bh} ist eine Kennzahl für die BHKW-Ausnutzung: Die jährliche Stromerzeugung wird durch die maximale Stromerzeugung in einer Betriebsstunde dividiert.
- Der **Jahresnutzungsgrad** **JNG** wird als das Verhältnis der Summe von Wärme- und Stromnutzen zum Brennstoffeinsatz auf den Brennwert bezogen angegeben. Übliche Werte liegen bei 80 bis 82 %, also unter üblichen Jahresnutzungsgraden von Gas-Brennwertkesseln. Der JNG berücksichtigt nicht die unterschiedliche Wertigkeit von Strom und Wärme. Zur Systembewertung wird daher der nachfolgend beschriebene Gütegrad empfohlen.
- Bei der Kraft-Wärme-Kopplung stellt sich das Problem der Allokation, d.h. der Verteilung des Brennstoff-Einsatz auf den Wärme- und Strom-Nutzen. Nach [1] ist eine Bewertung prinzipiell unterschiedlicher Nutzen ohne Vergleichsbildung nicht möglich. Als Referenzsystem wird daher ein Gas-Brennwertkessel mit externem Strom-Bezug als Referenzsystem eingeführt und der **Gütegrad** γ als Verhältnis des bewerteten Aufwands von Referenz und KWK-Anlage (BHKW und Spitzenlast-Erzeuger) berechnet. Als Bewertungsfaktoren für den Aufwand können beispielsweise die Energiepreise oder die unterschiedliche Exergie von Strom (100%) und Wärme (20 %) herangezogen werden.

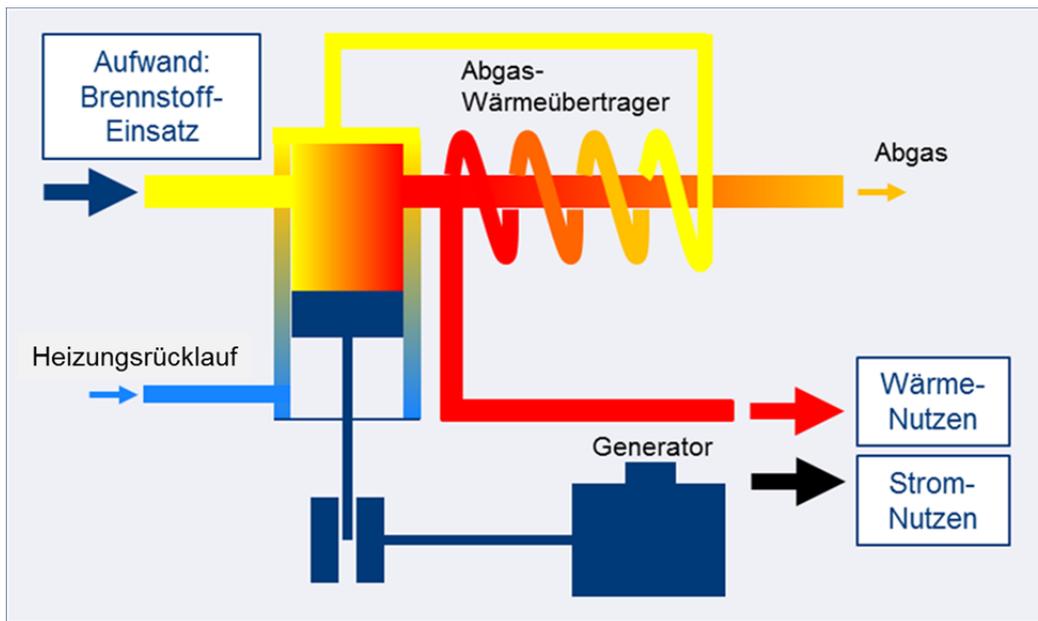


Abbildung 14 Aufwand und Nutzen BHKW-Modul

Die Koppelproduktion von Strom und Wärme bietet im Vergleich zu üblichen Heizsystemen mit externem Strombezug noch Effizienzvorteile. Bei zunehmend erneuerbarer Stromerzeugung wird sich der Dekarbonisierungseffekt des KWK-Prozesses verringern. Bei Beibehaltung des heute üblichen wärmegeführten Betriebs von KWK-Anlagen würden zudem Konkurrenzsituationen beispielsweise bei gleichzeitiger Erzeugung von Wind- und KWK-Strom auftreten. Zukünftig wird daher eine systemdienliche, flexible Betriebsführung erforderlich werden, die eine Verdrängung von erneuerbarem Strom verhindert [2]. KWK-Module springen ein, wenn das Angebot von PV und Windstrom nicht ausreicht.

4.2.3 Wärmepumpenanlage

Bei Elektrowärmepumpen wird die Systemeffizienz durch die Arbeitszahl beschrieben, die das Verhältnis von Wärmenutzen zum Stromeinsatz im Messintervall beschreibt. Zur Bestimmung des Kennwertes ist die Bilanzgrenze zu definieren. Basierend auf dem Wärmepumpen-Monitor-Projekt vom Fraunhofer ISE [3] zeigt Abbildung 15 drei mögliche Bilanzgrenzen:

- SPF-0 berücksichtigt ausschließlich den Stromaufwand für Verdichter und Steuerung der Wärmepumpe. Als Wärmenutzen wird die von der Wärmepumpe bereitgestellte Heizwärme und die Trinkwarmwasserenergie angesetzt. Bei Luft-Wärmepumpen ist Abtauenergie zu berücksichtigen. Das Abtauen des Verdampfers wird durch Prozessumkehr erreicht. Die dafür benötigte Wärmemenge steht nicht als Wärmenutzen zur Heizung oder Trinkwarmwasserbereitung zur Verfügung.
- SPF-1 bezieht zusätzlich den Stromaufwand für die Quelle ein: Je nach Quelle ist der Stromaufwand für die Solepumpe, Ventilator oder eine Brunnenpumpe zu berücksichtigen.
- SPF-2 berücksichtigt elektrische Zusatzheizung mittels Heizstab in der Bilanzgrenze: Der Stromverbrauch wird als Aufwand und gleichzeitig als Wärmenutzen mit einem Wirkungsgrad des Heizstabs von 100 % bilanziert.

Zur Bewertung des Antriebes der Wärmequelle ist der Vergleich von SPF-0 und SPF1 empfehlenswert. Für den Vergleich unterschiedlicher Heizsysteme sowie ein praxisorientiertes Monitoring ist SPF-2 am besten geeignet und wird zur Verwendung empfohlen. Außerdem ist ein Vergleich mit der nach VDI 4650 Blatt 1 (März 2019) berechneten Jahresarbeitszahl möglich [4].

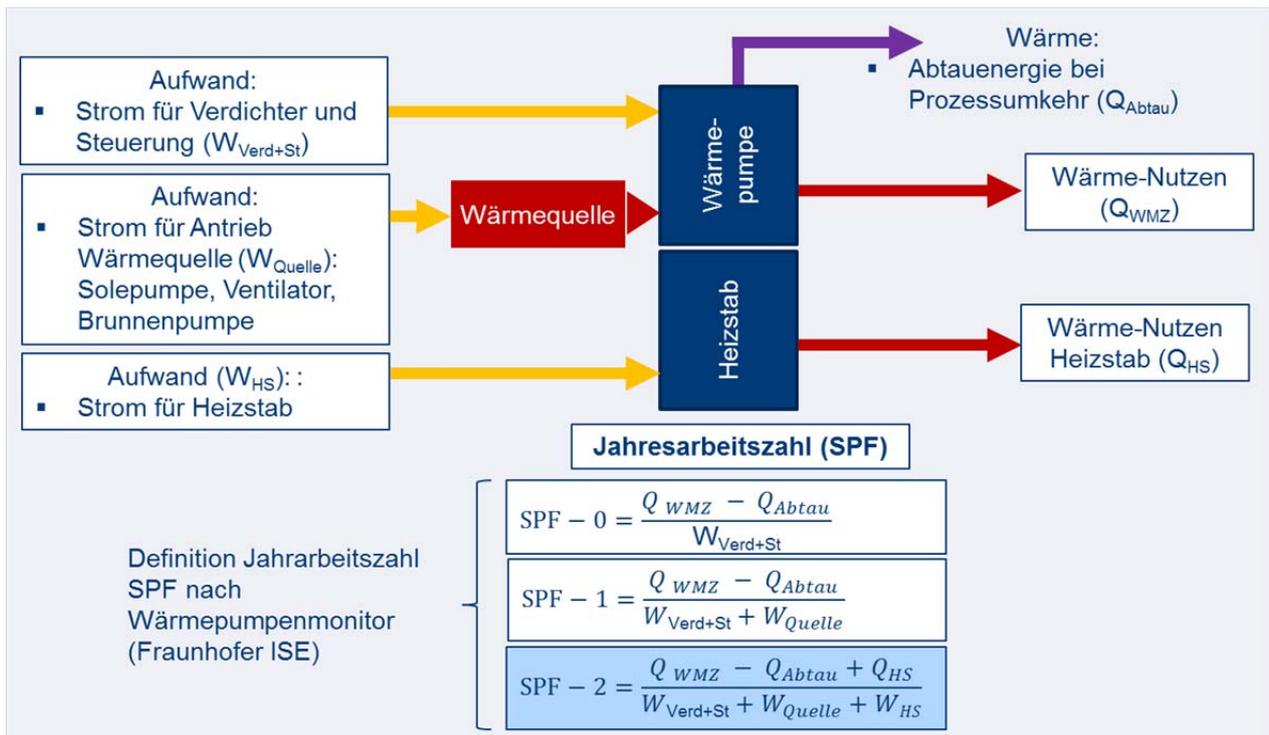


Abbildung 15 Systemeffizienz Wärmepumpenanlage im Realbetrieb

Die wesentlichen Einflussgrößen auf die Jahresarbeitszahl von Wärmepumpenanlagen sind in Abbildung 16 dargestellt. Kenngröße der Geräteeffizienz ist der COP (= Coefficient of Performance), der als Quotient von abgegebener Wärmeleistung zur aufgenommenen Stromleistung definiert ist. COP-Werte werden von unabhängigen, akkreditierten Prüfstellen nach DIN EN 255 ermittelt [5].

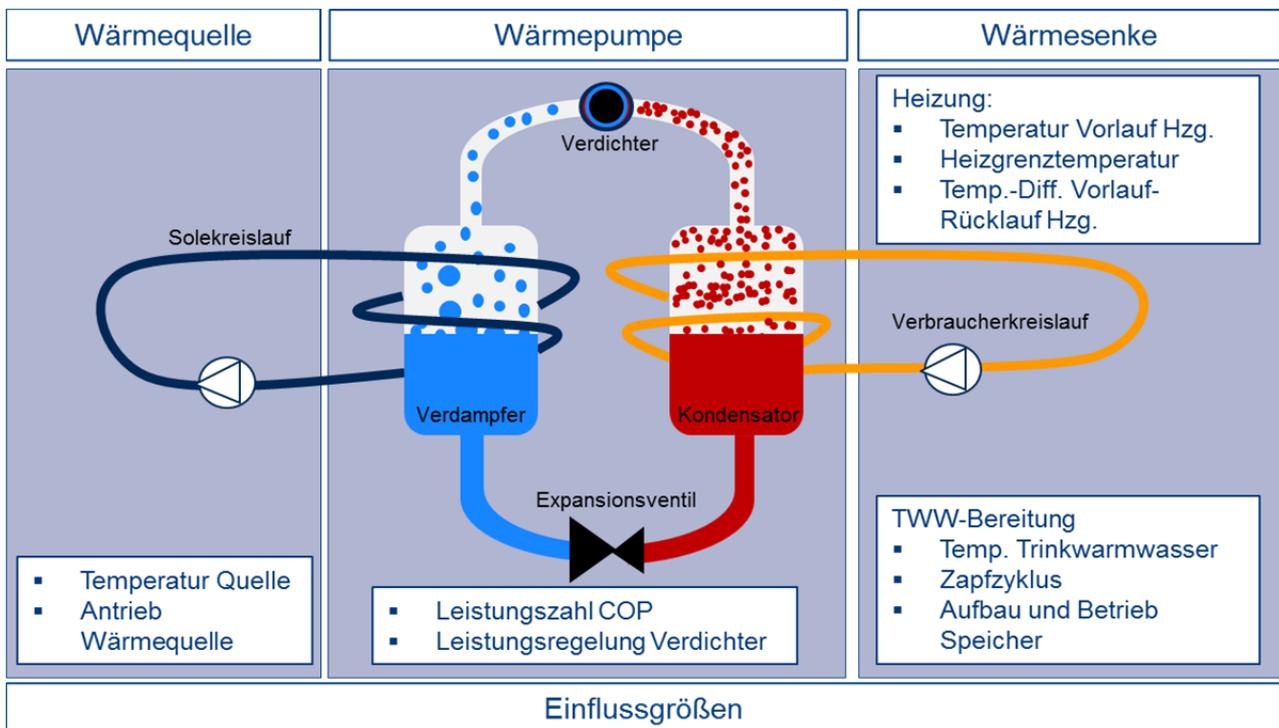


Abbildung 16 Einflussgrößen Jahresarbeitszahl Wärmepumpe

Neben den Geräteeigenschaften wird die Effizienz einer Wärmepumpenanlage maßgeblich durch die Temperaturen von Wärmequelle und Wärmesenke beeinflusst. Die Differenz beider Temperaturniveaus wird als Temperaturhub bezeichnet. Im Wärmepumpen-Monitor des Fraunhofer ISE [3] ist die Abhängigkeit der Arbeitszahl vom mittleren täglichen Temperaturhub für 2 Luft-Wärmepumpen anschaulich dargestellt: Je höher der Temperaturhub, um so niedriger ist die Jahresarbeitszahl:

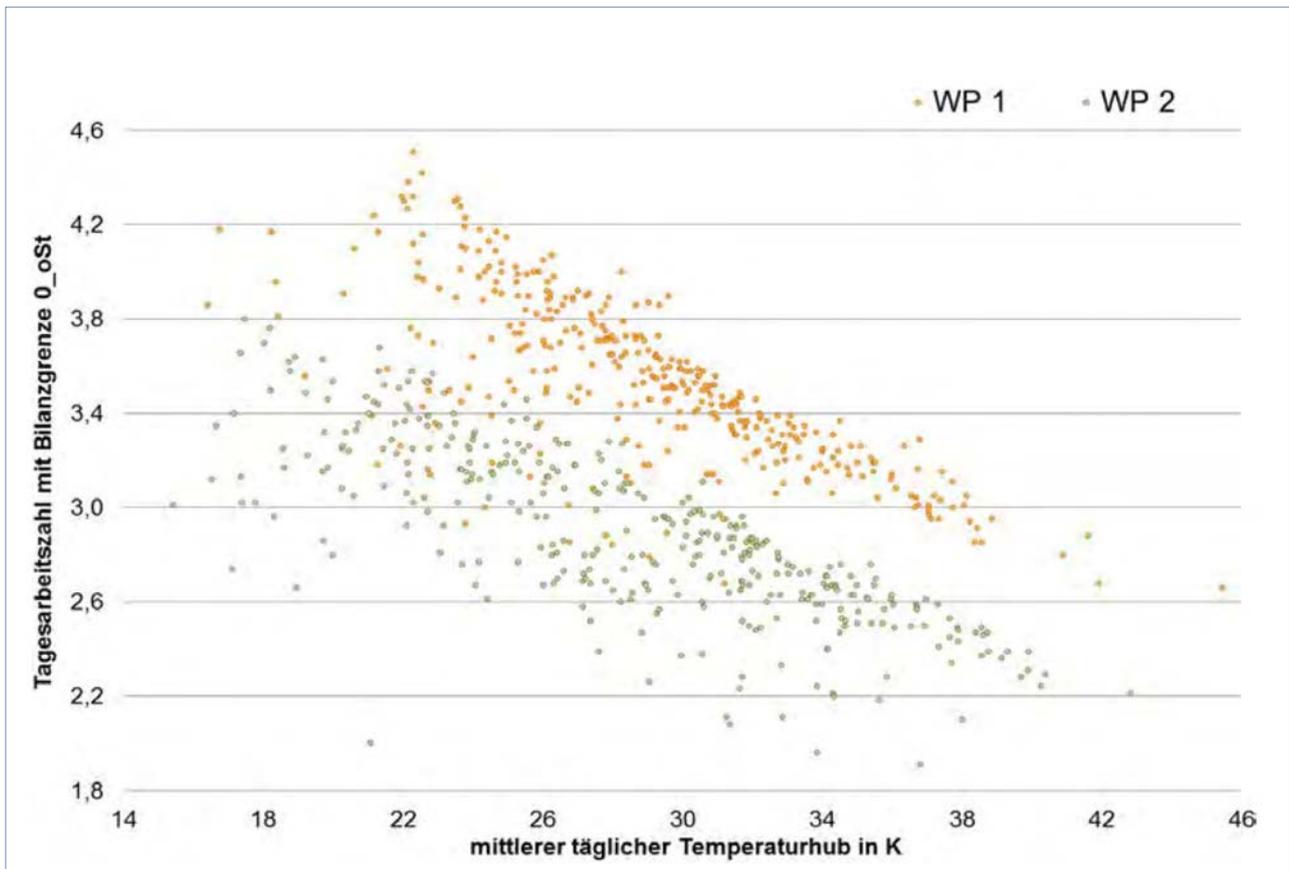


Abbildung 17 Tagesarbeitszahl von 2 Luftwärmepumpenanlagen, Quelle: Fraunhofer ISE, [3]

Anders als bei Heizkesseln ist bei Wärmepumpenanlagen keine lineare Abhängigkeit zwischen der real aufgewandten elektrischen Leistung und dem real abgegebenen Wärmenutzen zu erwarten: Insbesondere bei Luft-Wärmepumpen zeigt die Quelltemperatur einen stark saisonal abhängigen Temperaturverlauf, so dass bei sinkenden Außentemperaturen eine deutliche Arbeitszahlverschlechterung zu erwarten ist. Die Aufwand-Nutzen-Darstellung einer Luft-Wärmepumpe müsste daher einen parabelförmigen Verlauf zeigen [6], siehe Abbildung 18.

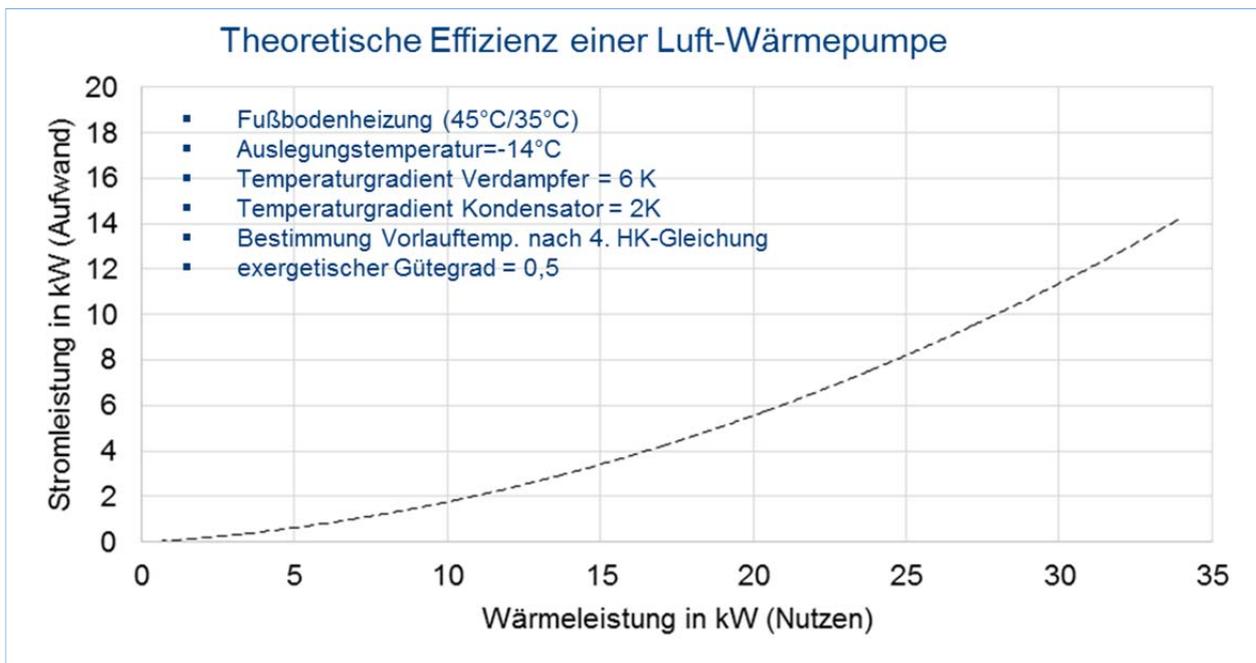


Abbildung 18 Theoretische Effizienz einer Luft-Wärmepumpe nach [6]

Nach heutigem Wissensstand können noch keine Aussagen zu geeigneten Regressionsfunktionen getroffen werden, mit denen sich die Jahresarbeitszahl aus unterjährigen Messwerten prognostizieren ließe.

Zur Auswertung der Erzeugereffizienz von Wärmepumpenanlagen empfiehlt sich daher die Auswertung von Jahreswerten entsprechend SPF-2 [3]:

- Kontinuierliche Messung: Bei regelmäßiger jährlicher Bestimmung können Unregelmäßigkeiten durch den Abgleich mit Vorjahren erkannt werden. Die Witterungsabhängigkeit von Luft-Wärmepumpen ist bei der Bewertung zu berücksichtigen.
- Abgleich mit praxistauglichen Rechenwerten: Die nach VDI-Richtlinie 4650 bestimmten Werte stellen Jahresarbeitszahlen von gut funktionierenden Anlagen dar und sind daher als Sollwert gut geeignet. Bei der Entwicklung des Verfahrens wurde sowohl ein Abgleich mit den Feldmessungen des Fraunhofer ISE als auch mit Laborwerten vorgenommen. Die Jahresarbeitszahlen werden zunächst für Raumheizung und Trinkwarmwasserbereitung getrennt bestimmt und anschließend über den jeweiligen Anteil am gesamten Jahres-Wärmebedarf gewichtet. Das Verfahren eignet sich für elektrisch betriebene Wärmepumpenanlagen mit Ausnahme von Abluft-Wärmepumpen. Für Luft-Wärmepumpen, die mit einer Beimischung von Abluft betrieben werden, kann auf das Passivhaus-Projektierungspaket zurückgegriffen werden, in das ein Rechenblatt zur Bestimmung der Jahresarbeitszahl von Abluft-Wärmepumpen integriert ist [7].

5 EXCEL-TOOL-EAV

Das im Projektrahmen entwickelte Excel-Tool steht auf der Internetseite <https://www.ostfalia.de/cms/de/v/forschung/forschungsprojekte/index.html> zum Herunterladen bereit. Die Datei ist ungeschützt, damit alle Rechenschritte nachvollziehbar und eigene Ergänzungen oder Übernahmen in eigene Software umsetzbar sind. Dieses Kapitel enthält eine Gebrauchsanweisung zur Erstellung von EAV-Auswertungen für Gebäude und Erzeuger mit Hilfe des Excel-Tools.

5.1 EAV-Auswertung Gebäude

5.1.1 Dateneingabe

Das Excel-Tool umfasst elf Arbeitsblätter, die der Dateneingabe, Auswertung und Ergebnis-Ausgabe dienen:

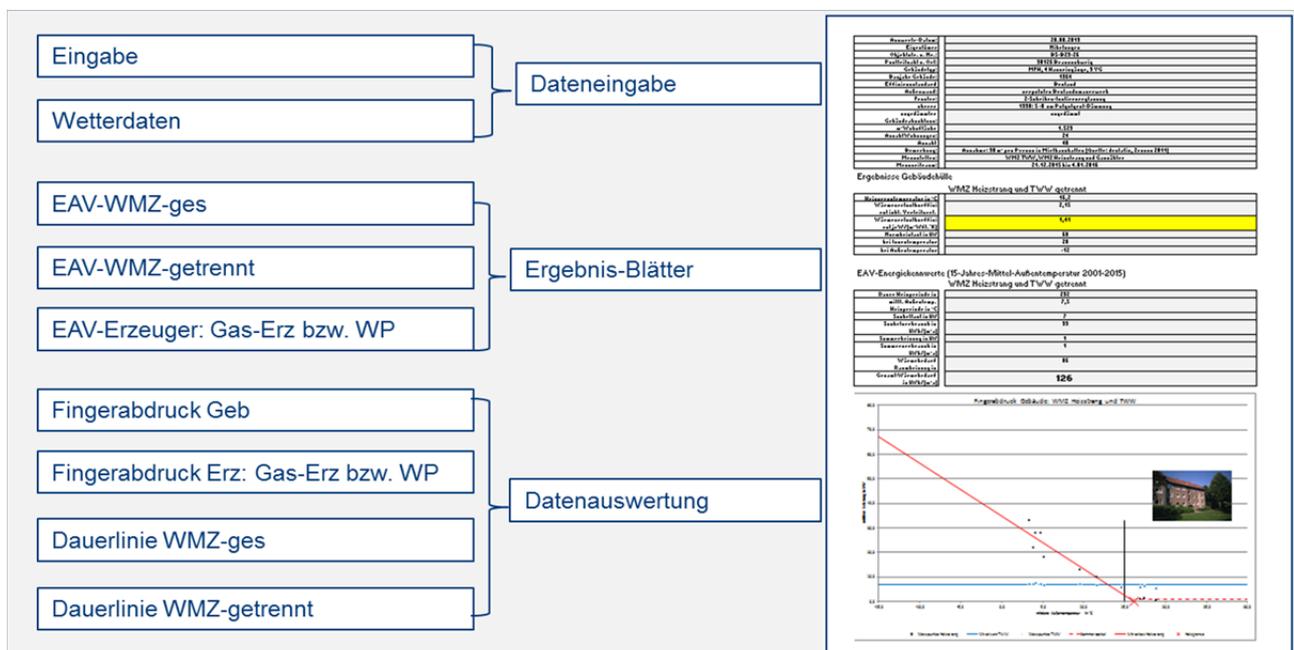


Abbildung 19 Arbeitsblätter DBU-Tool EAV

Im Arbeitsblatt „Eingabe“ werden die Projektdaten und Messdaten erfasst. Als allgemeine Projektdaten sind die Objektadresse, die beheizte Wohnfläche und Informationen zum Effizienzstandard des Gebäudes sowie zur Art und Typ des Wärmeerzeugers einzugeben.

Die verfügbaren Wärmemengenzählerdaten für die gesamte Wärmenachfrage des Gebäudes, Trinkwarmwasser und Heizstrang sind mit Angabe einer Temperaturgrenze zur Zuordnung von witterungsabhängigen und –unabhängigen Messpunkten zu erfassen siehe Abbildung 20. Bewährt hat sich eine Grenze von 15 °C: Messpunkte, deren mittlere Außentemperatur unter 15 °C liegen, werden für die Berechnung der Heizgerade genutzt, darüber liegende Werte für die Grundlast. Das Setzen unterschiedlicher Grenztemperaturen kann empfehlenswert sein, wenn ein eindeutiger Sockel erst bei höheren Temperaturen erkennbar ist. Wenn die Grenztemperatur für die Berechnung des Sockels beispielsweise auf 18 °C gesetzt wird, werden unklare Messpunkte zwischen 15 bis 18 °C nicht in die Auswertung einbezogen.

Der Messzeitraum sollte näherungsweise ein Jahr umfassen, ansonsten besteht die Gefahr der Über- bzw. Unterbewertung einzelner Jahreszeiten. Werden beispielsweise nur Messwerte im Kernwinter erfasst, kann die Steilheit der Heizgeraden überschätzt werden.

Es sind Messdaten im monatlichen bis wöchentlichen Intervall zu verwenden, um ein hohes Bestimmtheitsmaß für Heizgerade und Sockel zu erreichen. Kürzere Intervalle sind deutlicher durch Solarstrahlung, interne Wärmequellen, individuelle Nutzung und die Speichermasse des Baukörpers beeinflusst. Die Messpunkte streuen dann stärker und die Genauigkeit der Regressionsgeraden sinkt.

Ableitung 1 WMZ-Gesamt			
WMZ-Typ	WMZ gesamt		
Zähler-Nr.			
Beschreibung			
Messzeitraum	21.12.2015 bis 4.01.2016		
Winterregression aus Temp. unter:			
Sockel aus Temperaturen über:			
		Eingabe Temperaturgrenze für Messdatenzuordnung	
		↓	
		15 °C	
		15 °C	
	mittlere Leistung		Zählerstände
Datum	Nutzenergie [kW]		Nutzenergie [kWh]
	21.12.2015	40,14	354.094
	27.01.2016	34,87	389.734
	25.02.2016	35,43	414.003
	29.03.2016	20,27	442.062
	21.04.2016	16,53	453.252
	25.05.2016	7,62	466.741
	24.06.2016	6,22	472.229
	28.07.2016	6,59	477.301
	22.08.2016	10,80	481.255
	28.10.2016	25,10	498.619
	01.12.2016	29,03	519.102
	04.01.2017		542.791

Abbildung 20 Arbeitsblatt Eingabe: Erfassung Messdaten

Die Messdaten der Außentemperatur stammen aus den regionalen Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes und stehen zum Herunterladen bereit unter:

<https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/klimadatendeutschland.html>

Die Tagesmitteltemperatur (Bezeichnung TMK) wird für den jeweiligen Standort ab 01.01.2001 bis zum Ende des Auswertzeitraums benötigt. Im DBU-Tool ist der Standort „Hannover“ gesetzt, aktuelle Daten können durch Anhängen von Messdatum und TMK ergänzt werden. Bei anderen Standorten ist der komplette Wetterdatensatz auszutauschen.

Die Witterungsbereinigung über die Außentemperatur sollte zukünftig angepasst werden. Je energieeffizienter die Gebäude, umso höher ist der Einfluss von solaren Gewinnen über transparente Bauteile. Eine Einbeziehung der Globalstrahlung ähnlich dem PHPP-Monatsverfahren wird daher als sinnvoll angesehen. Im Rahmen des MOBASY-Projektes des Institutes für Wohnen und Umwelt ist die Entwicklung eines Real-Klimas vorgesehen [8], das lokale Temperatur und Strahlungsdaten berücksichtigt. Nach Vorliegen der Ergebnisse sollte eine Integration in die EAV-Methodik geprüft werden.

5.1.2 Datenauswertung Gebäude

Die Auswertung erfolgt im Arbeitsblatt „Fingerabdruck Geb“: Aus dem Start- und Enddatum jedes Messintervalls wird die mittlere Außentemperatur und die zugehörige mittlere Leistung berechnet:

Ableitung 1 WMZ-Gesamt							
Datum	Zählerstand	Startdatum	Enddatum	Zeitraum	mittlere Außentemperatur	Verbrauch	mittlere Leistung
TT.MM.JJJJ	in kWh	TT.MM.JJJJ	TT.MM.JJJJ	in Tagen	in °C	in kWh	in kW
21.12.2015	354.094	21.12.2015	26.01.2016	37		3,4	35640
27.01.2016	389.734	27.01.2016	24.02.2016	29		4,8	24269
25.02.2016	414.003	25.02.2016	28.03.2016	33		4,1	28059
29.03.2016	442.062	29.03.2016	20.04.2016	23		9,5	11190
21.04.2016	453.252	21.04.2016	24.05.2016	34		11,6	13489
25.05.2016	466.741	25.05.2016	23.06.2016	30		17,5	5488
24.06.2016	472.229	24.06.2016	27.07.2016	34		18,9	5072
28.07.2016	477.301	28.07.2016	21.08.2016	25		16,9	3954
22.08.2016	481.255	22.08.2016	27.10.2016	67		14,6	17364
28.10.2016	498.619	28.10.2016	30.11.2016	34		5,2	20483
01.12.2016	519.102	01.12.2016	03.01.2017	34		3,9	23689
04.01.2017	542.791	04.01.2017		0			

Sommerpunkte

Abbildung 21 Arbeitsblatt Fingerabdruck Geb: Auswertung

Zur Auswertung der Messdaten eines Gesamt-Wärmemengenzählers erfolgt eine Aufteilung zwischen Sommer- und Winterpunkten auf Basis der eingegebenen Temperaturgrenzen, im Beispiel in Abbildung 22 sind 15 °C zur Abgrenzung von Sommer und Winter zugrunde gelegt. Die Konstruktionspunkte der EAV werden aus den Messwerten abgeleitet:

- Sockellast als Mittelwert der Sommerpunkte
- Der Achsenabschnitt entspricht der mittleren Leistung bei Null Grad Celsius.
- Die Heizsteigung wird aus der Winterregression abgeleitet.
- Die Heizgrenze wird ermittelt, indem die um die Sockelleistung verminderte Wärmabnahme bei Null Grad Celsius durch die Heizsteigung dividiert wird.

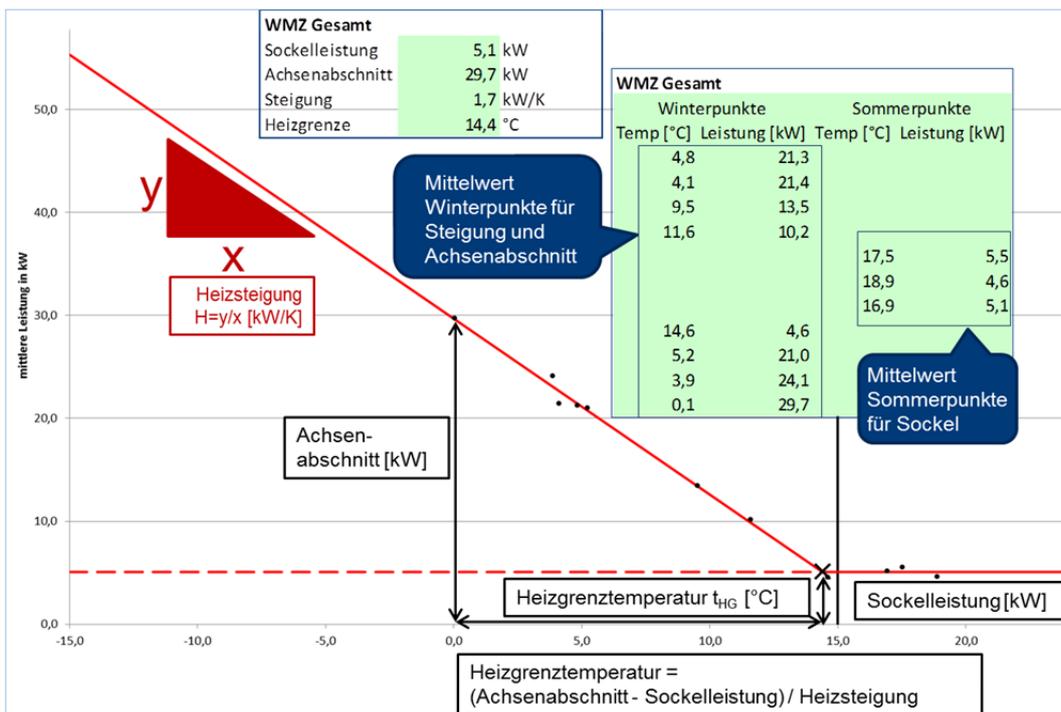


Abbildung 22 Arbeitsblatt Fingerabdruck Geb: Konstruktionspunkte EAV für Gesamt-WMZ

Bei getrennter Auswertung von Heizstrang- und TWW-Wärmemengenzähler lassen sich die Konstruktionspunkte der EAV wie folgt ableiten siehe Abbildung 23:

- der Trinkwarmwasser-Sockel als Mittelwert der Messpunkte des TWW-Zählers
- die Sommerheizung als Mittelwert der Messpunkte der Wärmeabnahme im Sommer
- Die Heizsteigung wird aus der Winterregression abgeleitet.
- Die Heizgrenze wird ermittelt, indem die Wärmeabnahme bei Null Grad Celsius durch die Heizsteigung dividiert wird.

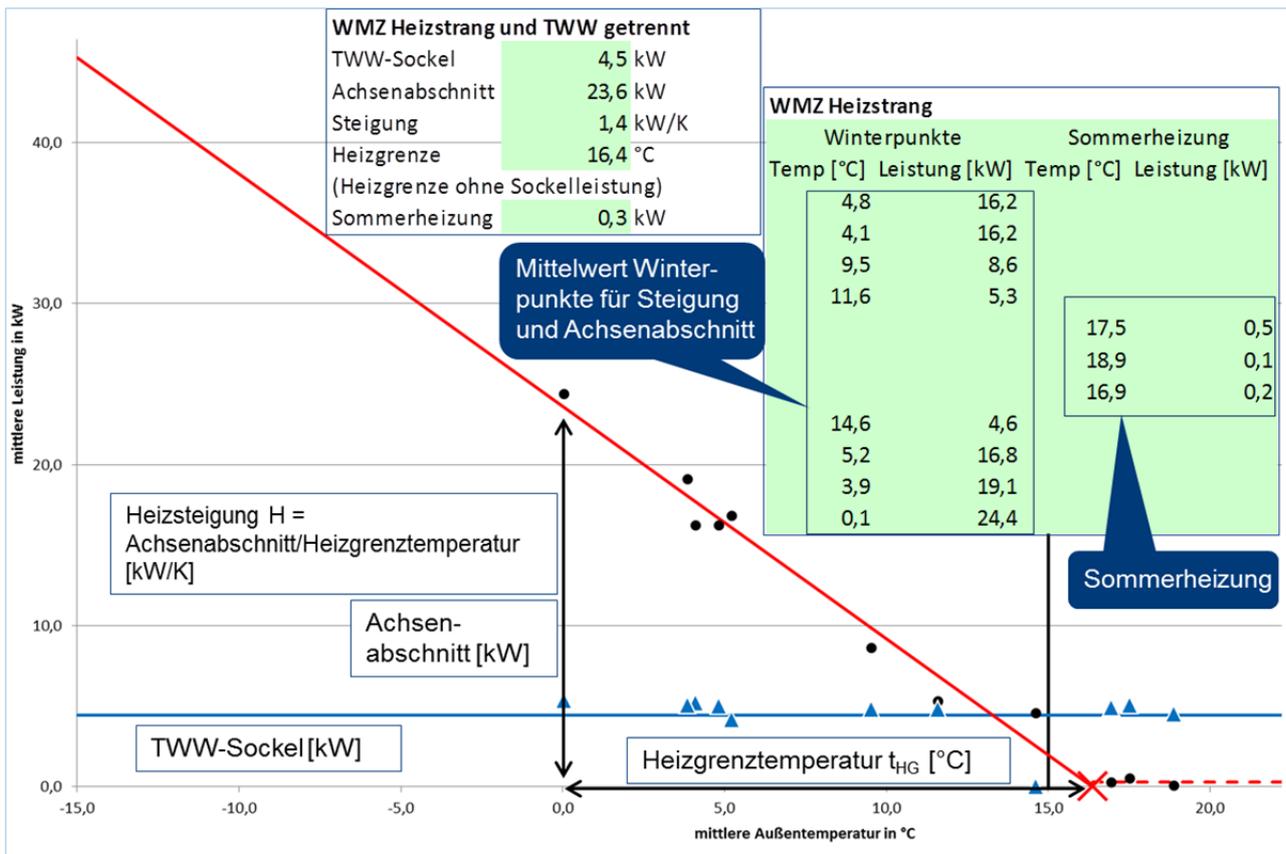


Abbildung 23 Arbeitsblatt Fingerabdruck Geb: Konstruktionspunkte für WMZ Heizstrang und WMZ TWW

5.1.3 Ergebnis-Ausgabe Gebäude

Die Ergebnisausgabe erfolgt für den Gesamt-Wärmemengenzähler im Blatt „EAV-WMZ-ges“ und für die getrennte Auswertung von Heizstrang und Trinkwarmwasserbereitung im Blatt „EAV-WMZ-getrennt“. Die EAV-Grafik wird jeweils mit resultierenden Energiekennwerten dargestellt.

Energieanalyse aus dem Verbrauch

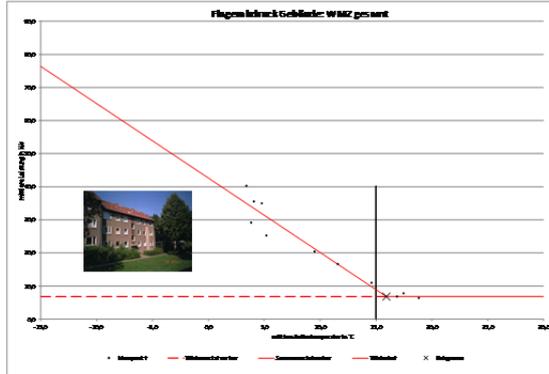
Ablesung-Datum:	20.08.2019
Objekt-Nr. in MZ:	Mietwagen
Parzellennr. u. OZ:	SS-823-28
Gebäude-Typ:	38126 Braunschweig
Baujahr Gebäude:	MFR 4, Hausnummer, 3 VIG
ETW-Erstellung und Gebäude:	1964
Ablesung:	Bestand
Ableser:	Vertrieb & Gasstromabnehmer
Ableser-Gebäude-Nr.:	2-Schichten-poliergebäude
Ableser-Gebäude-Nr.:	1990, 6-8, om Polystyrol-Dämmung
Ableser-Gebäude-Nr.:	ungefämmt
Ableser-Gebäude-Nr.:	1.523
Ableser-Gebäude-Nr.:	24
Ableser-Gebäude-Nr.:	40
Ableser-Gebäude-Nr.:	71
Ableser-Gebäude-Nr.:	20
Ableser-Gebäude-Nr.:	-12
Ableser-Gebäude-Nr.:	Annahme: 38 m² pro Person in Mietwohnungen (Quelle: destatis, Zensus 2011)
Ableser-Gebäude-Nr.:	WMZ, TWW, WMZ Heizstrang und Gaszähler
Ableser-Gebäude-Nr.:	21.12.2015, 08.4.01.2016

Ergebnisse Gebäudehülle

WMZ gesamt	
Heizenergieverbrauch in °C	19,9
Wärmeenergieverbrauch in kWh	225
Verluste in kWh/kWh	1,48
Wärmeenergieverbrauch in kWh/kWh	1,48
Wärmeenergieverbrauch in kWh/kWh	71
Wärmeenergieverbrauch in kWh/kWh	20
Wärmeenergieverbrauch in kWh/kWh	-12

EAV-Energiekennwerte (15-Jahres Mittel Außentemperatur 2001-2015)

WMZ gesamt	
Charakteristischer Heizenergieverbrauch in kWh	28
Heizenergieverbrauch in kWh	7,4
Strichverbrauch in kWh	7
Strichverbrauch in kWh	39
Strichverbrauch in kWh	87
Gesamt-Wärmeverbrauch in kWh	126



Energieanalyse aus dem Verbrauch

Ablesung-Datum:	20.08.2019
Objekt-Nr. in MZ:	Mietwagen
Parzellennr. u. OZ:	SS-823-28
Gebäude-Typ:	38126 Braunschweig
Baujahr Gebäude:	MFR 4, Hausnummer, 3 VIG
ETW-Erstellung und Gebäude:	1964
Ablesung:	Bestand
Ableser:	Vertrieb & Gasstromabnehmer
Ableser-Gebäude-Nr.:	2-Schichten-poliergebäude
Ableser-Gebäude-Nr.:	1990, 6-8, om Polystyrol-Dämmung
Ableser-Gebäude-Nr.:	ungefämmt
Ableser-Gebäude-Nr.:	1.523
Ableser-Gebäude-Nr.:	24
Ableser-Gebäude-Nr.:	40
Ableser-Gebäude-Nr.:	71
Ableser-Gebäude-Nr.:	20
Ableser-Gebäude-Nr.:	-12
Ableser-Gebäude-Nr.:	Annahme: 38 m² pro Person in Mietwohnungen (Quelle: destatis, Zensus 2011)
Ableser-Gebäude-Nr.:	WMZ, TWW, WMZ Heizstrang und Gaszähler
Ableser-Gebäude-Nr.:	21.12.2015, 08.4.01.2016

Ergebnisse Gebäudehülle

WMZ Heizstrang und TWW getrennt	
Heizenergieverbrauch in °C	16,4
Wärmeenergieverbrauch in kWh	2,16
Verluste in kWh/kWh	1,41
Wärmeenergieverbrauch in kWh/kWh	1,41
Wärmeenergieverbrauch in kWh/kWh	65
Wärmeenergieverbrauch in kWh/kWh	20
Wärmeenergieverbrauch in kWh/kWh	-12

EAV-Energiekennwerte (15-Jahres Mittel Außentemperatur 2001-2015)

WMZ Heizstrang und TWW getrennt	
Charakteristischer Heizenergieverbrauch in kWh	29
Heizenergieverbrauch in kWh	7,5
Strichverbrauch in kWh	7
Strichverbrauch in kWh	39
Strichverbrauch in kWh	1
Strichverbrauch in kWh	1
Strichverbrauch in kWh	86
Gesamt-Wärmeverbrauch in kWh	126

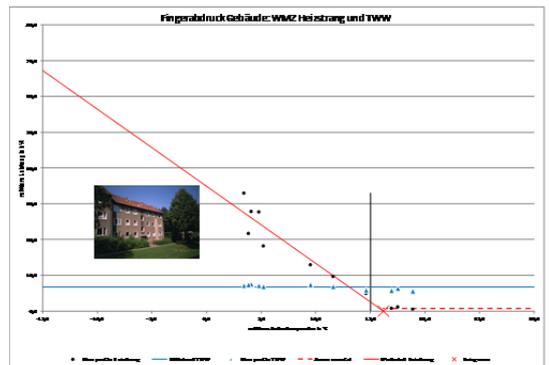


Abbildung 24 Ergebnis-Blatt: EAV-WMZ-ges und EAV-WMZ-getrennt

5.2 EAV-Auswertung Erzeuger

5.2.1 Dateneingabe

Neben dem über den Gesamtwärmemengenzähler erfassten Wärmenutzen ist der Brennstoffeinsatz bei Verbrennungsanlagen bzw. der Wärmepumpenstrom bei Wärmepumpenanlagen im Arbeitsblatt „Eingabe“ zu dokumentieren:

<p>Ablesung 3 WMZ Heizstrang</p> <p>WMZ-Typ</p> <p>Zähler-Nr.</p> <p>Beschreibung</p> <p>Messzeitraum</p> <p>Winterregression aus Temp. unter:</p>	<p>Ablesung 4 Gaszähler</p> <p>Typ</p> <p>Zähler-Nr.</p> <p>Beschreibung</p> <p>Messzeitraum</p>	<p>Ablesung 5 Wärmepumpen-Strom</p> <p>Typ</p> <p>Zähler-Nr.</p> <p>Beschreibung</p> <p>Messzeitraum</p>																																																																																																																					
<p>27.01.2016 bis 2.2.2017</p> <p>15</p>	<p>27.01.2016 bis 2.2.2017</p>	<p>27.01.2016 bis 2.2.2017</p>																																																																																																																					
<p>mittlere Leistung Zählerstände</p> <table border="1"> <tr><th>Datum</th><th>Nutzenergie [kW]</th><th>Nutzenergie [kWh]</th></tr> <tr><td>27.01.2016</td><td>16,23</td><td>235.266</td></tr> <tr><td>25.02.2016</td><td>16,21</td><td>246.561</td></tr> <tr><td>29.03.2016</td><td>8,62</td><td>259.402</td></tr> <tr><td>21.04.2016</td><td>5,33</td><td>264.159</td></tr> <tr><td>25.05.2016</td><td>0,50</td><td>268.505</td></tr> <tr><td>24.06.2016</td><td>0,05</td><td>268.864</td></tr> <tr><td>28.07.2016</td><td>0,25</td><td>268.906</td></tr> <tr><td>22.08.2016</td><td>4,55</td><td>269.055</td></tr> <tr><td>28.10.2016</td><td>16,83</td><td>276.376</td></tr> <tr><td>01.12.2016</td><td>19,08</td><td>290.109</td></tr> <tr><td>04.01.2017</td><td>24,37</td><td>305.681</td></tr> <tr><td>02.02.2017</td><td></td><td>322.644</td></tr> </table>	Datum	Nutzenergie [kW]	Nutzenergie [kWh]	27.01.2016	16,23	235.266	25.02.2016	16,21	246.561	29.03.2016	8,62	259.402	21.04.2016	5,33	264.159	25.05.2016	0,50	268.505	24.06.2016	0,05	268.864	28.07.2016	0,25	268.906	22.08.2016	4,55	269.055	28.10.2016	16,83	276.376	01.12.2016	19,08	290.109	04.01.2017	24,37	305.681	02.02.2017		322.644	<p>mittlere Leistung Zählerstände</p> <table border="1"> <tr><th>Datum</th><th>Nutzenergie [kW]</th><th>Endenergie [kWh_{th}]</th></tr> <tr><td>27.01.2016</td><td>31,16</td><td>1.488.875</td></tr> <tr><td>25.02.2016</td><td>31,17</td><td>1.510.565</td></tr> <tr><td>29.03.2016</td><td>20,27</td><td>1.535.250</td></tr> <tr><td>21.04.2016</td><td>16,44</td><td>1.546.439</td></tr> <tr><td>25.05.2016</td><td>10,69</td><td>1.559.855</td></tr> <tr><td>24.06.2016</td><td>9,26</td><td>1.567.551</td></tr> <tr><td>28.07.2016</td><td>9,78</td><td>1.575.104</td></tr> <tr><td>22.08.2016</td><td>11,44</td><td>1.580.974</td></tr> <tr><td>28.10.2016</td><td>25,50</td><td>1.599.364</td></tr> <tr><td>01.12.2016</td><td>28,24</td><td>1.620.173</td></tr> <tr><td>04.01.2017</td><td>35,30</td><td>1.643.217</td></tr> <tr><td>02.02.2017</td><td></td><td>1.667.788</td></tr> </table>	Datum	Nutzenergie [kW]	Endenergie [kWh _{th}]	27.01.2016	31,16	1.488.875	25.02.2016	31,17	1.510.565	29.03.2016	20,27	1.535.250	21.04.2016	16,44	1.546.439	25.05.2016	10,69	1.559.855	24.06.2016	9,26	1.567.551	28.07.2016	9,78	1.575.104	22.08.2016	11,44	1.580.974	28.10.2016	25,50	1.599.364	01.12.2016	28,24	1.620.173	04.01.2017	35,30	1.643.217	02.02.2017		1.667.788	<p>mittlere Leistung Zählerstände</p> <table border="1"> <tr><th>Datum</th><th>Nutzenergie [kW]</th><th>Wärmepumpen-Strom [kWh]</th></tr> <tr><td>27.01.2016</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>25.02.2016</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>29.03.2016</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>21.04.2016</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>25.05.2016</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>24.06.2016</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>28.07.2016</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>22.08.2016</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>28.10.2016</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>01.12.2016</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>04.01.2017</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>02.02.2017</td><td></td><td></td></tr> </table>	Datum	Nutzenergie [kW]	Wärmepumpen-Strom [kWh]	27.01.2016			25.02.2016			29.03.2016			21.04.2016			25.05.2016			24.06.2016			28.07.2016			22.08.2016			28.10.2016			01.12.2016			04.01.2017			02.02.2017		
Datum	Nutzenergie [kW]	Nutzenergie [kWh]																																																																																																																					
27.01.2016	16,23	235.266																																																																																																																					
25.02.2016	16,21	246.561																																																																																																																					
29.03.2016	8,62	259.402																																																																																																																					
21.04.2016	5,33	264.159																																																																																																																					
25.05.2016	0,50	268.505																																																																																																																					
24.06.2016	0,05	268.864																																																																																																																					
28.07.2016	0,25	268.906																																																																																																																					
22.08.2016	4,55	269.055																																																																																																																					
28.10.2016	16,83	276.376																																																																																																																					
01.12.2016	19,08	290.109																																																																																																																					
04.01.2017	24,37	305.681																																																																																																																					
02.02.2017		322.644																																																																																																																					
Datum	Nutzenergie [kW]	Endenergie [kWh _{th}]																																																																																																																					
27.01.2016	31,16	1.488.875																																																																																																																					
25.02.2016	31,17	1.510.565																																																																																																																					
29.03.2016	20,27	1.535.250																																																																																																																					
21.04.2016	16,44	1.546.439																																																																																																																					
25.05.2016	10,69	1.559.855																																																																																																																					
24.06.2016	9,26	1.567.551																																																																																																																					
28.07.2016	9,78	1.575.104																																																																																																																					
22.08.2016	11,44	1.580.974																																																																																																																					
28.10.2016	25,50	1.599.364																																																																																																																					
01.12.2016	28,24	1.620.173																																																																																																																					
04.01.2017	35,30	1.643.217																																																																																																																					
02.02.2017		1.667.788																																																																																																																					
Datum	Nutzenergie [kW]	Wärmepumpen-Strom [kWh]																																																																																																																					
27.01.2016																																																																																																																							
25.02.2016																																																																																																																							
29.03.2016																																																																																																																							
21.04.2016																																																																																																																							
25.05.2016																																																																																																																							
24.06.2016																																																																																																																							
28.07.2016																																																																																																																							
22.08.2016																																																																																																																							
28.10.2016																																																																																																																							
01.12.2016																																																																																																																							
04.01.2017																																																																																																																							
02.02.2017																																																																																																																							

Abbildung 25 Arbeitsblatt Eingabe: Erfassung Gesamtwärmemenge und Brennstoffeinsatz

5.2.2 Datenauswertung Erzeuger

Die Auswertung erfolgt bei Verbrennungsanlagen im Arbeitsblatt „Fingerabdruck Gas-Erz“: Aus dem Start- und Enddatum jedes Messintervalls wird die mittlere Leistung von Wärmenutzen und Brennstoffeinsatz berechnet. Die Konstruktionspunkte der EAV ergeben sich aus der Bereitschaftsleistung und der Brennstoffleistung bei Volllast. Je steiler die Regression um so höher sind die Erzeugerverluste.

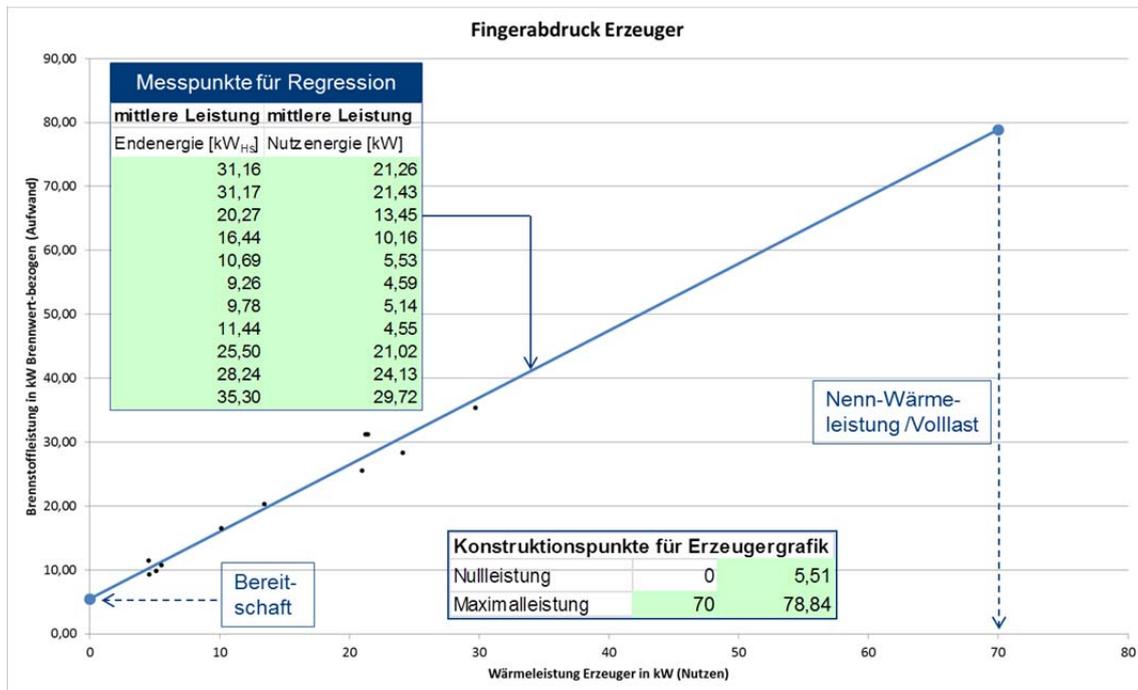


Abbildung 26 Arbeitsblatt Fingerabdruck Kessel: Konstruktionspunkte für Kessel-Fingerabdruck

5.2.3 Ergebnis-Ausgabe Erzeuger

Die Ergebnis-Ausgabe erfolgt für Verbrennungsanlagen (Heizkessel, KWK-Anlagen) im Blatt „EAV-Gas-Erz“ siehe Abbildung 27. Folgende Energie-Kennwerte und Effizienz-Kennwerte werden ausgewiesen:

- **Dauer Heizperiode/Sommer:** Ausgewiesen ist die durchschnittliche Dauer von Heizperiode und Sommer in den Jahren 2001 bis 2015.
- **Erzeuger-Nutzen Heizperiode/Sommer:** Die Wärmeabgabe des Erzeugers wird getrennt für die Dauer der Heizperiode und des Sommers ausgewiesen.
- **Erzeuger-Aufwand Heizperiode/Sommer (Brennwert-bezogen):** Der Brennstoffaufwand des Erzeugers wird getrennt für die Dauer der Heizperiode und des Sommers ausgewiesen.
- **Spezifischer jährlicher Erzeuger-Nutzen:** Die durchschnittliche jährliche Wärmeabgabe des Erzeugers wird auf die beheizte Wohnfläche bezogen.
- **Spezifischer jährlicher Erzeuger-Aufwand (Brennwert-bezogen):** Der durchschnittliche jährliche Brennstoffaufwand des Erzeugers wird auf die beheizte Wohnfläche bezogen.
- **Spezifische Erzeuger-Verluste (Brennwert-bezogen):** Die Erzeugerverluste werden als Differenz von Erzeugeraufwand und Erzeuger-Nutzen auf die beheizte Wohnfläche bezogen ausgewiesen.
- **Erzeugerwirkungsgrad (Brennwert-bezogen):** Die Wärmeleistung bei Volllast wird auf die Brennstoffleistung bei Volllast bezogen.
- **relativer Bereitschaftsverlust:** Der Brennstoffleistung ohne Wärmeabnahme wird auf die Brennstoffleistung bei Volllast bezogen.

- **Erzeugerauslastung:** Die Jahres-Wärmeabgabe wird auf den Dauerbetrieb bei Nennleistung bezogen.
- **Jahresnutzungsgrad (Brennwert-bezogen):** Der jährliche Wärmenutzen wird auf den Brennstoffaufwand in einem Jahr bezogen.
- **Nutzungsgrad Sommer (Brennwert-bezogen):** Die Wärmeabgabe im Sommer wird auf den Brennstoffaufwand im Sommer bezogen.
- **Nutzungsgrad Winter (Brennwert-bezogen):** Die Wärmeabgabe in der Heizperiode wird auf den Brennstoffaufwand in der Heizperiode bezogen.

Jahres-Energiebilanz (15-Jahres-Mittel-Außentemperatur 2001-2015)

Dauer Heizperiode in h/a	6.196
Dauer Sommer in h/a	2.564
Erzeuger-Nutzen Heizperiode in kWh Wärme	115.387
Erzeuger-Nutzen Sommer in kWh Wärme	13.043
Erzeuger-Aufwand Heizperiode in kWh Brennwert (H_s)	155.015
Erzeuger-Aufwand Sommer in kWh Brennwert (H_s)	27.792
Erzeuger-Nutzen in kWh/(m ² a)	105
Erzeuger-Aufwand in kWh (H_s)/(m ² a)	149
Erzeuger-Verluste in kWh (H_s)/(m ² a)	44

Ergebnisse Erzeuger (Brennwert-bezogen)

Erzeugerwirkungsgrad (H_s) in %:	89%
Bereitschaftsverluste in %:	7,0%
Erzeugerauslastung in %	21%
Jahresnutzungsgrad (H_s) in %	70%
Nutzungsgrad Heizperiode (H_s) in %	74%
Nutzungsgrad Sommer (H_s) in %	47%

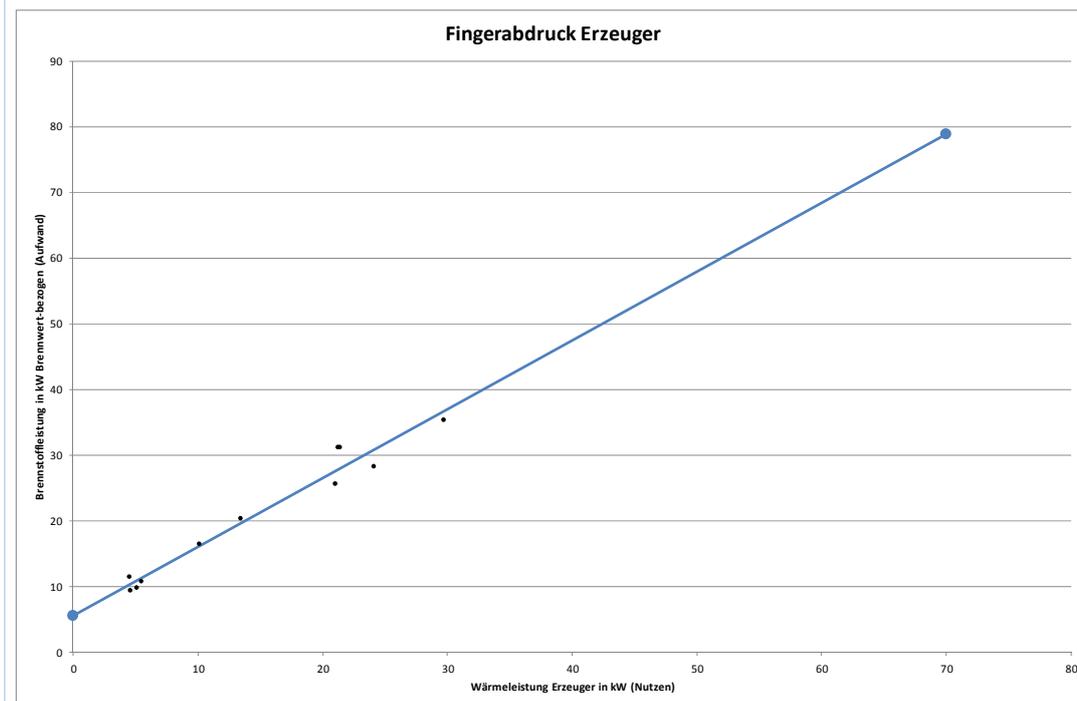


Abbildung 27 Ergebnis-Blatt: EAV-Erzeuger

5.3 Ausblick

Das vorliegende Excel-Tool zeigt, wie sich Verbrauchsdaten auf anschauliche Art darstellen und auswerten lassen und ist insbesondere für den Einsatz in der Lehre und zu Demonstrationszwecken geeignet. Zur weiteren Verbreitung ist eine Übernahme der Methode in Software-Produkte der Energieberatung, des Facility-Management und die App-Angebote der Heizungsindustrie anzustreben.

Bereits integriert ist die EAV-Analyse in folgenden Anwendungen:

- Eine Sammlung von Freeware-Angeboten für die Energieberatung steht auf der Internet-Seite http://www.delta-q.de/cms/de/archiv_veroeffentlichungen/energiebilanz_beratung.html#software zur Verfügung. Die Datei „Witterungskorrektur und EAV.xlsx“ wird seit 2006 über das Projektende dieses DBU-Projektes hinaus weiter gepflegt. Neben der EAV-Methodik sind auch Auswertblätter für Wasser- und Stromverbrauch enthalten.
- Heizenergiemonitor HEMON: CO2online hat das kostenpflichtige Angebot HEMON entwickelt, das für Einfamilienhäuser, Mehrfamilienhäuser und Nichtwohngebäude eingesetzt werden kann. <https://www.energiesparkonto.de/esk/public/whyBeratungsleistungen/>

6 Gebäudetypologie auf EAV-Basis

Zur Klassifizierung des Wohngebäudebestandes nach energetischen Kriterien werden seit 1990 Gebäudetypologien publiziert. Hierbei werden Wohngebäude nach Baualter und Größe in Klassen mit ähnlichen Komponenten und Energiekennwerten eingeteilt. Die Deutsche Wohngebäudetypologie des Instituts für Wohnen und Umwelt [9] ist inzwischen in der Energieberatung etabliert und wird als Hilfsmittel zur Bestandsanalyse sowie zur Ermittlung von Einsparpotenzialen herangezogen.

Im Folgenden wird eine auf Basis der EAV-Methodik erstellte Gebäudetypologie vorgestellt, die Wohnungsunternehmen die Bestandsanalyse, die Ermittlung von Einsparpotenzialen, Entscheidungen für geeignete Wärmeversorgungskonzepte sowie die Erfolgskontrolle von Wärmeeinsparungen erleichtern soll.

6.1 Systematik der EAV-Gebäudetypologie

In Anlehnung an [10], [11] und [9] wird folgende Einteilung in Baualtersklassen vorgeschlagen:

Wohngebäudetypen im Geschosswohnungsbau		Gebäudetyp:		Häufigkeit nach Tabula-Gebäudetypologie bis 2009
Baualtersklasse	Merkmal Bau-Epoche	MFH	Hochhaus	Anzahl Wohngebäude:
bis 1918	Fachwerk und Gründerzeit		-	16%
1919 bis 1948	kostengünstige und materialsparende Konstruktionen		-	12%
1949 bis 1957	einfache Bauweise der Nachkriegszeit	x	-	12%
1958 bis 1968	massive, häufig 2-schalige Bauweise, zunehmender Einsatz von Stahlbeton	x	x	19%
1969 bis 1978	1. Ölkrise, neue industrielle Bauweisen (Sandwich-Konstruktionen)			14%
1979 bis 1983	1. Wärmeschutzverordnung			5%
1984 bis 1994	2. Wärmeschutzverordnung (WSchV 84), erste Niedrigenergiehäuser	x		10%
1995 bis 2001	3. Wärmeschutzverordnung (WSchV95)			8%
2002 bis 2009	Energieeinsparverordnung 2002, KfW-Energieeinsparhäuser 60 und 40	x		3%
2010 bis GEG	Energieeinsparverordnung 2009 KfW-Effizienzhäuser 70, 55 und 40, Passivhäuser	x		liegt noch nicht vor

Abbildung 28 Wohngebäudetypen im Geschosswohnungsbau, Häufigkeit nach [12]

Grün markiert sind Baualtersklassen, für die Beispielgebäude der beteiligten Wohnungsunternehmen ausgewertet wurden. Die untersuchten Geschosswohnungsbauten werden neben dem Baualter nach den Kategorien Mehrfamilienhaus und Hochhaus unterteilt. Die Auswertungsergebnisse zu den Wohnquartieren der BG Bergedorf-Bille [13], [14], [15] und [16] haben gezeigt, dass die Energiekennwerte von Hochhäusern aufgrund erhöhter Kompaktheit signifikant niedriger ausfallen. In der letzten Spalte ist die jeweilige Häufigkeit der Gebäude einer Baualtersklasse bezogen auf den Gesamtbestand an Geschosswohnungsbauten nach [12] dargestellt. Die Altersklasse „1958 bis 1968“ mit den meisten Geschosswohnungsbauten ist auch im Bestand der Projektpartner am häufigsten vertreten.

Eine weitere Unterteilung innerhalb einer Baualtersklasse erfolgt nach dem durchgeführten Umfang energetischer Ertüchtigungen für die Bauteile Außenwand (AW), Fenster (FE) und oberer Gebäudeabschluss, d.h. Geschosdecke und/oder Dach (OG/DA):

Unterteilung nach Umfang der Modernisierung	Definition
Bestand	Die energetischen Komponenten des Gebäudes entsprechen dem Baualter oder es wurden Energiesparmaßnahmen durchgeführt, die die das Anforderungsniveau der EnEV 2009 für die Änderung von Außenbauteilen nicht erreichen, z. B. Fenster mit Isolierverglasung oder die Bauteilerneuerung erfolgte nur in Teilbereichen.
Komplettmodernisierung	<p>Die Bauteile AW, FE und OG/DA entsprechen mindestens den Anforderungen der EnEV 2009 für die Änderung von Außenbauteilen und sind vollständig erneuert:</p> <p><u>Anforderungsniveau:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Außenwand: U-Wert $\leq 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ▪ Fenster: U-Wert $\leq 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ▪ Oberste Geschossdecke / Schrägdach: U-Wert $\leq 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ bzw. Flachdach: U-Wert $\leq 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ <p>Die Dämmung der Kellerdecke ist häufig mit baukonstruktiven Restriktionen verbunden und teilweise unvollständig umgesetzt. Eine Bewertung der Maßnahmenumsetzung ist bei Kellerdecken in der Praxis schwierig. Der Modernisierungsgrad der Kellerdecke wird daher nicht in der Definition einer Komplettmodernisierung berücksichtigt.</p>

Abbildung 29 Unterteilung nach dem Umfang der Modernisierung

Die Unterteilung nach dem Umfang durchgeführter Modernisierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle beruht auf folgenden Überlegungen:

- Die energetische Modernisierung der Gebäudehülle hat signifikanten Einfluss auf die Energiekennwerte. Bei Geschosswohnungsbauten weist das Einsparpotenzial in der Regel folgende Rangfolge auf 1. AW-Dämmung, 2. FE-Erneuerung, 3. OG/DA-Dämmung, 4. KE-Dämmung
- In der Wohnungswirtschaft werden energetische Modernisierungen inzwischen gut dokumentiert, so dass jüngere Maßnahmenumsetzungen im Regelfall in Umfang und Qualität eindeutig beurteilbar sind. Bei älteren Energiesparmaßnahmen sind der Umfang der Maßnahme und die eingesetzten technischen Qualitäten häufig unzureichend erfasst. Daher wird ein Anforderungsniveau nach EnEV 2009 als Maßstab für Komplettmodernisierungen vorgeschlagen, da sich dieser Standard eindeutig identifizieren lässt.
- Teilmodernisierte Gebäude sind nicht als eigene Kategorie aufgeführt, da deren Kennwerte sich zwischen der Kategorie „Bestand“ und „Komplettmodernisierung“ einordnen lassen. Je nach Umfang und umgesetztem Effizienzniveau lässt sich entscheiden, ob eher die Erfahrungswerte der Kategorie „Bestand“ oder „Komplettmodernisierung“ zutreffen.

6.2 EAV-Gebäudetypologie

Im folgenden sind die EAV-Kennwerte der untersuchten Gebäude nach Baualtersklasse entsprechend der im vorherigen Kapitel beschriebenen Systematik für Bestandsgebäude und Komplettmodernisierungen dargestellt. Die Zahl der untersuchten Gebäude ist als nicht repräsentativ einzustufen. Es sind jedoch eindeutige Trends erkennbar, die darauf hindeuten, dass eine Typologie-Bewertung auf Basis von Verbrauchskennwerten nach EAV-Methode ein geeignetes Verfahren zur energetischen Klassifizierung von Geschosswohnungsbauten ist.

6.2.1 Baualtersklasse 1949 bis 1957

Die EAV-Kennwerte unsanierter Bestandsgebäude der Baualtersklasse 1949 bis 1957 liegen sehr deutlich im ungünstigen Bereich. Die Bauphase ist von einfachen Gebäudegeometrien und Baukonstruktionen mit hohen U-Werten geprägt. Die Grundrissgestaltung ist sparsam, Küche und Bad sind häufig nebeneinander angeordnet, so dass sich ein einfaches Trinkwarmwasser-Verteilnetz mit nur wenig Steigsträngen ergibt siehe Abbildung 31. Die hohe, gemessene Grundlast ist vermutlich auf den schlechten Dämmstandard nicht zugänglicher Verteilungen zurückzuführen. Aufgrund der einfachen Gebäudegeometrie ist die Gebäudehülle mit vergleichsweise geringem Aufwand modernisierbar. Das Einsparpotenzial ist aufgrund der ungünstigen Bestandskonstruktionen hoch.

Baualtersklasse 1949 bis 1957

Beispielgebäude							
Gebäudetyp	Mehrfamilienhaus, 3 VG 3 Hauseingänge						
Standort	Hannover						
Baualter	1953						
beheizte Wohnfläche	1.166 m ²						
Anzahl Wohnungen	25						
		h	Heizgrenze	q _{VMZ} (Hzg + TWW _{zentral})	q _H	q _{Socket}	Heizlast
Objektbezeichnung		W/(m ² K)	°C	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	W/(m ²)
H-16	Bestand	2,3	16,5	149	149	dez. elektr.	71
Mittelwerte / gemessene Bandbreite							
Anzahl		h	Heizgrenze	q _{VMZ} (Hzg + TWW _{zentral})	q _H	q _{Socket}	Heizlast
Objekte	Modernisierungsgrad	W/(m ² K)	°C	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	W/(m ²)
4	Bestand	2,3 2,0 bis 2,7	17 15 bis 18	entfällt	146 130 bis 155	dez. elektr.	71 60 bis 85
7	Komplettmodernisierung	1,2 1,1 bis 1,4	18 16 bis 19	119 110 bis 130	87 65 bis 110	46 40 bis 50	37 35 bis 45
Hinweise zur Baualtersklasse							
Bestands-Gebäudeeffizienz im deutlich schlechten Bereich in der Regel kompaktes, unzureichend gedämmtes Verteilnetz							

Abbildung 30 Baualtersklasse 1949 bis 1957

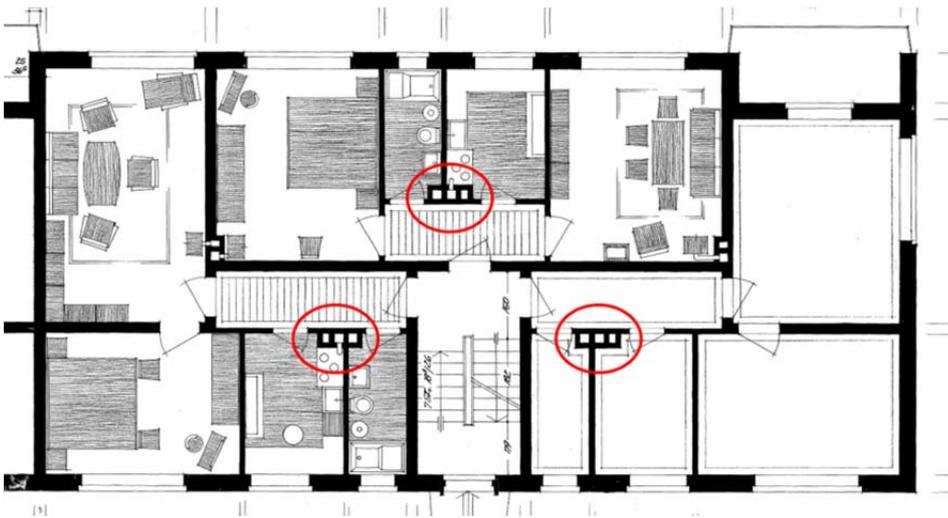


Abbildung 31 Grundriss-Beispiel, Baualtersklasse 1949 bis 1957, rot markiert: Steigestränge

6.2.2 Baualtersklasse 1958 bis 1968

Die EAV-Kennwerte unsanierter Bestandsgebäude der Baualtersklasse 1958 bis 1968 liegen deutlich im ungünstigen Bereich. Im Vergleich zur Typologiekategorie 1949 bis 1957 fallen die Kennwerte aufgrund energetisch leicht verbesserter Baukonstruktionen tendenziell etwas günstiger aus. Die Objekte weisen einfache Gebäudegeometrien auf, so dass die Gebäudehülle mit vergleichsweise geringem Aufwand modernisierbar ist. Das Einsparpotenzial ist aufgrund der ungünstigen Bestandskonstruktionen hoch.

Baualtersklasse 1958 bis 1968

Beispielgebäude							
Gebäudetyp	Mehrfamilienhaus, 3 VG						
Standort	Braunschweig						
Baualter	1964						
beheizte Wohnfläche	900 m ²						
Anzahl Wohnungen	15						
		h	Heizgrenze	q _{WMZ} (Hzg + TWW _{zentral})	q _H	q _{Socket}	Heizlast
Objektbezeichnung		W/(m ² K)	°C	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	W/(m ²)
BS-B18-19	Bestand	2,08	16,1	171	130	41	65
Mittelwerte / gemessene Bandbreite							
Anzahl		h	Heizgrenze	q _{WMZ} (Hzg + TWW _{zentral})	q _H	q _{Socket}	Heizlast
Objekte	Modernisierungsgrad	W/(m ² K)	°C	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	W/(m ²)
11	Bestand	<u>1,8</u>	<u>16</u>	<u>137</u>	<u>108</u>	<u>33</u>	<u>56</u>
		1,6 bis 2,2	15 bis 17	115 bis 170	90 bis 145	30 bis 40	50 bis 70
11	Komplettmodernisierung	<u>1,0</u>	<u>17</u>	<u>105</u>	<u>69</u>	<u>37</u>	<u>30</u>
		0,7 bis 1,4	17 bis 19	85 bis 160	55 bis 110	30 bis 55	20 bis 45
Hinweise zur Baualtersklasse							
Bestands-Gebäudeeffizienz im schlechten Bereich							
in der Regel kompaktes, unzureichend gedämmtes Verteilnetz							

Abbildung 32 Baualtersklasse 1958 bis 1968

6.2.3 Baualtersklasse 1958 bis 1968 – Hochhaus

Als Hochhäuser werden in Deutschland Gebäude definiert, deren höchstgelegener Aufenthaltsraum mindestens 22 Meter über Geländeoberfläche liegt, vgl. niedersächs. Landesbauordnung §2 (5) Nr. 1. Die sehr hohe Kompaktheit mit A/V_e -Werten (Verhältnis Transmissionsfläche zum beheizten Gebäudevolumen) von nur ca. 0,3 1/m und A/A_{EBF} -Werten von höchstens 1,3 (Verhältnis Transmissionsfläche zur beheizten Wohnfläche) ist ursächlich für die besonders niedrigen Energiekennwerte im Vergleich zu üblichen Geschosswohnungsbauten dieser Baualtersklasse. Die h-Kennwerte liegen im mittleren bis niedrigen ungünstigen Bereich von 1,5 W/(m²Wfl.K). Im Verteilnetz dominieren Steigestränge, die eine große Anzahl von Wohnungen erschließen. Der Sockel-Kennwert ist geringer als beim üblichen Mehrfamilienhaus.

Baualtersklasse 1958 bis 1968 - HOCHHAUS

Beispielgebäude							
Gebäudetyp	Hochhaus						
Standort	Hamburg						
Baualter	1964						
beheizte Wohnfläche	4767 m ²						
Anzahl Wohnungen	78						
		h	Heizgrenze	q_{WMZ} (Hzg + TWW _{zentral})	q_H	q_{Socket}	Heizlast
Objektbezeichnung		W/(m ² K)	°C	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	W/(m ²)
HH-B30	Bestand	1,54	16,2	132	96	36	47
Mittelwerte / gemessene Bandbreite							
Anzahl		h	Heizgrenze	q_{WMZ} (Hzg + TWW _{zentral})	q_H	q_{Socket}	Heizlast
Objekte	Modernisierungsgrad	W/(m ² K)	°C	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	W/(m ²)
6	Bestand	1,3	17	123	90	33	40
		1,2 bis 1,5	16 bis 18	110 bis 140	80 bis 105	30 bis 40	35 bis 45
-	Komplettmodernisierung	keine auswertbaren Projekte vorhanden					
Hinweise zur Baualtersklasse							
Hohe Kompaktheit führt zu günstigeren h-Werten als bei üblichen Geschosswohnungsbauten dieser Alterklasse.							
Wenige Steigestränge erschließen eine große Anzahl an Wohnungen, daher vergleichsweise geringer Verteilungsaufwand.							

Abbildung 33 Baualtersklasse 1958 bis 1968 –Hochhaus

6.2.4 Baualtersklasse 1984 bis 1994

Die Bestandseffizienz der Baualtersklasse 1984 bis 1994 liegt im mittleren an der Schwelle zum ungünstigen Bereich. Die Gebäudegeometrie ist häufig aufwändiger mit Giebeln, Versprüngen, Erkern und eingeschnittenen Balkonen gestaltet als in der Nachkriegszeit. Die Bauteilkonstruktionen entsprechen den Anforderungen der 2. Wärmeschutzverordnung (WschV84), der Wärmebrückeneinfluss ist vergleichsweise hoch. Ursächlich sind energetisch nicht optimierte Bauteilanschlüsse und geometrisch bedingte Wärmebrücken. Küche und Bad sind großzügiger ausgestattet als in der Nachkriegszeit und häufig nicht mehr nebeneinander platziert siehe Abbildung 35. Bei den ausgewerteten Objekten zeigt sich trotz der Anforderungen an den Dämmstandard der Verteilleitungen entsprechend Heizungsanlagenverordnung ein im Vergleich zu den Baujahren 1949 bis 1958 erhöhter Sockelverbrauch. Aufgrund des noch nicht erreichten Instandsetzungszyklus gibt es kaum Erfahrungen zum Einsparerfolg umgesetzter

Modernisierungen. Nachträgliche Dämmmaßnahmen sind in dieser Baualtersklasse aufwändiger und unter den aktuellen Rahmenbedingungen häufig unwirtschaftlich.

Baualtersklasse 1984 bis 1994

Beispielgebäude							
Gebäudetyp	Blockbebauung, 3 VG						
Standort	Hamburg						
Baualter	1992						
beheizte Wohnfläche	3373 m ²						
Anzahl Wohnungen	51						
		h	Heizgrenze	q _{WMZ} (Hzg + TWW _{zentral})	q _H	q _{Socket}	Heizlast
Objektbezeichnung		W/(m ² K)	°C	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	W/(m ²)
HH-LaFu13-23	Bestand	1,5	16,1	129	92	36	45
Mittelwerte / gemessene Bandbreite							
Anzahl		h	Heizgrenze	q _{WMZ} (Hzg + TWW _{zentral})	q _H	q _{Socket}	Heizlast
Objekte	Modernisierungsgrad	W/(m ² K)	°C	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	W/(m ²)
4	Bestand	<u>1,3</u>	<u>16</u>	<u>125</u>	<u>79</u>	<u>46</u>	<u>40</u>
		1,1 bis 1,5	16 bis 16	115 bis 130	70 bis 95	35 bis 60	35 bis 45
0	Komplettmodernisierung	bisher nicht erfolgt					
Hinweise zur Baualtersklasse							
Bestands-Gebäudeeffizienz mittel bis an der Schwelle zum ungünstigen Bereich							
Optimierung der Gebäudehülle unwirtschaftlich, i.a. hoher Wärmebrückeneinfluss							
Küche und Bad häufig nicht nebeneinander platziert, ein längeres Verteilnetz verursacht höhere Wärmeabgabe der Verteilungen							

Abbildung 34 Baualtersklasse 1984 bis 1994

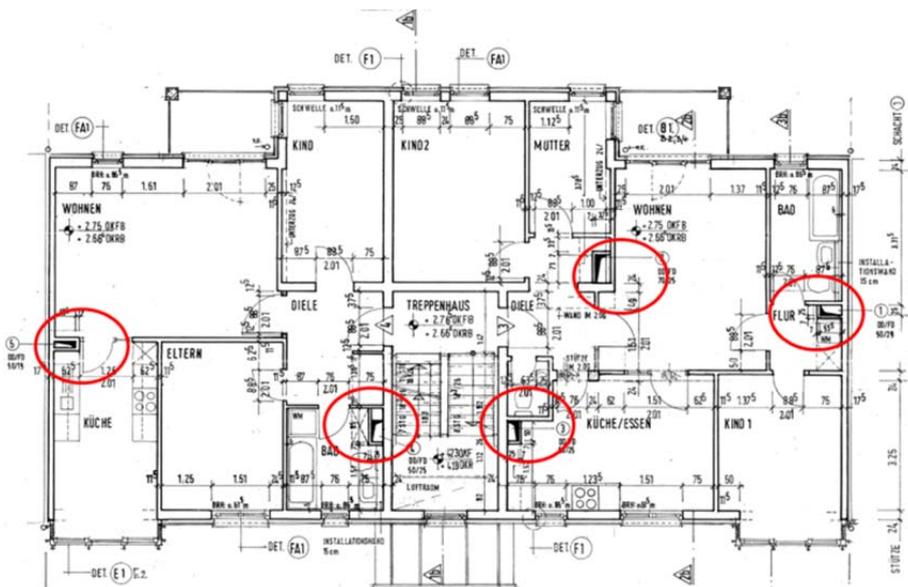


Abbildung 35 Grundriss-Beispiel, Baualtersklasse 1984 bis 1994, rot markiert: Steigstränge

6.2.5 Baualtersklasse 2002 bis 2009

Die h-Werte der Baualtersklasse 2002 bis 2009 liegen im niedrigen mittleren Bereich. Das Anforderungsniveau der Energieeinsparverordnung zeigt sich in deutlich reduzierten Kennwerten. In der Baupraxis etabliert sich eine verbesserte Ausführungsqualität bei der Wärmedämmung des Verteilnetzes, die auch Armaturen und Regeleinrichtungen mit einschließt.

Hinweis: Es waren nur zwei Projekte in dieser Baualtersklasse auswertbar. Es besteht noch Forschungsbedarf zur Einstufung von Liegenschaften, die in dieser Zeit errichtet wurden.

Abgleich mit anderen verbrauchsbasierten Energiekennwerten: Gemäß dena-Gebäudereport 2016 [17] wird in der Baualtersklasse 2001 bis 2008 ein Endenergieverbrauch für Gebäude mit 7 bis 12 Wohnungen von $86 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{AN}} \cdot \text{a})$ ausgewiesen. Der Wert ist aufgrund des Flächenbezugs (erfahrungsgemäß ist die EnEV-Nutzfläche 20 bis 30 % größer als die beheizte Wohnfläche) und der anteilig enthaltenen Erzeugerverluste unbekannter Größe nicht direkt vergleichbar, liegt aber mit abgeschätzten $90 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ für den Wärmekennwert zur Heizung und Trinkwarmwasserbereitung auf ähnlichem Niveau. Gemäß Techem-Studie Energiekennwerte 2019 [18] wird in der Baualterklasse 2002 bis 2008 für Liegenschaften mit 8 bis 16 Wohnungen eine Bandbreite von 61 bis $76 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bei Fernwärmeversorgung und 66 bis $90 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ Heizenergie bei Öl- oder Gasversorgung ausgewiesen. Enthalten sind sowohl Liegenschaften mit als auch ohne zentrale Trinkwarmwasserbereitung. Der Abgleich mit den Studien von dena und Techem lässt erwarten, dass es sich bei den ausgewerteten Liegenschaften um typische Ergebnisse handelt.

Baualtersklasse 2002 bis 2009

Beispielgebäude							
Gebäudetyp	Blockbebauung, 4 VG						
Standort	Hamburg						
Baualter	2004						
beheizte Wohnfläche	924 m ²						
Anzahl Wohnungen	11						
		h	Heizgrenze	q _{WMZ} (Hzg + TWW _{zentral})	q _H	q _{Socket}	Heizlast
Objektbezeichnung		W/(m ² K)	°C	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	W/(m ²)
HH-LoLa157	Bestand	1,1	14,7	84	54	30	26
Mittelwerte / gemessene Bandbreite							
Anzahl		h	Heizgrenze	q _{WMZ} (Hzg + TWW _{zentral})	q _H	q _{Socket}	Heizlast
Objekte	Modernisierungsgrad	W/(m ² K)	°C	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	W/(m ²)
2	Bestand	1,1 1,0 bis 1,1	15 15 bis 15	89 85 bis 95	57 55 bis 60	32 30 bis 35	29 25 bis 30
0	Komplettmodernisierung	bisher nicht erfolgt					
Hinweise zur Baualtersklasse							
Bestands-Gebäudeeffizienz gut bis mittel							

Abbildung 36 Baualtersklasse 2002 bis 2009

6.2.6 Baualtersklasse 2010 bis GEG

Die h-Werte der Baualtersklasse ab 2010 liegen im guten Bereich. Das Anforderungsniveau der Energieeinsparverordnung zeigt sich in nochmals reduzierten Kennwerten im Vergleich zur Baualtersklasse 2002 bis 2009. Übliche Sockelkennwerte liegen bei rund 30 kWh/(m²a).

Hinweis: Es ist nur ein Projekt in dieser Baualtersklasse auswertbar. Es besteht noch Forschungsbedarf zur Einstufung von Liegenschaften, die in dieser Zeit errichtet wurden. Gebäude mit besonders guten Kennwerten sollten detailliert untersucht werden und die zugehörigen Lösungsansätze mit Potenzial zur breitenwirksamen Anwendung dargestellt werden.

Baualtersklasse 2010 bis 2019

Beispielgebäude								
Gebäudetyp	Eckbebauung						h	Heizgrenze
Standort	Hannover	W/(m ² K)	°C	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	W/(m ²)	
Baualter	2011							
beheizte Wohnfläche	1797 m ²							
Anzahl Wohnungen	33							
Objektbezeichnung								
H-F19M32	Bestand	0,6	17,1	71	39	32	18	
Mittelwerte / gemessene Bandbreite								
Anzahl		h	Heizgrenze	q _{VMZ} (Hzg + TWW _{zentral})	q _H	q _{Socket}	Heizlast	
Objekte	Modernisierungsgrad	W/(m ² K)	°C	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	W/(m ²)	
1	Bestand	0,6	17	71	39	32	18	
		0,6 bis 0,6	17 bis 17	71 bis 71	39 bis 39	32 bis 32	20 bis 20	
0	Komplettmodernisierung	bisher nicht erfolgt						
Hinweise zur Baualtersklasse								
Bestands-Gebäudeeffizienz sehr gut								

Abbildung 37 Baualtersklasse 2010 bis GEG

6.3 Ergebnisse EAV-Gebäudetypologie

6.3.1 Ergebnisse Gebäudeeffizienz: h-Wert

Im Folgenden werden die Ergebnisse der ausgewerteten Geschosswohnungsbauten entsprechend der im Kapitel 6.1 vorgeschlagenen Systematik dargestellt. Folgende Trends sind erkennbar:

Bei der Auswertung des h-Wertes (auf die beheizte Wohnfläche bezogenen Heizsteigung) zeigt sich im Bestand die erwartete Abhängigkeit vom Baualter und Kompaktheitsgrad siehe Abbildung 38. Die Hochhäuser der Baualtersklasse 1958-1968 schneiden deutlich günstiger als die Mehrfamilienhäuser dieser Baualtersklasse ab. Die kontinuierlich sinkenden h-Werte korrespondieren mit den erhöhten Wärmeschutzanforderungen vgl. Abbildung 39.

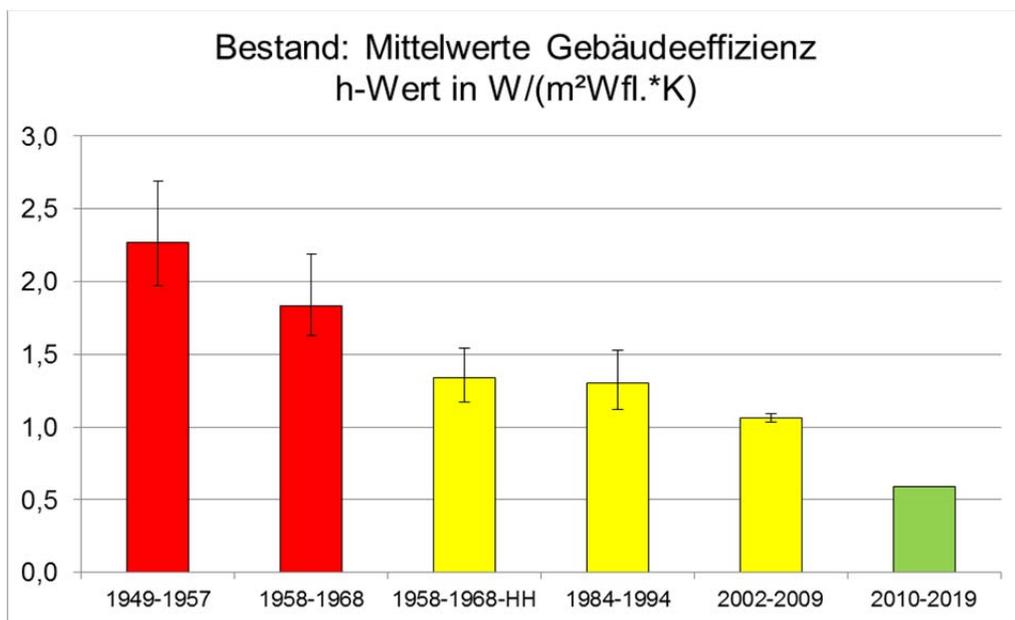


Abbildung 38 Auswertung EAV-Typologie: Mittelwerte h-Werte mit Bandbreite

U-Werte von Bauteilen nach Baualtersklasse in W/(m²K)										
	Erfahrungswerte						Anforderung bei Bauteil-Modernisierung bzw. Referenzgebäude-Ausführung nach EnEV2009 und 2016			
	vor Wärmeschutzverordnung					1. WschV	WschV84	WschV95	EnEV2002	EnEV2009 EnEV2016
	Regeln zur Datenaufnahme im Wohngebäudebestand						Anlage 1, Punkt 9	Anlage 3, Tabelle 1	Anlage 3, Tabelle 1	Anlage 3, Tabelle 1
	bis 1918	1919 bis 1948	1949 bis 1957	1958 bis 1968	1969 bis 1978	1979 bis 1983	1984 bis 1994	1995 bis 2001	2002 bis 2009	2010 bis GEG
AW	3 bis 0,5	3 bis 0,5	3 bis 0,5	1,4 bis 0,5	1 bis 0,5	0,8 bis 0,5	0,6	0,4	0,35	0,24 Ref.-Geb.: 0,28
FE	5* bis 2,7	5* bis 2,7	5* bis 2,7	5* bis 2,7	5* bis 2,7	5* bis 2,7	2,7	1,8	1,7	1,3 Ref.-Geb.: 1,3
OG	2,1 bis 1	2,1 bis 1	2,1 bis 0,8	2,1 bis 0,7	0,6	0,6 bis 0,4	0,45	0,3	0,3	0,24 Ref.-Geb.: 0,20
Schräg-DA	2,6 bis 2,1	2,1 bis 1,4	2,1 bis 1,4	1,4 bis 1,3	1,3 bis 0,8	0,7 bis 0,6	0,45	0,3	0,3	0,24 Ref.-Geb.: 0,2
Flach-DA	2,6 bis 2,1	2,1 bis 1,4	2,1 bis 1,4	1,4 bis 1,3	1,3 bis 0,8	0,7 bis 0,6	0,45	0,3	0,25	0,2 Ref.-Geb.: 0,2
KE - von unten	1,8 bis 1	1,8 bis 1	2,3 bis 1	1,2 bis 0,8	1,2 bis 0,6	0,8 bis 0,6	0,7	0,5	0,4	0,3 Ref.-Geb.: 0,35
KE/BO - von oben	1,8 bis 1	1,8 bis 1	2,3 bis 1	1,2 bis 0,8	1,2 bis 0,6	0,8 bis 0,6	0,7	0,5	0,5	0,5 Ref.-Geb.: 0,35

* U-Wert für einfach verglaste Holz-Fenster: Im Bestand inzwischen selten.

Abbildung 39 U-Werte von Bauteilen nach Baualtersklasse

Nach der Durchführung von Komplettmodernisierungen bei den Bauteilen Außenwand, Fenster und oberer Gebäudeabschluss verbessert sich die gemessene Gebäudeeffizienz in den Altersklassen 1949 bis 1968 um 40 bis 50 Prozent.

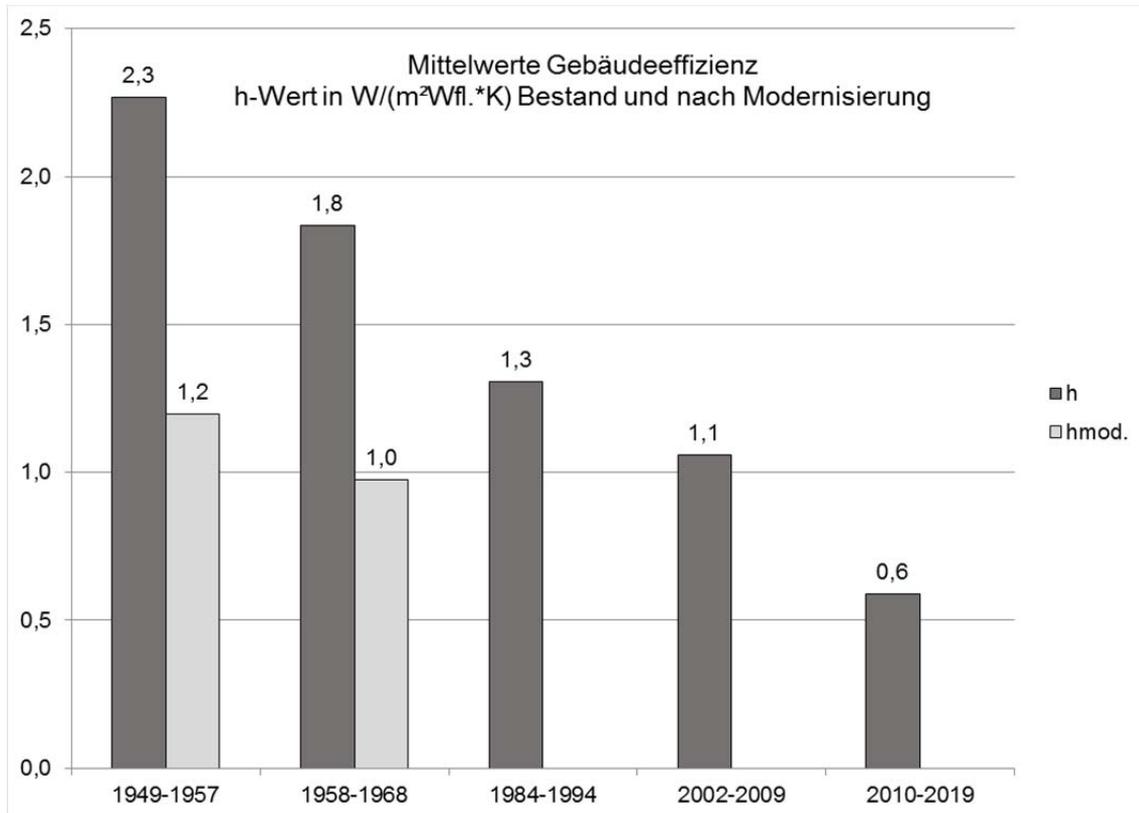


Abbildung 40 Auswertung EAV-Typologie: Mittelwerte h-Werte Bestand und nach Modernisierung

6.3.2 Ergebnisse Heizwärme-Kennwert

Der nach Abbildung 5 ermittelte Heizwärme-Kennwert zeigt ebenfalls die erwartete Abhängigkeit von Baualter und Kompaktheitsgrad siehe Abbildung 41.

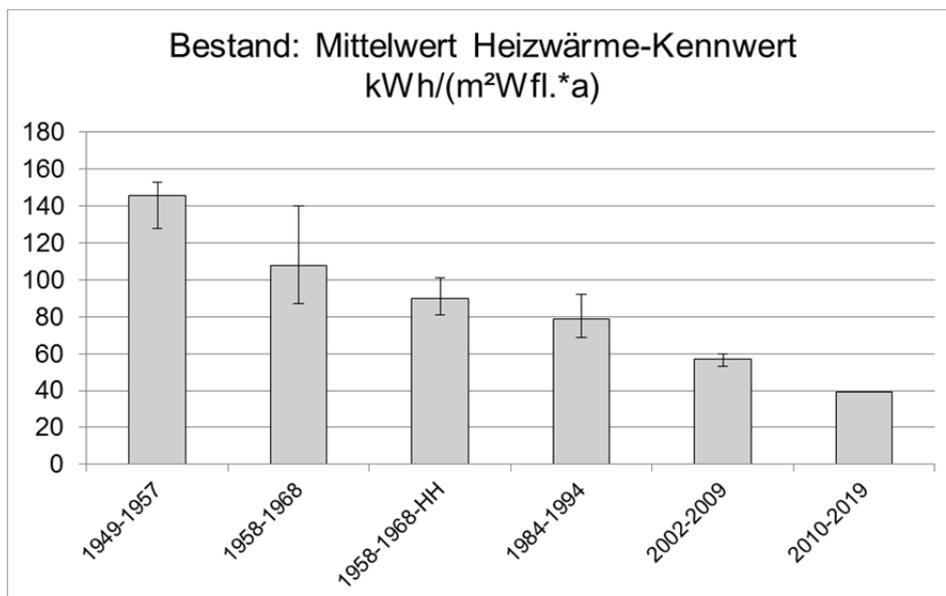


Abbildung 41 Auswertung EAV-Typologie: Mittelwerte Heizwärme-Kennwert mit Bandbreite

In der Altersklasse 1949 bis 1968 zeigt sich für den Heizwärme-Kennwert nach Komplettmodernisierung ein durchschnittlicher Einsparerfolg von 40 bis 50 %.

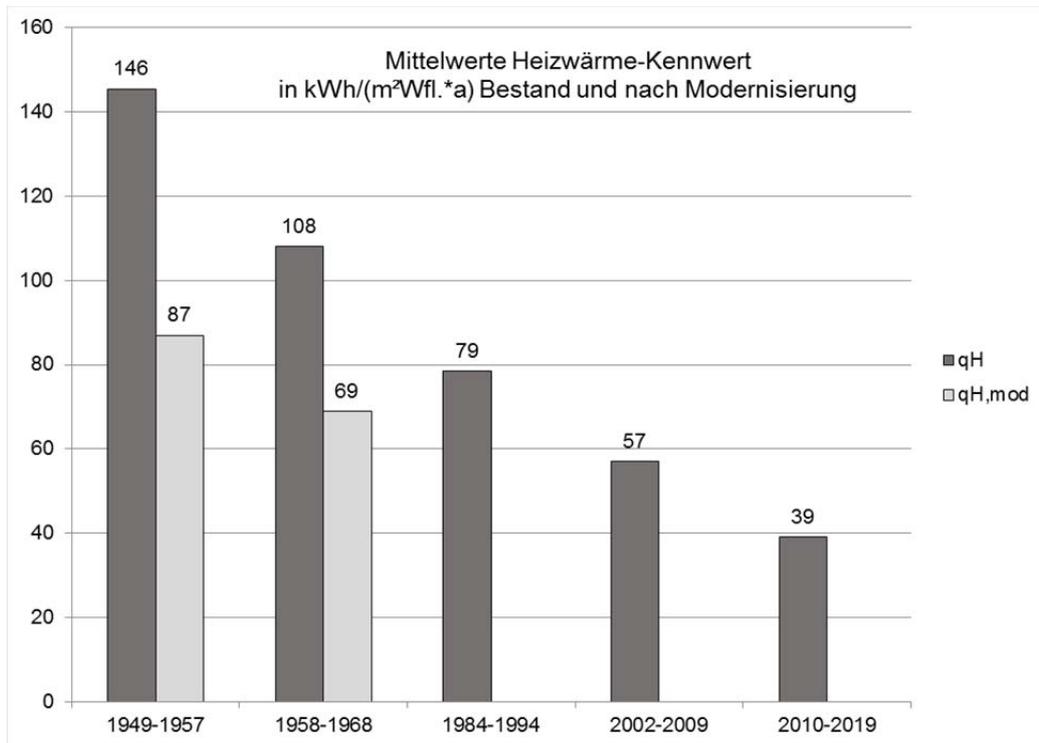


Abbildung 42 Auswertung EAV-Typologie: Mittelwerte Heizwärme-Kennwert Bestand und nach Modernisierung

6.3.3 Ergebnisse Gebäude-Heizlast

Die gemessenen durchschnittlichen Gebäude-Heizlasten variieren von rund 70 bis 20 W/m². Es empfiehlt sich, die Kennwerte verstärkt für Systemauslegungen zu berücksichtigen. Bei Auslegung nach DIN SPEC 12831-1 (2018-10) ergeben sich regelmäßig höhere Werte.

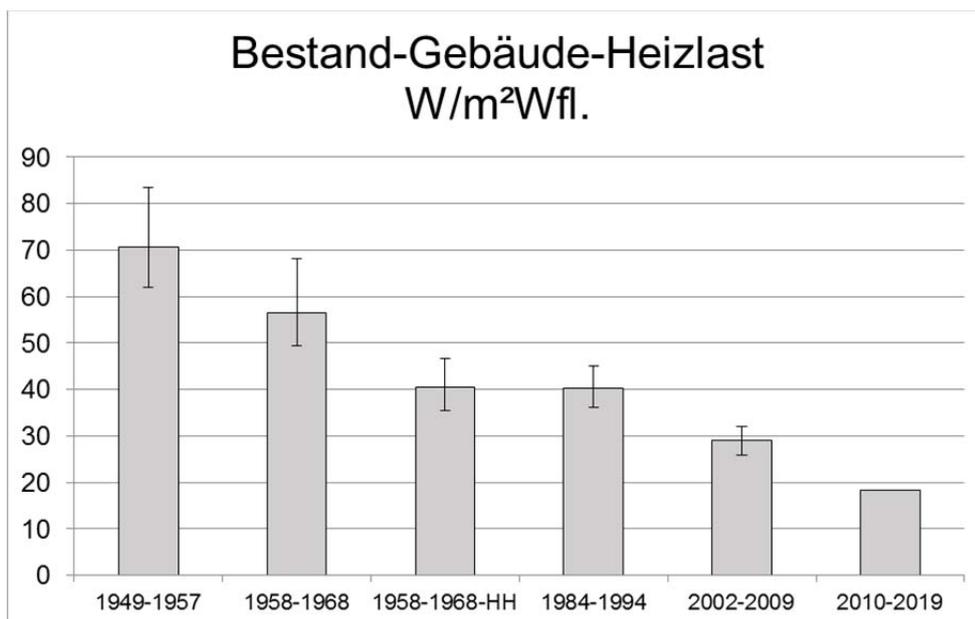


Abbildung 43 Auswertung EAV-Typologie: Mittelwerte Gebäude-Heizlast mit Bandbreite

Auch die Gebäude-Heizlast reduziert sich nach Komplettmodernisierungen in der Altersklasse 1949 bis 1968 um rund 40 bis 50 %.

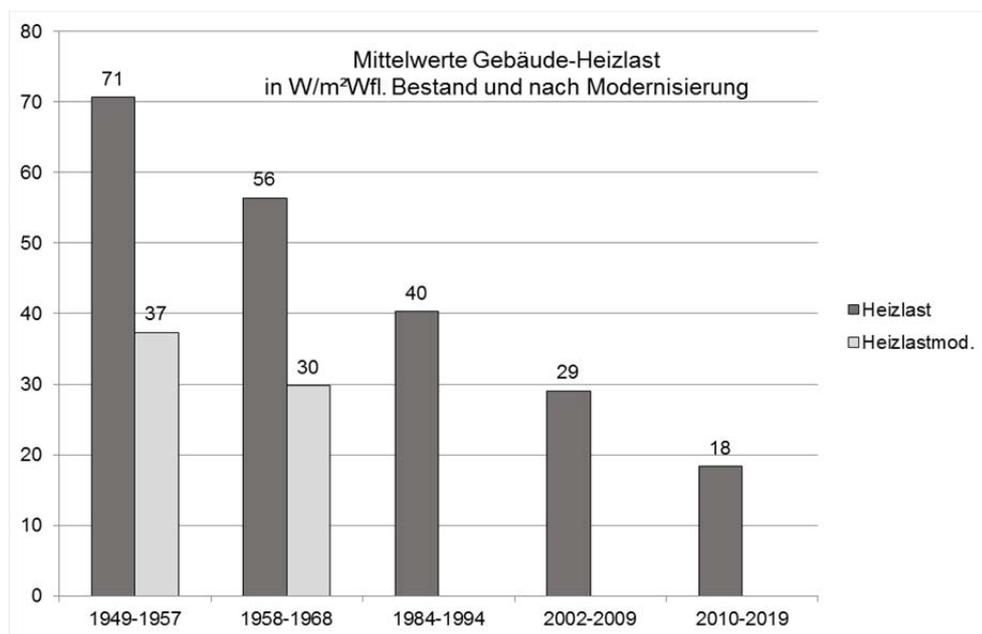


Abbildung 44 Auswertung EAV-Typologie: Mittelwert Gebäude-Heizlast: Bestand und nach Modernisierung

6.3.4 Ergebnisse TWW-Sockel

Die gemessenen Mittelwerte für den TWW-Sockel in Gebäuden mit zentraler Trinkwarmwasserbereitung liegen bei allen Baualtersklassen mit Ausnahme der Klasse 1984 bis 1994 zwischen 30 bis 35 kWh/(m²a). Diese Bandbreite stimmt sehr gut mit dem Durchschnittswert in Höhe von 32 kWh/(m²a) gemäß Techem-Report überein [18]. Dieser Kennwert ist für Objekte mit zentraler Trinkwarmwasserbereitung durch Auswertung des Warmwasser-Zählers ermittelt. In den Gebäuden zwischen 1984 bis 1994 fällt der höhere TWW-Sockel auf. Es wird vermutet, dass die durchschnittlich höheren Verluste auf ein ungünstigeres Verteilnetz in Kombination mit einer unzureichenden Ausführungsqualität bei der Dämmung der Verteilleitungen zurückzuführen sind. Obwohl der Mindestdämmstandard für Rohrleitungen nach Heizungsanlagenverordnung bereits ab 1982 in etwa dem Niveau der EnEV-Anforderungswerte entsprach (vgl. Abbildung 46), lassen die durchgeführten Vor-Ort-Besichtigungen eine durchschnittlich ungünstigere Dämmqualität vermuten. Ob der erhöhte Sockel-Kennwert repräsentativ für die gesamte Baualtersklasse ist, müsste vertieft untersucht werden.

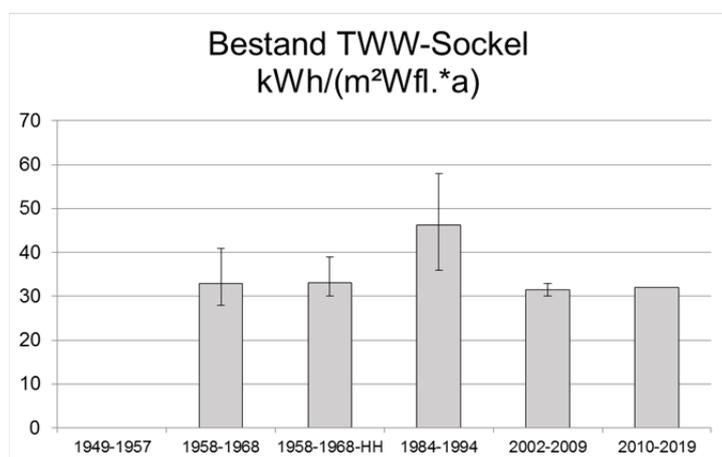


Abbildung 45 Auswertung EAV-Typologie: Mittelwerte Sockel-Kennwert TWW mit Bandbreite

Anforderungen an die Dämmung von Verteilungen			
Verordnung:	Hauptanforderung Verteilung		Sonderbereiche
	Art der Leitung	Mindestdicke Dämmung bezogen auf WLS 035	
HeizanIV1978	- bis DN 100 - ab DN100	- 2/3 * Innendurchmesser - DN100	50 % Dämmung: - in Wand- und Deckendurchbrüchen - im Kreuzungsbereich von Rohrleitungen - an Rohrleitungsnetzverteilern - bei Armaturen in Heizzentralen
HeizanIV1982 und HeizanIV1989 und HeizanIV1994 und HeizanIV1998	- bis DN 20 - ab DN22 bis DN35 - ab DN40 bis DN100 - über DN100	- 20 mm - 30 mm - 100 % Innendurchmesser - 100 mm	50 % Dämmung an Leitungen und Armaturen: - in Wand- und Deckendurchbrüchen - im Kreuzungsbereich von Rohrleitungen - an Rohrleitungsverbindungsstellen - bei zentralen Rohrnetzverteilern - Heizkörperanschlussleitungen von nicht mehr als 8 m Länge
EnEV2002 EnEV2009 EnEV2016	- bis DN 22 - über DN22 bis DN35 - über DN35 bis DN100 - über DN100	- 20 mm - 30 mm - 100 % Innendurchmesser - 100 mm	50 % Dämmung an Leitungen und Armaturen: - in Wand- und Deckendurchbrüchen - im Kreuzungsbereich von Leitungen - an Leitungsverbindungsstellen - bei zentralen Leitungsnetzverteilern - Heizkörperanschlussleitungen von nicht mehr als 8 m Länge

Abbildung 46 Anforderungen an die Dämmung von Verteilungen ab 1978 bis heute

6.3.5 Ergebnisse Wärmenachfrage bei zentraler Heizung und Trinkwarmwasserbereitung

Abbildung 47 zeigt die durchschnittliche Wärmenachfrage in Gebäuden mit zentraler Heizung und Trinkwarmwasserbereitung. Ab der Baualtersklasse 1984 bis 1994 steigt die prozentuale Bedeutung der Trinkwarmwasserbereitung auf Anteile von rund 40 %. Infolge des hohen TWW-Sockels liegt die Wärmenachfrage der Klasse 1984 bis 1994 nur 16 kWh/(m²a) unter dem Niveau der Klasse 1958 bis 1968.

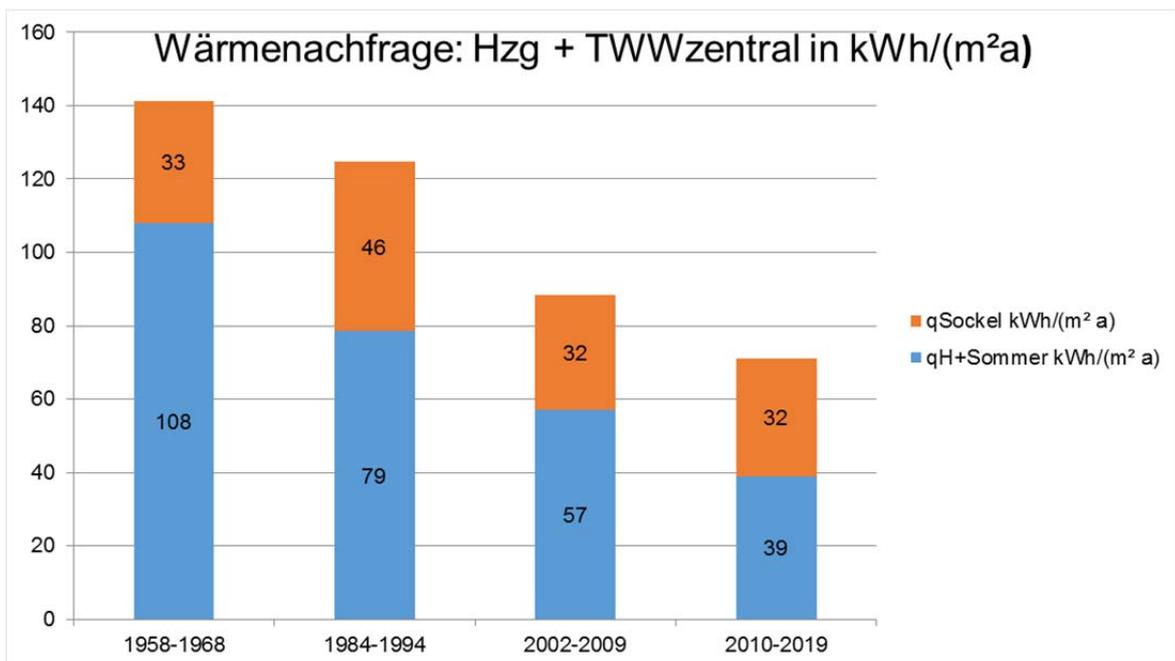


Abbildung 47 Auswertung EAV-Typologie: Wärmenachfrage bei Objekten mit zentraler Heizung und Trinkwarmwasserbereitung

6.4 Forschungsbedarf

Ob die Ergebnisse der untersuchten Gebäude als repräsentativ für den Geschosswohnungsbau einzustufen sind, wäre im Rahmen einer Großstudie auszuwerten. Weiterer Untersuchungsbedarf besteht zu folgenden Themen:

- Die Altersklasse 1984-1994 lässt sich nur mit hohem Aufwand modernisieren. Hierzu könnten ähnlich wie zu Beginn der Niedrigenergiehaus-Entwicklung Pilotprojekte initiiert und mit dem Ziel gefördert werden, praxistaugliche Modernisierungskonzepte abzuleiten.
- Das Einsparpotenzial von Verteilnetzoptimierungen sollte genauer evaluiert werden, in dem Modernisierungsmaßnahmen (z. B. Rohr-in-Rohr, Rohr-an-Rohr, Ultrafiltration, 2-Rohr-Systeme) durch ein wissenschaftliches Monitoring begleitet werden.
- Im Rahmen von künftigen Forschungsprojekten sollte eine Premium-Klasse für Neubau und Modernisierung auf Grundlage von Verbrauchskennwerten definiert werden. Bei den Premium-Modernisierungen ist ggf. nach Baualter zu differenzieren. Als erste Diskussionsgrundlage werden die Kennwerte entsprechend Abbildung 48 vorgeschlagen. Die Gebäudeeffizienz orientiert sich am Passivhaus bzw. EnerPhit-Standard [19], es wird aber eine leicht erhöhte Heizgrenze angenommen.

	h-Wert	Heizwärme-Kennwert	TWW-Sockel (zentral)
	W/(m ² Wfl.K)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)
Premium-Neubau	0,5	20	20
Premium-Modernisierung (Baualter 1949 bis 1968)	0,8	30	20

Abbildung 48 Vorschlag Premium-Neubau und Premium Modernisierung

7 Praxisbeispiele Erzeugereffizienz-Bewertung

Für die Erzeugerarten Gaskessel, KWK-Anlage und ein Wärmepumpenkompaktgerät wird nachfolgend jeweils ein Beispiel einer Bewertung der Erzeugereffizienz vorgestellt. Mit Ausnahme des Wärmepumpenkompaktgerätes, das in einem Einfamilienhaus installiert ist, versorgen alle Anlagen Geschosswohnungsbauten.

7.1 Heizkessel

Anlagenbeschreibung: Die Heizungsanlage versorgt ein Mehrfamilienhaus mit 18 Wohnungen und 900 m² beheizter Wohnfläche, das im Jahr 1964 errichtet wurde. Der 2015 installierte Gas-Brennwertkessel befindet sich im unbeheizten Keller und dient der gebäudezentralen Wärmeerzeugung für Raumheizung und Trinkwarmwasser siehe Abbildung 49. Die Warmwasserbereitung erfolgt zentral im Durchfluss mittels Frischwasserstation. Folgende Anlagenkomponenten werden eingesetzt:

- ein Gas-Brennwertkessel Viessmann Vitocrossal 300 12-60 kW
- ein 750-Liter-Pufferspeicher Vitocell-100-E
- eine Frischwasserstation Viessmann Vitotrans 353

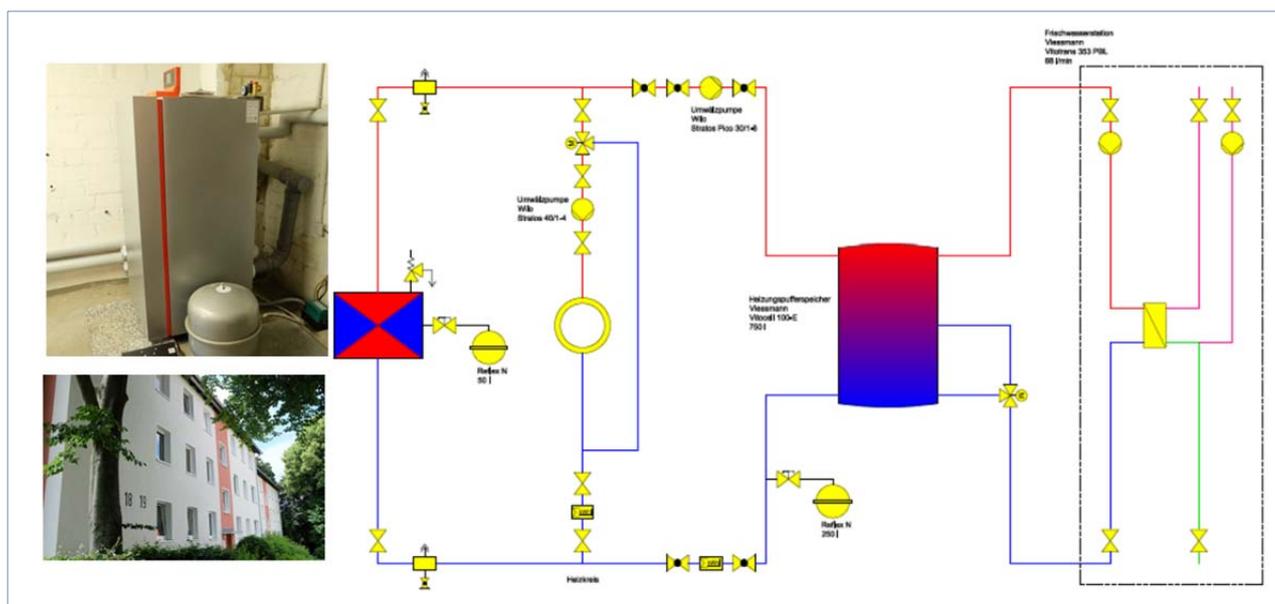


Abbildung 49 Wohnkomplex BS-B18-19 mit gebäudezentralem Gas-Brennwertkessel

Ausgewertete Messstellen:

- Monatswerte Erdgasverbrauch
- Wärmemengenzähler: WMZ TWW, WMZ Gesamt, Zeitintervall: monatlich
- Messperiode 22.12.2015 bis 22.08.2016 und Messjahr 2018

Ergebnisse Effizienzbewertung:

Ein halbes Jahr nach Installation der neuen Heizungsanlage wurde eine Erzeuger-EAV erstellt siehe Abbildung 50. Das Ergebnis ist unbefriedigend:

- Der Brennwert-bezogene Jahresnutzungsgrad wird auf nur 80 % prognostiziert.
- Die Bereitschaftsverluste des Erzeugers sind mit 2,2 % unplausibel hoch.

Bei einem Ortstermin mit Installationsbetrieb, Hersteller und Ostfalia wurde am Pufferspeicher ein falsch gesetzter Temperaturfühler entdeckt. Nach Korrektur der Messeinstellung ergibt die Erzeuger-EAV folgende Ergebnisse siehe Abbildung 51:

- Der Brennwert-bezogene Jahresnutzungsgrad liegt mit 87 % auf einem plausiblen Niveau.
- Der Trinkwasser-Sockelkennwert ist mit sehr 55 kWh/(m²a) hoch, aus den Messwerten des Warmwasser-Zählers lässt sich der gezapfte Nutzen auf 20 kWh/(m²a) und der Verteilungsaufwand auf 35 kWh/(m²a) abschätzen. Bedingt durch den hohen Verteilungsaufwand finden kontinuierliche Ladevorgänge des Speichers statt. Die Rücklauftemperaturen zum Erzeuger sind durch die zentrale Trinkwarmwasserbereitung häufig hoch und beeinflussen den Brennwert-Nutzen negativ.
- Die Bereitschaftsverluste des Erzeugers werden mit 0,9 % als plausibel eingestuft.

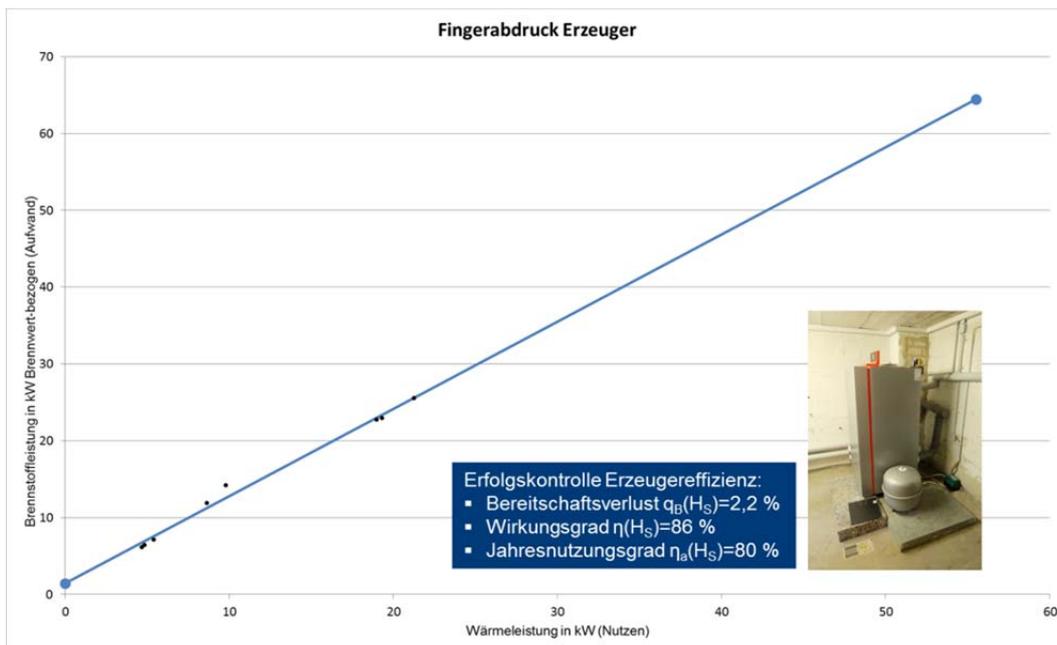


Abbildung 50 Erfolgskontrolle Erzeugereffizienz (Dez. 2015 bis Aug. 2016), Objekt BS-B18-19

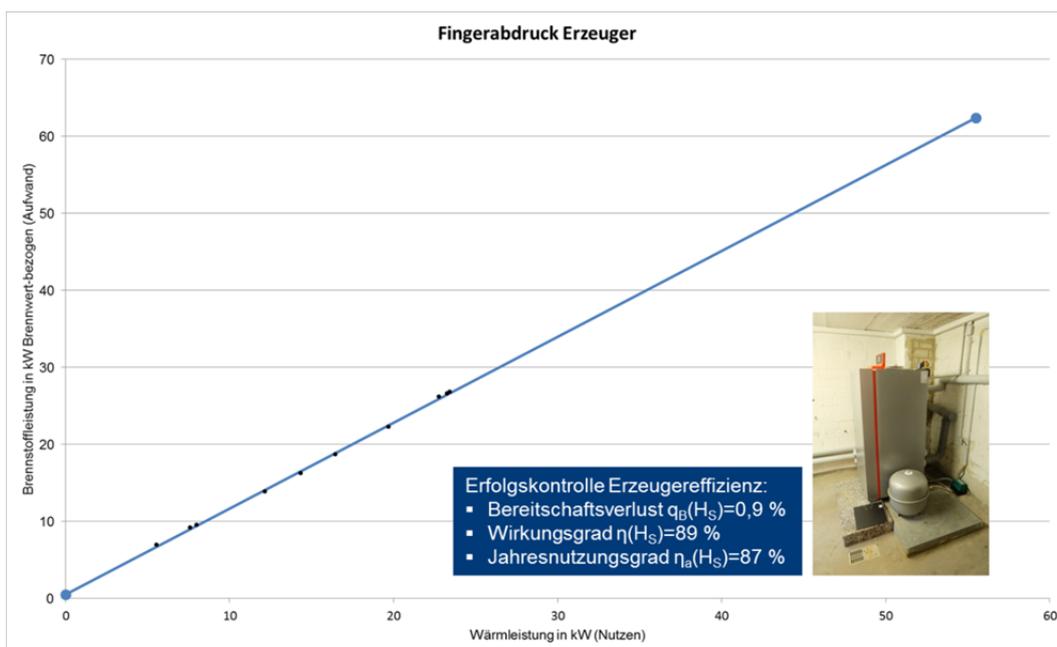


Abbildung 51 Erfolgskontrolle Erzeugereffizienz nach Optimierung (Messperiode 2017), Objekt BS-B18-19

Geschätzter Zeit- und Kostenaufwand der Auswertung:

- Zeit: monatliche Vor-Ort-Erfassung der WMZ- und Gaszähler-Werte durch Handwerksbetrieb, Hinweis: Eine Prozessvereinfachung wäre durch jährliche Auslesung der gespeicherten Monatswerte über eine Infrarot-Schnittstelle möglich. Eingabe und Auswertung mit EAV-Tool (Gebäude- und Erzeuger-EAV): Aufwand inkl. Erfassung technischer Details zur Gebäudehülle und Gebäudetechnik: 1 Stunde/Gebäude, Aktualisierung von Messwerten und erneute Auswertung: 15 min
- Messstellen: Nutzung ausschließlich ohnehin erforderlicher Zähler

Nutzen der Auswertung:

- Eine aussagekräftige Erzeuger-EAV lässt sich bereits mit wenigen Messwerten konstruieren und empfiehlt sich als Erfolgskontrolle ca. 3 Monate nach Umsetzung der Heizungserneuerung. Im vorliegenden Fallbeispiel beträgt die jährliche Brennstoffeinsparung rund 15 kWh_{HS}/(m²a). Ohne Erfolgskontrolle wäre der Fehler vermutlich während der gesamten Nutzungsdauer des Gas-Brennwertkessels unentdeckt geblieben.

7.2 KWK-Anlage

Anlagenbeschreibung: Die KWK-Anlage versorgt einen Wohnkomplex mit 88 Wohnungen und 5.970 m² beheizter Wohnfläche, der im Jahr 1993 errichtet wurde. Die Energiezentrale befindet sich im Keller der Wohnanlage und ist mit folgenden Erzeugern ausgestattet:

- ein BHKW-Modul ASV21, thermische Leistung 46 kW, elektrische Leistung 21 kW
- zwei Gas-Brennwertkessel Viessmann Vitocrossal 200, CM2B (2017) Nennleistung 56-170 kW

Das BHKW-Modul ist indirekt über einen Pufferspeicher eingebunden und lädt diesen auf, solange Strom benötigt wird und der Speicher freie Kapazitäten hat. Reicht die Vorlauftemperatur nicht aus, wird die Nacherwärmung durch die nachgeschalteten Gas-Brennwertkessel erbracht. Nachteil der Reihenschaltung von BHKW und Kesselerzeuger ist, dass durch die dauerhafte Anhebung der Rücklauftemperatur kein effizienter Kesselbetrieb möglich ist, weil die Brennwertnutzung eingeschränkt ist.

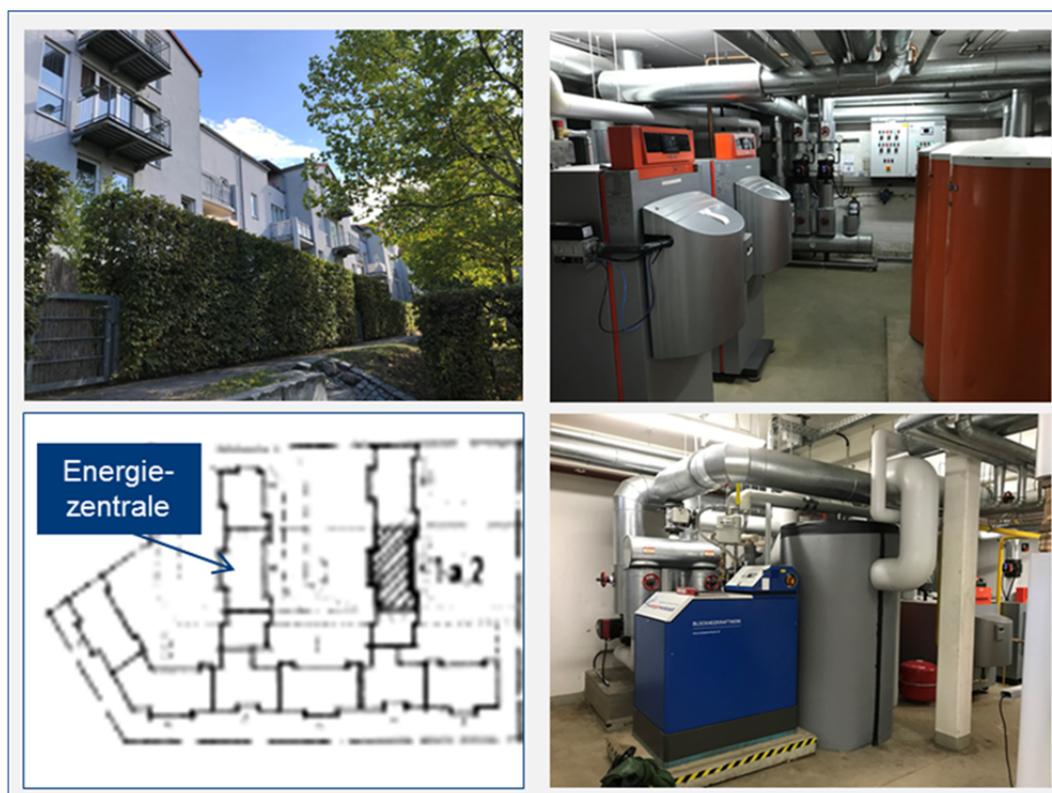


Abbildung 52 Wohnkomplex H-AK-5 mit KWK-Versorgung

Ausgewertete Messstellen:

- Jahreswerte Erdgasverbrauch 2017 und 2018
- Wärmemengenzähler: WMZ BHKW (Monatswerte 2018, Jahreswert 2017), WMZ Heizkessel (Monatswerte 2018, Jahreswert 2017), WMZ TWW (Monatswerte März 18 bis Januar 2019)

Ergebnisse Effizienzbewertung:

In Abbildung 53 ist die Effizienzbewertung der KWK-Anlage für das Jahr 2017 und 2018 dargestellt. Das Jahr 2017 ist nicht aussagekräftig, da kein durchgehender BHKW-Betrieb stattfand.

- Der BHKW-Betrieb erreicht 2018 mit rund 7.000 Vollbenutzungsstunden einen sehr hohen Wert. Der Deckungsanteil des BHKWs an der gesamten Wärmeerzeugung beträgt 42 %. In den Monaten Juni bis August erfolgt die Wärmeerzeugung zu 95 bis 97 % durch das BHKW-Modul.
- Im Systemvergleich mit einem Gas-Brennwertkessel mit Jahresnutzungsgrad(H_s) von 87 % und externem Strombezug schneidet die KWK-Anlage bei einem Strom-Wärme-Bewertungsfaktor von 5 um 48 % günstiger ab. Ein Bewertungsfaktor von 5 entspricht in etwa dem derzeitigen Preis-Verhältnis von Strom und Wärme sowie der exergetischen Bewertung: Strom=100% Exergie und Wärme=20 %.
- Der Sockelverbrauch des Gebäudes für Trinkwarmwasser liegt bei hohen 47 kWh/(m²a) und ist auf ein vergleichsweise aufwändiges Verteilnetz zurückzuführen. In dem Gebäude mit Baujahr 1993 sind in nächsten Jahren keine relevanten Grundlast-reduzierenden Einsparmaßnahmen zu erwarten, so dass die erzeugerseitige Effizienzverbesserung mittels KWK-Anlage als sinnvolle Systemwahl einzustufen ist.
- Nach Herstellerangabe wird als bevorzugte Variante zur hydraulischen Einbindung des BHKWs ein Parallelbetrieb zum Heizkessel empfohlen. Ein Pufferspeicher nimmt Wärme bei geringerer

Nachfrage ab und fungiert gleichzeitig als hydraulische Weiche. Solange der Wärmebedarf durch BHKW plus Pufferspeicher gedeckt werden kann, bleibt die Kesselanlage verriegelt [20]. Das Abweichen von der Herstellerempfehlung ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Anlage ursprünglich als reine Kesselanlage installiert wurde und das BHKW-Modul nachträglich ergänzt wurde.

Effizienzbewertung KWK-Anlage

Auswertedatum	09.12.2019	
Beschreibung Messstellen	WMZ-Wärmelieferung, Jahresverbrauch Gaszähler, Jahreserzeugung Strom	
Eigentümer	Hanova	
Standort Heizzentrale	H-AK5	
versorgte Gebäude/Quadrat	AK1-7, WT78-86, 12	
Beschreibung KWK-Anlage	1 BHKW energiewerkstatt ASV 21 (elektr. Leistung 5-21 kW, thermische Leistung 19-40 kW) + 2 x BWK: Viessmann Vitocrossal 200, CM2B (2017) Nennleistung 56-170 kW	
Beschreibung Gebäude	Baujahr 1993, MFH-Komplex 88 VE, 5.870 m²	

Schätzwert Gesamtnutzungsgrad KWK-Anlage

Erzeuger	Jahresnutzungsgrad (Hs)	Deckungsanteil
BWK	80%	0.58
BHKW (elektr. + thermisch)	85%	0.42
Schätzwert KWK-Anlage	82%	

Ist-Wert Gesamtnutzungsgrad KWK-Anlage

Messzeitraum	2018	2017
Brennstoffbezug	103.578,00 m³	95.284,00 m³
Brennwert im Messzeitraum	10.127 kWh/m³	10.059 kWh/m³
Brennstoffverbrauch	1.048.934,41 kWh	958.461,76 kWh
Stromerzeugung	146.267,20 kWh	91.163,30 kWh
Wärmeerzeugung	716.923,00 kWh	609.658,00 kWh
Ist-Wert KWK-Anlage	82%	73%

Soil-Wert Vollbenutzungsstunden BHKW

5.000	5.000
--------------	--------------

Ist-Wert Vollbenutzungsstunden BHKW

elektrische Leistung	21 kW	21 kW
Ist-Wert Vollbenutzungsstunden	6.965	4.341

bewerteter Gütegrad (Vergleichssystem: Gas-Brennwertkessel, externer Strombezug)

	2018	2017
Jahresnutzungsgrad Kessel	0,87	0,87
Preis Brennstoff	0,05 €/kWh	0,05 €/kWh
Preis Strombezug	0,25 €/kWh	0,25 €/kWh
bewerteter Aufwand KWK-Anlage	52.447 €	47.923 €
bew. Aufwand externer Strombezug	36.567 €	22.791 €
bew. Aufwand Kessel	41.202 €	35.038 €
bewerteter Gütegrad	148%	121%

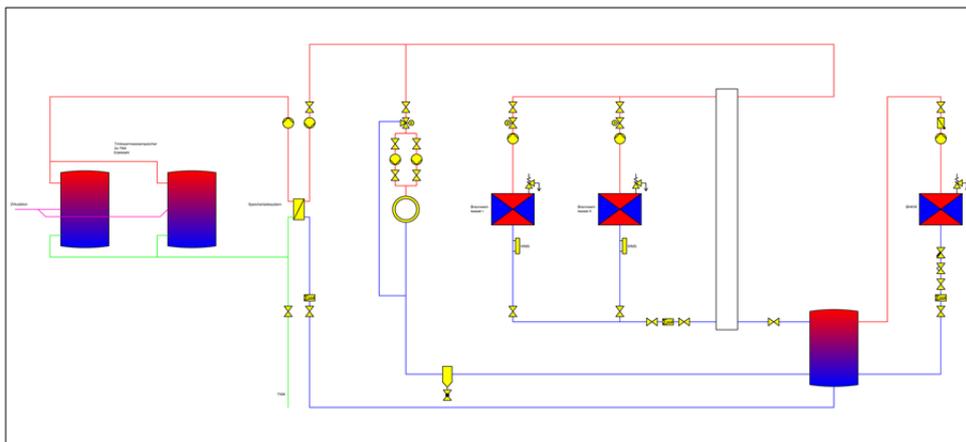


Abbildung 53 Effizienzbewertung KWK-Anlage H-AK-5, Hannover

Geschätzter Zeit- und Kostenaufwand der Auswertung:

- Zeit: Es werden Jahresdaten genutzt, die ohnehin für die Betriebskostenabrechnung der Mieter benötigt werden. Der Zeitaufwand für die Auswertung von Jahreswerten beträgt 15 min bei Nutzung der Excel-Vorlage nach Abbildung 53.
- Messstellen: Nutzung ausschließlich ohnehin erforderlicher Zähler

Nutzen der Auswertung:

- Minimalmonitoring einer KWK-Anlage zur Kontrolle von Effizienz sowie der Brennstoffkosten und Stromerlöse

7.3 Wärmepumpenanlage

Anlagenbeschreibung: Analysiert werden zwei Wärmepumpenkompaktgeräte, die jeweils ein Einfamilienhaus im Passivhausstandard mit Trinkwarmwasser, Heizwärme und vorgewärmter Frischluft versorgen. Die Wärmepumpe nutzt als Quelle die Außenluft unter Zumischung der Fortluft aus der Wärmerückgewinnung. Als Zusatzheizung dient ein elektrischer Heizstab, der bei Unterschreitung des Bivalenzpunktes aktiviert wird. Nach [21] lagen die vorgefundenen Einstellwerte in der Passivhaus-Siedlung zero:e in Hannover zwischen -4 °C und -19 °C . Bei hohem Trinkwarmwasserbedarf unterstützt der Heizstab die Warmwasserbereitung. Die Kompaktgeräte besitzen zudem eine Umschaltung vom Winter- in den Sommerbetrieb, bei welchem die Heizung vollständig ausgeschaltet wird [6]. Im Haus „Wett-3“ ist eine $4,78\text{ m}^2$ große Solarwärmanlage eingebunden: Die solaren Erträge werden im Vorrang vor der Wärmepumpe genutzt. Haus „Wett-2“ verfügt über eine PV-Anlage mit $3,28\text{ kWp}$ Leistung. Für das Wärmepumpenaggregat kann ein thermisches Energiemanagement aktiviert werden, um den Eigenverbrauch der Anlage zu erhöhen. Als Heizverteilsystem wird in beiden Objekten eine Fußbodenheizung genutzt. Die maximale Vorlauftemperatur bei Norm-Auslegungstemperatur liegt bei 40 °C .

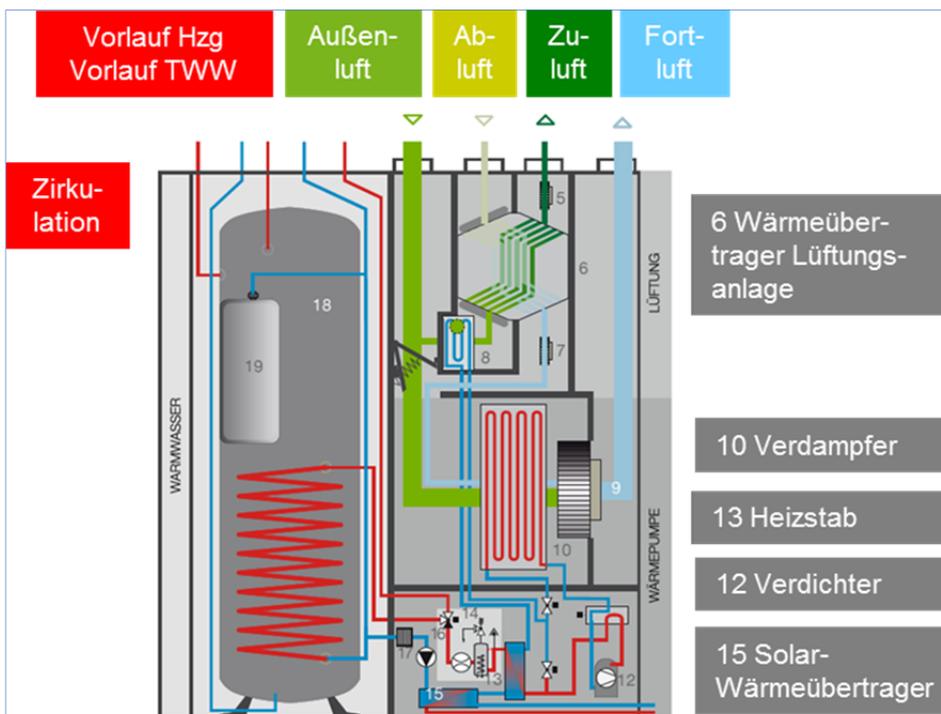


Abbildung 54 Wärmepumpenkompaktgerät Tecalor, Typ THZ [22]

Ausgewertete Messstellen:

- Wärmemengenzähler: WMZ Hzg und TWW, gefördert durch den enercity-Fonds proKlima, monatliche Auslesung für das Jahr 2016
- Stromzähler Wärmepumpe und separater Stromzähler für den Heizstab, Auswertung von Monatswerten im Jahr 2016

Ergebnisse Effizienzbewertung:

In Abbildung 55 und Abbildung 56 sind die Effizienzbewertungen der Wärmepumpenanlagen von Haus 2 und Haus 3 für das Jahr 2016 dargestellt:

- Haus „Wett-2“: Die sehr geringe Wärmenachfrage von 24 kWh/(m²a) wird durch das Wärmepumpenkompaktgerät mit einer Jahresarbeitszahl von 2,9 abgedeckt. Geringe 34 kWh Strom werden für den Heizstab eingesetzt. Die Anlagenkennwerte liegen im plausiblen Bereich.
- Haus „Wett-3“: Die für eine Passivhaus ungewöhnlich hohe Wärmenachfrage von 49 kWh/(m²a) wird durch das Wärmepumpenkompaktgerät inkl. Solarwärmanlage mit einer Jahresarbeitszahl von 3,9 abgedeckt. Es wird kein Strom für den Heizstab verbraucht. Der Einfluss der Solarwärmanlage ist an der erhöhten Arbeitszahl der Anlage in den Monaten Juni bis September erkennbar. Bei Abzug des prognostizierten Solaretrags von rund 1.500 kWh Wärme pro Jahr ergäbe sich eine Jahresarbeitszahl von 3,1. Aufgrund der höheren Heizgrenze ist im Haus Wett-3 eine höhere Innentemperatur und damit eine höhere Fortlufttemperatur zu erwarten, so dass die Jahresarbeitszahl durch die höhere Quellentemperatur günstig beeinflusst wird. Die Anlagenkennwerte liegen im plausiblen Bereich. Ungewöhnlich hoch ist der h-Wert des Gebäudes: Mögliche Ursachen sind überdurchschnittliche Lüftungswärmeverluste z. B. durch Fensterlüftung oder ein Sommerbypass-Betrieb der Lüftungsanlage in der Heizperiode.

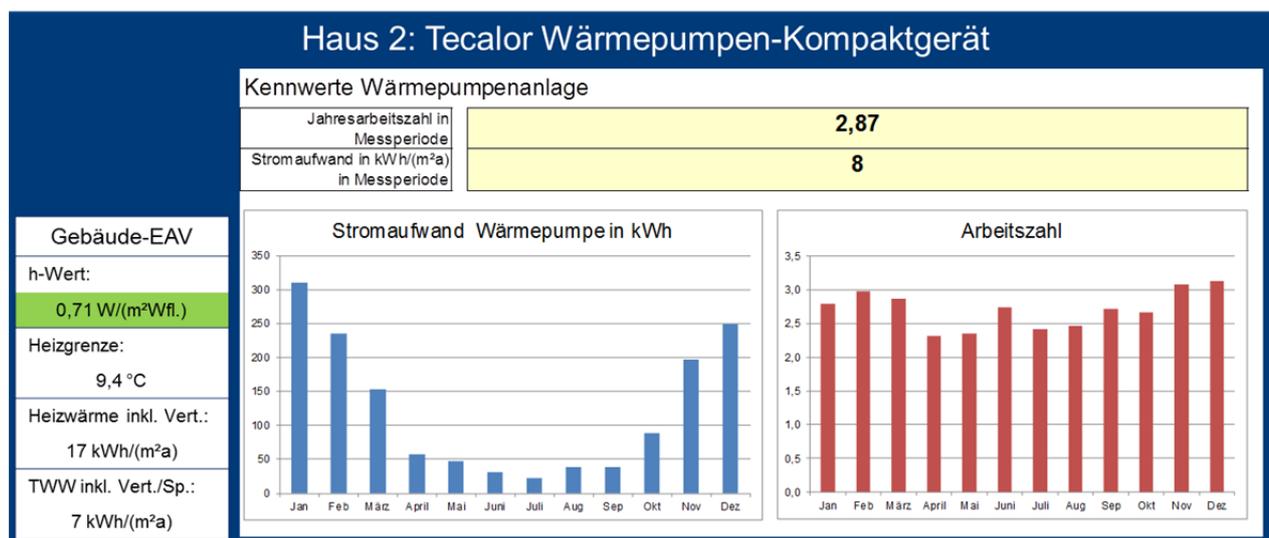


Abbildung 55 Kennwerte Wärmepumpenanlage Haus 2

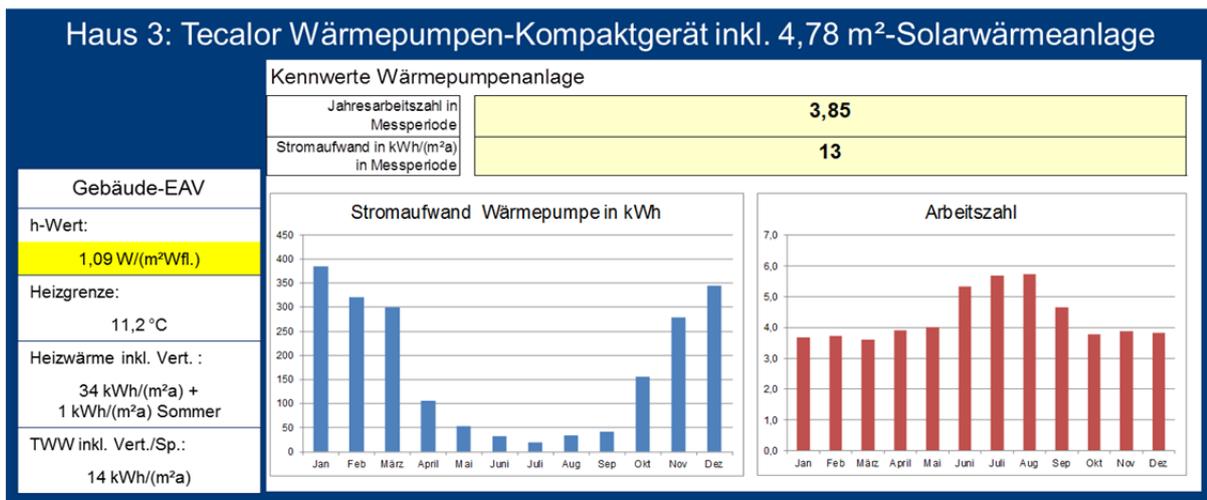


Abbildung 56 Kennwerte Wärmepumpenanlage inkl. Haus 3

Geschätzter Zeit- und Kostenaufwand der Auswertung:

- Zeit: monatliche Vor-Ort-Erfassung der WMZ- und Stromzähler-Werte durch Bewohner, Eingabe und Auswertung mit EAV-Tool (Gebäude- und Erzeuger-EAV): Aufwand inkl. Erfassung technischer Details zur Gebäudehülle und Gebäudetechnik: 1 Stunde/Gebäude, Aktualisierung von Messwerten und erneute Auswertung: 15 min
- Messstellen: Nachrüstung von Wärmemengenzählern für Heizung und Trinkwarmwasserbereitung (auf Wasser kalibrierte Kompaktwärmemengenzähler, Genauigkeitsklasse 2, für horizontalen und vertikalen Einbau geeignet, Speicherung von Stichtagswerten, die im Display abrufbar sind) und Stromzähler (Genauigkeitsklasse B nach MID, 3-phasige Drehstromzähler für Heizstäbe, 1-phasige Wechselstromzähler für Pumpenstrom, Steuerung u.ä.) gemäß Leitfaden Verbrauchsdatenauswertung proKlima [23]. Kosten für den nachträglichen Einbau ca. 1.000 € netto je Anlage

Nutzen der Auswertung:

- Ziel: Erfolgskontrolle von Fördermaßnahmen des proKlima-Fonds
- Erfahrungen zum effizienten Anlagenbetrieb und zur Nutzerberatung sammeln

8 EAV-Anwendung in der Wohnungswirtschaft

Zur Bewertung der Wärme- und Stromnachfrage von Gebäuden und Quartieren sowie von deren Energiesorgung stehen Verbrauchsdaten auf Basis ohnehin vorhandener Zähler zur Verfügung. Die verfügbaren Daten werden derzeit kaum genutzt. Kapitel 8 stellt Werkzeuge und Vorgehensweisen vor, wie Verbrauchsdaten für die Bestandsanalyse, die Entwicklung von Energiekonzepten und das Monitoring von Liegenschaften eingesetzt werden können.

8.1 Bestandsanalyse

8.1.1 Heizwärme

Zur Auswertung der unterjährigen Messwerte von Gesamt-Wärmemengenzähler oder Heizstrang können folgende Hilfsmittel genutzt werden:

Hilfsmittel		
Bezeichnung	Bemerkung	Link
DBU-TOOL-EAV	<ul style="list-style-type: none"> Beschreibung Excel-Werkzeug siehe Kapitel 5.1 (Wetterdaten Hannover bis 30.06.2019 integriert) 	https://www.ostfalia.de/cms/de/v/forschung/forschungsprojekte/index.html
Softwarepaket Energieberatung	<ul style="list-style-type: none"> Datei <u>1.1 Witterungskorrektur & EAV.xlsx</u> (Stand Mai 2019) 	http://www.delta-g.de/cms/de/archiv_veroeffentlichungen/energiebilanz_beratung.html

Abbildung 57 Excel-Tools EAV

Als Vergleichsmaßstab für Bestandsanalysen von Gebäuden dienen Auswertungen von Geschosswohnungsbauten mit vergleichbarem Baualter, Modernisierungsgrad sowie ähnlicher Kompaktheit. Die Ergebnisse der Gebäudetypologie nach Kapitel 6 sind bereinigt um Ausreißer in der folgenden Tabelle dargestellt:

Benchmark EAV-Werte im Geschosswohnungsbau - MFH -Bestand				
	h-Wert	Heizgrenze	q _H	Heizlast
Baualterklasse	W/(m ² K)	°C	kWh/(m ² a)	W/m ²
1949 bis 1957	2,0 bis 2,7	15 bis 17	130 bis 155	60 bis 85
1958 bis 1968	1,6 bis 2,2	15 bis 17	90 bis 145	50 bis 70
1984 bis 1994	1,1 bis 1,5	15 bis 17	70 bis 95	35 bis 45
2002 bis 2009	1,0 bis 1,1	15 bis 17	55 bis 60	25 bis 30
2010 bis GEG	0,6 bis unter 1	15 bis 17	30 bis 50	20 bis 25
Benchmark EAV-Werte im Geschosswohnungsbau - Hochhaus -Bestand				
	h-Wert	Heizgrenze	q _H	Heizlast
Baualterklasse	W/(m ² K)	°C	kWh/(m ² a)	W/m ²
1958 bis 1968	1,2 bis 1,5	16 bis 18	80 bis 105	35 bis 45
Benchmark EAV-Werte im Geschosswohnungsbau - MFH -Komplettmodernisierung				
	h-Wert	Heizgrenze	q _H	Heizlast
Baualterklasse	W/(m ² K)	°C	kWh/(m ² a)	W/m ²
1949 bis 1957	1,1 bis 1,4	15 bis 17	65 bis 110	35 bis 45
1958 bis 1968	0,7 bis 1,4	15 bis 17	55 bis 110	50 bis 70

Abbildung 58 Erfahrungswerte EAV-Gebäudetypologie

Alternativ kann der durch Messdatenauswertung ermittelte h-Wert mit einem Prognose-Wert aus der EnEV-Bilanz verglichen werden:

$$h = \frac{H'_T \cdot A_{Hüll} + n \cdot V_L \cdot 0,34}{A_{EBF}} \quad \left[\frac{W}{m^2 Wfl. \cdot K} \right]$$

mit

h	gesamter Wärmeverlustkoeffizient bezogen auf die beheizte Wohnfläche in W/(m ² Wfl*K)
H' _T	spezifischer Transmissionswärmeverlust in W/(m ² (Hüllfläche)*K)
A _{Hüll}	Äußere Hüllfläche des beheizten Bereichs in m ²
n	Luftwechselrate in h ⁻¹
V _L	Belüftetes Nettovolumen der beheizten Hülle in m ³
0,34	Wärmekapazität Luft in Wh/(m ³ K)
A _{EBF}	Energiebezugsfläche, entspricht der beheizten Wohnfläche im Geschosswohnungsbau

Abbildung 59 h-Wert Prognose aus Energiebilanz nach EnEV

Abbildung 60 zeigt, welche Kennwerte eines KfW-Effizienzhaus-Nachweis zur Ermittlung des Prognose h-Wertes genutzt werden: Aus dem Nettovolumen, der thermischen Gebäudehülle und dem spezifischen Transmissionswärmeverlust sowie der Annahme eines üblichen Luftwechsels lässt sich mit Bezug auf die beheizte Wohnfläche ein Prognose h-Wert von 0,98 W/(m²K) ableiten. Der gemessene h-Wert für das Beispiel aus Hildesheim-Drispstedt liegt bei 0,9 W/(m²K) und damit unter dem Prognose-Wert.

Nachweis KfW-Effizienzhaus 70			
Objekt: Hi-E34			
			Ist-Wert
Bruttovolumen V _e	2.101,6 m ³	spez. Transmissionswärmeverlust [W/(m ² K)]	0,378
Nettovolumen V	1.681,2 m ³	H' _T (Referenzgebäude) [W/(m ² K)]	
Nutzfläche A _N	672,5 m ²	spez. Heizwärmebedarf [kWh/m ² a]	37,3
A/V _e -Verhältnis	0,46 m ⁻¹	Anlagenaufwandszahl [-]	0,75
Thermische Hüllfläche	973,3 m ²	spez. Primärenergiebedarf [kWh/m ² a]	37,47

Bei einer beheizten Wohnfläche von 553 m² und Annahme eines 0,3 fachen Luftwechsels gibt sich:
Prognose h-Wert: $0,378 \cdot 973 / 553 + 0,3 \cdot 1681 \cdot 0,34 / 553 = 0,67 + 0,31 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) = 0,98 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Abbildung 60 Ermittlung h-Wert aus Effizienzhaus-Nachweise Objekt Hi-E34

8.1.2 Trinkwarmwasser

Zur Auswertung der unterjährigen Messwerte des TWW-Wärmemengenzähler oder der Sommerverbräuche des Gesamt-Wärmemengenzähler werden folgende Hilfsmittel eingesetzt:

Hilfsmittel		
Bezeichnung	Bemerkung	Link
DBU-TOOL-EAV	<ul style="list-style-type: none"> Beschreibung Excel-Werkzeug siehe Kapitel 5.1 (Wetterdaten Hannover bis 30.06.2019 integriert) 	https://www.ostfalia.de/cms/de/v/forschung/forschungsprojekte/index.html
Softwarepaket Energieberatung	<ul style="list-style-type: none"> Datei <u>1.1 Witterungskorrektur & EAV.xlsx</u> (Stand Mai 2019) 	http://www.delta-q.de/cms/de/archiv_veroeffentlichungen/energiebilanz_beratung.html
DBU-TOOL-Quartier	<ul style="list-style-type: none"> Blatt „Verteilaufwand und TWW-Nutzen: Aus den Jahreswerten der Warmwasserzähler in den Wohnungen lässt sich die gezapfte Wärmemenge abschätzen. Aus der Differenz des TWW-WMZ in der Heizzentrale und der gezapften Wärmemenge ergibt sich der Verteilufwand der TWW-Bereitung. 	https://www.ostfalia.de/cms/de/v/forschung/forschungsprojekte/index.html

Abbildung 61 Excel-Tools EAV

Im Bestand dominieren bei zentraler Trinkwarmwasserbereitung sogenannte 4-Leiter-Systeme: Jeweils zwei Leitungspaare für Heizung (Heizungsvor- und Rücklauf) und Trinkwarmwasserbereitung (Trinkwarmwasser und Zirkulation) geben Wärme an Keller, Schächte und Wohnungen ab. Der nach § 9 erforderliche Wärmemengenzähler für die Trinkwarmwasserbereitung in der Heizzentrale erfasst neben dem gezapften Trinkwarmwassernutzen auch den Verteilufwand der Zirkulation und Trinkwarmwasserleitung. In den im Rahmen des DBU-Projektes ausgewerteten Liegenschaften wurde eine Bandbreite von 25 bis 60 kWh/(m²a) für den Trinkwarmwasser-Sockel gemessen.

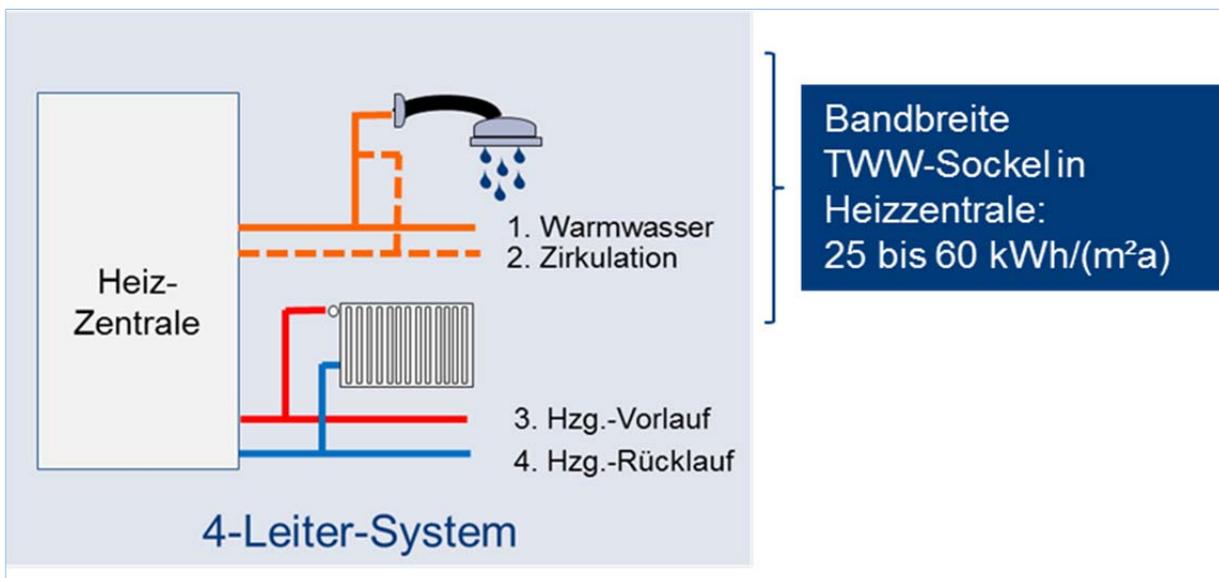


Abbildung 62 Prinzipschema 4-Leiter-System

Über die Auswertung des Trinkwarmwasserverbrauchs in den Wohnungen kann der gezapfte Trinkwarmwassernutzen abgeschätzt werden. Die üblichen Zapfmengen in den Liegenschaften der Projektpartner liegen bei 10 bis 15 kWh/(m²a):

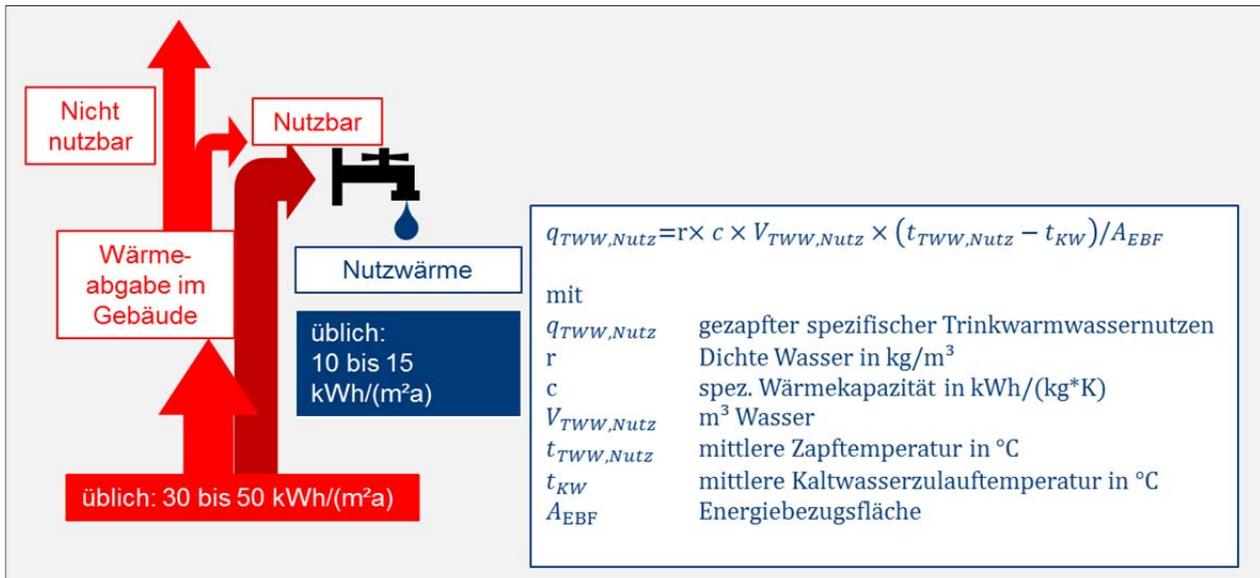


Abbildung 63 Trinkwarmwassernutzen und Verteilungsaufwand

8.1.3 Erzeugung

Zur Auswertung der Erzeugereffizienz können folgende Hilfsmittel genutzt werden:

Hilfsmittel		
Bezeichnung	Bemerkung	Link
DBU-TOOL-EAV	<ul style="list-style-type: none"> Beschreibung Excel-Werkzeug siehe Kapitel 5.2 Ergebnis-Darstellung von Gas-Kesseln und KWK-Anlagen im Blatt „EAV-Gas-Erz“ Ergebnis-Darstellung von Wärmepumpenanlagen im Blatt „EAV-WP“ 	https://www.ostfalia.de/cms/de/v/forschung/forschungsprojekte/index.html
Softwarepaket Energieberatung	<ul style="list-style-type: none"> Datei 1.1 Witterungskorrektur & EAV.xlsx (Stand Mai 2019) 	http://www.delta-g.de/cms/de/archiv_veroeffentlichungen/energiebilanz_beratung.html
DBU-TOOL-BHKW	<ul style="list-style-type: none"> Excel-Datei zur Ergebnisdarstellung von KWK-Anlagen bei Vorliegen von Jahreswerten für den Brennstoffverbrauch und die Stromerzeugung und Wärmeabgabe 	https://www.ostfalia.de/cms/de/v/forschung/forschungsprojekte/index.html

Abbildung 64 Excel-Tools EAV Erzeuger

Aus den im Rahmen des DBU-Projektes durchgeführten Verbrauchsanalysen sowie den Ergebnissen des Wärmepumpen-Monitor vom Fraunhofer ISE [3] sowie Auswertungen des Bundesverbands Wärmepumpe e.V. ergeben sich folgende Erfahrungswerte für Gaskessel, KWK-Anlagen sowie Wärmepumpenanlagen:

Gaskessel		
Erzeuger-Art	Kenngroße	Erfahrungswert
Gas-Niedertemperaturkessel	Brennwert-bezogener Jahresnutzungsgrad	70 bis 75 %
Gas-Brennwertkessel (vor 2005)	Brennwert-bezogener Jahresnutzungsgrad	80 bis 85 %
Gas-Brennwertkessel (ab 2005)	Brennwert-bezogener Jahresnutzungsgrad	83 bis 87 %
KWK-Anlage		
Erzeuger-Art	Kenngroße	Erfahrungswert
KWK-Anlage mit einem oder mehreren BHKW-Modulen sowie einem oder mehreren Gas-Spitzenlastkesseln	Brennwert-bezogener Jahresnutzungsgrad Vollbenutzungsstunden BHKW	80 bis 86 % 5.000 bis 8.000 VBH
Elektr. Wärmepumpe		
Erzeuger-Art	Kenngroße	Erfahrungswert nach [3] und [24]
Luft-Wärmepumpe	Jahresarbeitszahl – Bilanzgrenze (SPF-2)	2,6 bis 3,5 (Ø 2,9)
Sole-Wärmepumpe	Jahresarbeitszahl – Bilanzgrenze (SPF-2)	3,3 bis 3,9 (Ø 3,7)
<p>Als Prognosewert ist die nach VDI 4650 Blatt 1 bestimmte Jahresarbeitszahl geeignet. Der Bundesverband Wärmepumpe e. V. bietet einen praxistauglichen Jahresarbeitszahl Rechner an: https://www.waermepumpe.de/normen-technik/jazrechner/</p> <p>Das VDI-Verfahren eignet sich nicht für Abluft-Wärmepumpen. Für Luft-Wärmepumpen, die mit einer Beimischung von Abluft betrieben werden, kann auf ein Rechenblatt im Passivhaus-Projektierungspaket [7] zurückgegriffen werden:</p>		

Abbildung 65 Erfahrungswerte Erzeugereffizienz

8.1.4 Quartier

Zur Zusammenfassung der Einzelanalysen von Gebäuden und Erzeugern sowie für quartiersbezogene Betrachtungen kann die Excel-Datei DBU-TOOL-Quartier genutzt werden:

Hilfsmittel		
Bezeichnung	Bemerkung	Link
DBU-TOOL-Quartier	<p>Enthaltene Arbeitsblätter:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ „Quartier“: Beschreibung von Gebäuden und Anlagentechnik ▪ „Erg-EAV-Geb“: Zusammenfassung Ergebnisse der Gebäude-EAV ▪ „Erg-EAV-Erz“: Zusammenfassung Ergebnisse Erzeuger-EAV ▪ „Verteilaufwand und TWW-Nutzen“ zur Abschätzung der gezapften Wärme in den Wohnungen und des Verteil- und Speicheraufwands ▪ Vergleich EAV-Gebäude-Heizlast und installierte Leistung ▪ Abschätzung Wärmenetzverluste 	https://www.ostfalia.de/cms/de/v/forschung/forschungsprojekte/index.html

Abbildung 66 Excel-Tool Quartier

8.2 Einsparprognose und Erfolgskontrolle

8.2.1 Heizwärme

Heizwärme-Einsparungen sind auf folgende Ursachen zurückzuführen:

- h-Wert Reduzierungen durch Dämmmaßnahmen an der Gebäudehülle oder Reduzierungen der Lüftungswärmeverluste durch Verbesserung der Luftdichtheit, Einbau von Lüftungstechnik mit Wärmerückgewinnung oder angepasstes Lüftungsverhalten
- Absinken der Heizgrenztemperatur: Die Auswertungen im Rahmen des DBU-Projektes haben ergeben, dass ein Absinken der Heizgrenztemperatur nach der Umsetzung von Energiesparmaßnahmen in der Regel nicht eintritt. Im Zuge der Prognose von Heizwärmeeinsparungen wird daher empfohlen, von einer unveränderten Heizgrenztemperatur auszugehen.
- Klimawandel-bedingter Effekt durch das Ansteigen der mittleren Außentemperatur: Nach [25] ist die Anzahl der Heiztage zwischen dem langjährigen Mittel von 1970 bis 2014 und dem Jahr 2014 um 4 % gesunken, die Gradtagszahl im gleichen Zeitraum um 6 %. Bei der Ermittlung des Heizwärme-Kennwertes nach Abbildung 5 könnte der Effekt zukünftig berücksichtigt werden, indem das langjährige Mittel von Außentemperatur und Dauer der Heizperiode regelmäßig aktualisiert wird. In den vorliegenden Auswertungen wurden einheitlich 15-Jahres-Mittelwerte von 2001 bis 2015 verwendet, um den Einfluss der Modernisierungsmaßnahmen in Abgrenzung zu Klimawandel-Effekten aufzuzeigen.
- Sommerheizung: Geht aus den Heizstrang-Auswertungen hervor, dass eine Wärmeabnahme außerhalb der Heizperiode stattfindet, ist zu prüfen, ob eine Sommerheizung durch Anpassungen der Betriebseinstellungen verhindert werden kann. Wenn die Regelung eine Grenztemperatur für ausschließlichen Trinkwarmwasserbetrieb enthält, kann diese beispielsweise auf 17 °C reduziert werden.

Wärmeeinsparungen aufgrund von Einzelmaßnahmen an der Gebäudehülle können nach Abbildung 67 abgeschätzt werden. Da die energetische Bewertung des Bestands-U-Wertes mit hoher Unsicherheit verbunden ist, kann eine Bandbreite für den Bestands-U-Wert angesetzt und ein Bereich einer möglichen Wärmeeinsparung ermittelt werden. Es empfiehlt sich, die Heizgrenztemperatur sowie die Außentemperatur und Dauer der Heizperiode im langjährigen Mittel aus der Bestandsanalyse zu übernehmen.

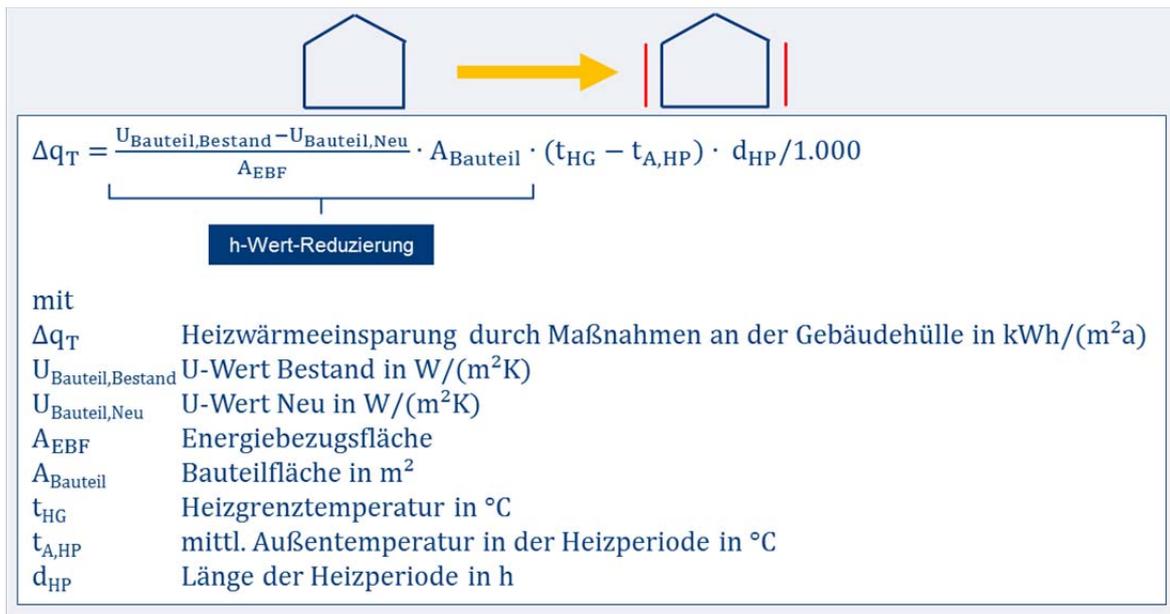


Abbildung 67 Wärmeeinsparung durch Einzelmaßnahmen an der Gebäudehülle

Wärmeeinsparprognosen aufgrund der Installation von Lüftungstechnik können nach Abbildung 68 abgeschätzt werden. Eine übliche h-Wert Reduzierung durch Einsatz einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung liegt bei 0,2 W/(m²Wfl.*K).

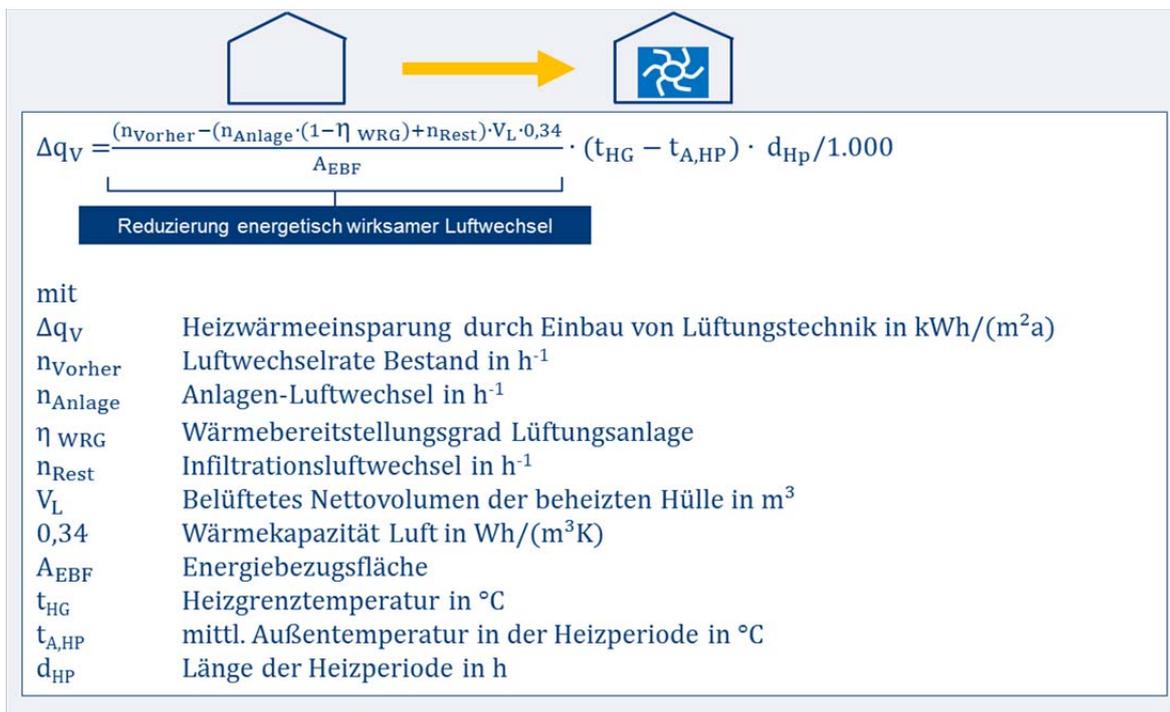


Abbildung 68 Wärmeeinsparung durch Lüftungstechnik

Bei umfangreichen Modernisierungsmaßnahmen ist die Wärmeeinsparung am sinnvollsten über eine aus der Energiebilanz abgeleitete h-Wert-Prognose abzuschätzen, vgl. Kapitel 8.1.1.

Zur Prognose von Heizwärmeeinsparungen und der Erfolgskontrolle nach Umsetzung kann die Excel-Datei DBU-TOOL-Einsparprognose genutzt werden:

Hilfsmittel		
Bezeichnung	Bemerkung	Link
DBU-TOOL-Einsparprognose	Relevante Arbeitsblätter: <ul style="list-style-type: none"> ▪ „U-Wert-Reduzierung“ zur Abschätzung der Wärmeeinsparung von energetischen Modernisierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle ▪ „h-Wert-Prognose Energiebilanz“ zur Prognose von Wärmeeinsparungen bei umfangreichen Modernisierungen 	https://www.ostfalia.de/cms/de/v/forschung/forschungsprojekte/index.html

Abbildung 69 Excel-Tool Einsparprognose

8.2.2 Trinkwarmwasser

Der Trinkwarmwassersockel lässt sich reduzieren, indem die Warmwasserabnahme bei den Nutzern verringert, der Verteilungsaufwand und die Speicherverluste reduziert oder die Wärme im häuslichen Abwasser als Wärmequelle für Wärmepumpen oder zur passiven Wärmerückgewinnung genutzt werden [14]. Im Geschosswohnungsbau ist der Verteilungsaufwand bei zentralen Trinkwarmwassersystemen die dominierende Einflussgröße. Im Bestand stellen Steigestrangerschließungen mit Zirkulation das häufigste System dar. Lediglich die Verteilung unter der Kellerdecke ist in der Regel zugänglich und im Hinblick auf den Status-Quo und erforderliche Optimierungen des Dämmstandards eindeutig zu bewerten. Steigestränge und Stichleitungen sind häufig unzugänglich und Bestandspläne existieren in der Regel nicht. Wärmeeinsparungen sind daher nur mit geringer Genauigkeit zu prognostizieren.

Der Verteilungsaufwand kann nach DIN V EN 18599-8 auf Basis der Gebäudegrundrisse rechnerisch ermittelt und mit den Messergebnissen aus der Bestandsanalyse nach Kapitel 8.1.2 verglichen werden. Auf diese Weise lässt sich zumindest eingrenzen, ob vornehmlich die Länge und Komplexität des Verteilnetzes oder der schlechte Dämmstandard unzugänglicher Verteilleitungen ursächlich für hohe Verluste sind.

Zur Prognose von Wärmeeinsparungen beim Trinkwarmwasser-Sockel und der Erfolgskontrolle nach Umsetzung kann die Excel-Datei DBU-TOOL-Einsparprognose genutzt werden:

Hilfsmittel		
Bezeichnung	Bemerkung	Link
DBU-TOOL-Einsparprognose	Relevantes Arbeitsblatt: <ul style="list-style-type: none"> ▪ „TWW-Reduzierung“ zur Abschätzung der Zapfmengen in den Wohnungen und der Wärmeabgabe von Rohrleitungen 	https://www.ostfalia.de/cms/de/v/forschung/forschungsprojekte/index.html

Abbildung 70 Excel-Tool Einsparprognose

8.2.3 Erzeugung

Im Geschosswohnungsbau dominieren derzeit folgende Wärmeversorgungssysteme:

- Fernwärmeversorgung mit zentraler oder dezentraler direktelektrischer Trinkwarmwasserbereitung
- Gebäudezentrale Gaskessel im Keller mit zentraler oder dezentraler direktelektrischer Trinkwarmwasserbereitung
- KWK-Anlage in Energiezentrale größerer Wohnanlagen mit zentraler Trinkwarmwasserbereitung
- Wohnungszentrale Gasetagenheizungen

In [26] werden Entscheidungsgrundlagen erläutert und Lösungsansätze zur zukünftigen Umstellung auf erneuerbare Versorgungsstrukturen aufgezeigt.

Im Falle einer einfachen Gaskessel-Erneuerung errechnet sich die Brennstoffeinsparung aus der Differenz der Anlagen-Aufwandszahlen im Bestand und nach der Modernisierung, multipliziert mit der Wärmeabgabe des Kessels siehe Abbildung 71. Die messtechnischen Erfahrungen zeigen folgende Einsparpotenziale:

- 10 bis 30 % der Wärmemenge bei Austausch von bestehenden Gas-Niedertemperaturkesseln gegen Gas-Brennwertkessel
- 0 bis 10 % der Wärmemenge bei Austausch bestehender ca. 15 Jahre alter Gas-Brennwertkessel gegen neue Gas-Brennwertkessel

Da zunehmend Brennwertkessel erneuert werden, sinken die künftigen Brennstoffeinsparungen bei Kesseltausch. Zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen werden Energieträgerwechsel an Bedeutung gewinnen.

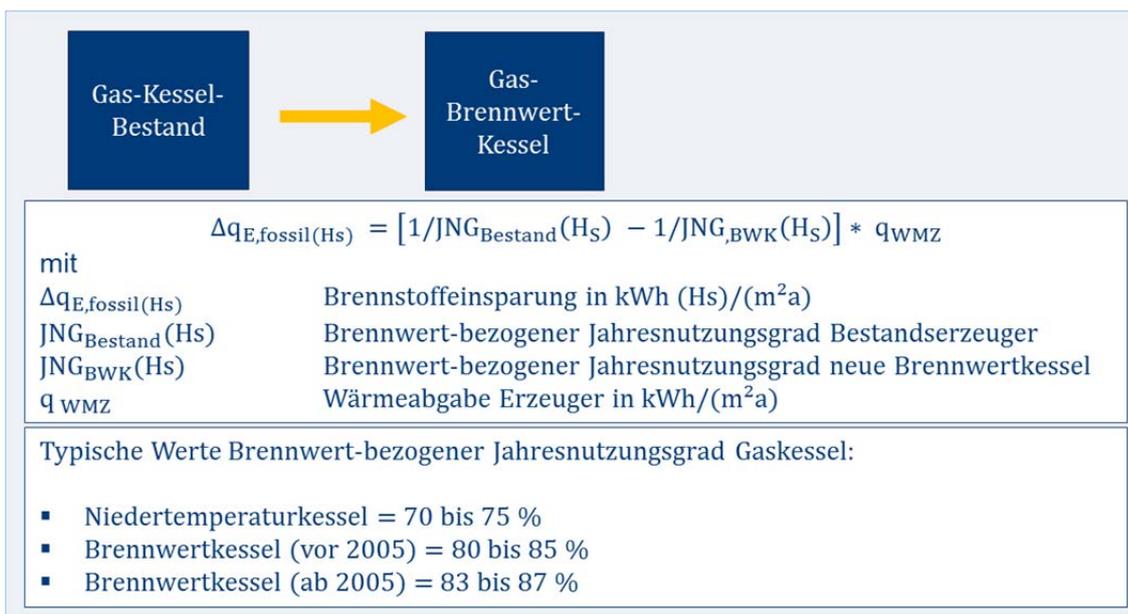


Abbildung 71 Einsparprognose Kesseltausch

8.2.4 Quartier

Für Gebäudebestände in Quartieren empfiehlt sich die Entwicklung eines Energiekonzeptes auf der Basis von EAV-Bestandsanalysen für das zukünftige System der Energiebereitstellung. Die Zielwert-Festlegung für die vorhandene Gebäudesubstanz erfolgt unter Berücksichtigung der Gebäudetypologie sowie von Instandsetzungszyklen bis zum Ende des Betrachtungszeitraumes. Die Zielerreichung zur Reduzierung der Wärmenachfrage sollte regelmäßig durch Bewertung von h-Wert, Heizwärme-Kennwert und TWW-Kennwert überprüft werden.

Auf Grundlage der Bestandssituation sowie der zukünftigen Wärmenachfrage im Quartier, der städtebaulichen Dichte, den bestehenden Systemen der Energiebereitstellung, den verfügbaren erneuerbaren Energieträgern sowie den nutzbaren bebauten Flächen zur lokalen Solarenergieerzeugung im Quartier erfolgt die Systemfestlegung für die Bereitstellung von Strom und Wärme. Zielzahlen für die lokale Solarenergieproduktion im Quartier sollten unter Berücksichtigung der Instandsetzungszyklen von Dach und ggf. Außenwänden festgelegt werden.

Energiekonzept 2030		Beispiel-Quartier "Sonnenfang"	
Wärmenachfrage 2030		Energiebereitstellung 2030	
Zielwerte		Wärme	Solarenergieerzeugung im Quartier
Zielwert Energiekennwert Heizwärme (WMZ Heizstrang):	45 – 50 kWh/(m²a)	Beibehaltung der bestehenden Wärmelieferung aus dem Wärmenetz mit zentraler Erzeugung mittels Holzhackschnittel-ORC-Anlage, Erdgas-BHKW und Spitzenlastkessel (Erdgas)	5 Mieterstrom-Projekte mit insgesamt 300 kWp installierter Leistung
Zielwert Gebäudeeffizienz:		Im Zeithorizont bis 2030 primärseitig Fokus auf Effizienzmaßnahmen:	
Zielwert Trinkwarmwassersockel (WMZ TWW Heizzentrale):		- Reduzierung der Wärmeverteilverluste (z.B. Dämmung, Senkung der Systemtemperaturen) - Erhöhung KWK-Anteil (bei gebäudeseitiger Reduzierung h-Wert)	
	h-Wert: max. 0,7 W/(m² Wfl. * K)		
	ca. 25 kWh/(m²a)		

Abbildung 72 Beispiel Energiekonzept Quartier mit überprüfbaren Kennwerten

8.3 Systemauslegung

Zur Systemauslegung von Heizsystemen liefert die Verbrauchsdatenauswertung die Gebäudeheizlast und Jahresdauerlinien.

Die Heizsteigung der EAV-Auswertung lässt sich zur Bestimmung der Gebäudeheizlast nach DIN EN DIN SPEC 12831-1 (2018-10) verwenden. In der Regel liegen die installierten Heizleistungen deutlich über den aus der Messung bestimmten Werten. Ein Beispiel aus Braunschweig für einen Fernwärmeanschluss zeigt, dass die eingestellte Anschlussleistung nach einer energetischen Modernisierung deutlich reduziert werden kann siehe Abbildung 73. Aus der EAV ergibt sich für eine große Wohnanlage mit rund 600 Wohnungen eine Heizsteigung von 54 kW/K und daraus resultierend eine Anschlussleistung von 1.679 kW ohne Berücksichtigung von Fremdwärme durch passiv-solare Gewinne oder interne Wärmequellen. Da das Trinkwarmwasser direktelektrisch erzeugt wird, ist keine weitere Erhöhung der Anschlussleistung erforderlich. Die eingestellte Anschlussleistung von 4.000 kW kann um 58 % reduziert werden.



Abbildung 73 Berechnung Gebäudeheizlast aus EAV-Heizsteigung

Die Jahresdauerlinie stellt die erforderliche Wärmeleistung einer Liegenschaft in Abhängigkeit von der jeweiligen Nutzungszeit dar. Die Grafik veranschaulicht, dass hohe Leistungswerte nur an wenigen Tagen im Jahr benötigt werden. Abbildung 74 zeigt die Auslegung einer KWK-Anlage mit Hilfe der Jahresdauerlinie, die im DBU-Tool-EAV in einem eigenen Arbeitsblatt ausgewiesen wird.

Als Grundlage dient ein Referenzjahr, das aus der Häufigkeit stündlicher Außentemperaturen im Zeitraum 2001 bis 2015 abgeleitet ist. Für den Standort Hannover enthält das Referenzjahr 10 h unter -10°C . Das Temperaturminimum liegt bei -12°C . Die zur jeweiligen Außentemperatur und deren Häufigkeit korrespondierende Wärmeleistung wird aus der Sockelleistung sowie der Heizsteigung der Gebäude-EAV bestimmt.

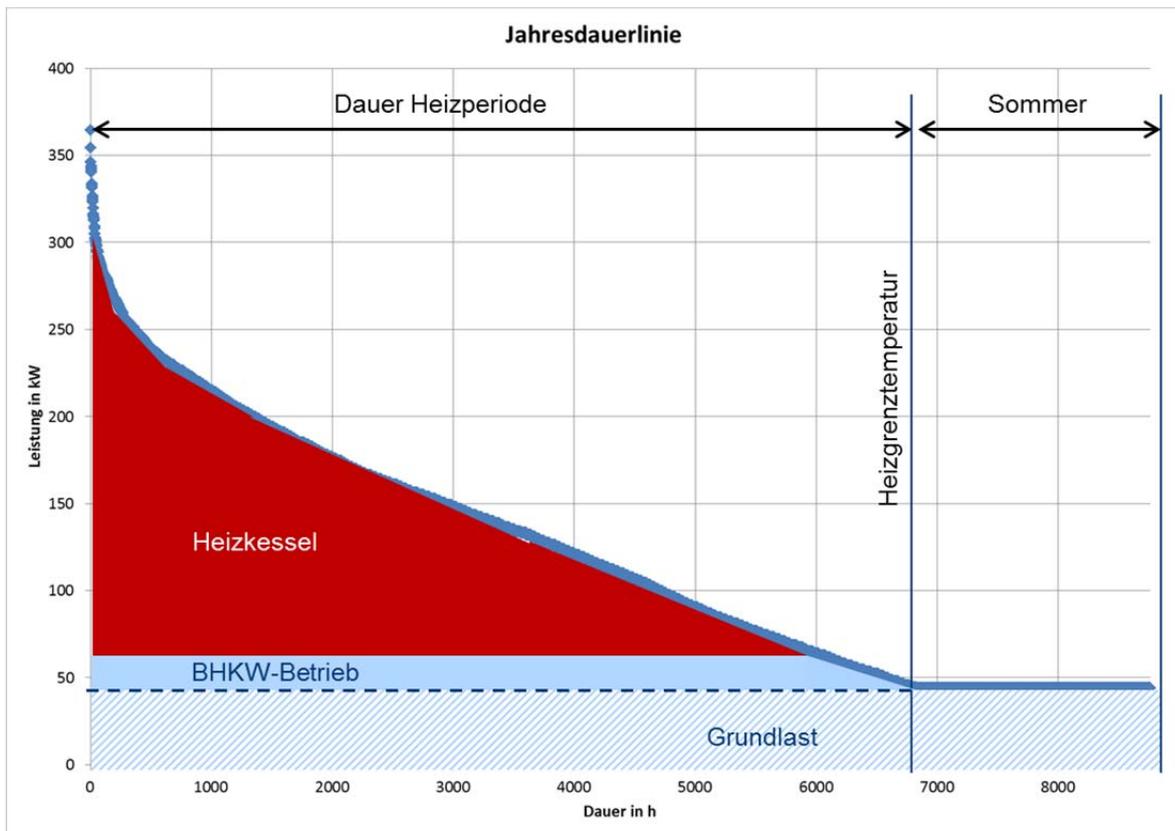


Abbildung 74 Auslegung KWK-Anlage mit Hilfe der Jahresdauerlinie, DBU-TOOL-EAV

9 Quellen

- [1] Oekotec Energiemanagement GmbH, „Methodik zur Aufstellung von Energiekennzahlen,“ BMUB - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Berlin, 2015.
- [2] Fraunhofer Institut für Fertigungstechnik und angewandte Materialforschung (IFAM), „Kurzstudie zur Rolle der KWK in der Energiewende,“ Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung e. V., Bremen, März 2018.
- [3] M. Marek, D. Günther und et al., „WP Monitor" - Feldmessung von Wärmepumpenanlagen,“ Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg, 2014.
- [4] Verein Deutscher Ingenieure (VDI), „Berechnung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpenanlagen,“ VDI 4650, Blatt 1, März 2019.
- [5] EnergieAgentur.NRW, „Wärmepumpen-Marktplatz NRW, Planungsleitfaden Wärmepumpen,“ EnergieAgentur.NRW, Düsseldorf, 2012.
- [6] S. Rasche, „EAV für Wärmepumpen,“ Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften, Wolfenbüttel, 2017.
- [7] Passivhausinstitut, „Passivhaus-Projektierungspaket,“ Passivhausinstitut, Darmstadt, 2019.
- [8] T. Loga, „Einführung in das MOBASY-Projekt - Präsentation Projektbeirat am 27.11.2019,“ Institut für Wohnung und Umwelt, Darmstadt, 27.11.2019.
- [9] IWU – Institut für Wohnen und Umwelt GmbH, „Deutsche Wohngebäudetypologie, Erarbeitung im Rahmen der EU-Projekte Tabula und Episcopo, Darmstadt 2015,“ IWU – Institut für Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt, 2015.
- [10] IWU – Institut für Wohnen und Umwelt GmbH, „Berücksichtigung des Nutzerverhaltens bei energetischen Verbesserungen,“ BBSR-Online-Publikation Nr. 04/2019, Darmstadt, 2019.
- [11] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Bundesministerium für Umweltschutz, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand,“ BMWE und BMUB, Berlin, 7.04.2015.
- [12] Institut für Wohnen und Umwelt GmbH, Nikolas Diefenbach, „Basisdaten für die Hochrechnung mit der Deutschen Gebäudetypologie des IWU,“ Institut für Wohnen und

Umwelt GmbH, Darmstadt, 2013.

- [13] D. Wolff, A. Unverzagt und A. Schünemann, „Baugenossenschaft Bergedorf-Bille, Einsparprognose Binnenfeldredder 30 (Projektbericht intern),“ Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften, Wolfenbüttel, 15.05.2018.
- [14] D. Wolff, A. Unverzagt und A. Schünemann, „Baugenossenschaft Bergedorf-Bille, Energiekonzept Lohbrügge-Nord VE80 (Projektbericht intern),“ Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften, Wolfenbüttel, 5.10.2018.
- [15] D. Wolff, A. Unverzagt und A. Schünemann, „Baugenossenschaft Bergedorf-Bille, Energiekonzept Lohbrügge-Nord, VE 79,84,104 (Projektbericht intern),“ Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften, Wolfenbüttel, 10.10.2018.
- [16] D. Wolff, A. Unverzagt und A. Schünemann, „Baugenossenschaft Bergedorf-Bille, Energiekonzept Bergedorf-West, VE100-2100-101 sowie VE119 (Projektbericht intern),“ Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften, Wolfenbüttel, 21.12.2019.
- [17] Deutsche Energie-Agentur, „dena-Gebäudereport - Statistiken und Analysen zur Effizienz im Gebäudebestand,“ Deutsche Energie-Agentur, Berlin, 2016.
- [18] Techem Energy Services GmbH, „Techem-Energiekennwerte 2019: Wärme,“ Techem, Eschborn, 2019.
- [19] Passivhausinstitut, „Kriterien für den Passivhaus-, EnerPHit- und PHI-Energiesparhaus-Standard,“ Passivhausinstitut, Darmstadt, 26.08.2016.
- [20] Energiewerkstatt Gesellschaft für rationelle Energie mbH & Co. KG, „8.5. Hydraulische Einbindung: Beispiel eines ASV-BHKW mit Pufferspeicher,“ Energiewerkstatt, Hannover, 2017.
- [21] R. Tepe und C. Heitland, „Betriebserfahrungen mit Passivhausanlagentechnik im zero:epark,“ Passivhausinstitut, Passivhaustagung München, 2017.
- [22] Tecalor, „www.tecalor.de,“ 2017. [Online]. Available: https://www.tecalor.de/de/produkte-informationen/alle_produkte/lueftung/wissenswertes.html. [Zugriff am 12 April 2017].
- [23] p. -. D. enercity-Fonds, „Leitfaden - Messtechnik zur Verbrauchsdatenauswertung,“ proKlima - Der enercity-Fonds, Hannover, 2017.
- [24] Internationales Geothermiezentrum - Hochschule Bochum, „Analyse des deutschen Wärmepumpenmarktes,“ Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung Baden-Württemberg (ZSW), Bochum, November 2017.

- [25] Fraunhofer IWES, „Interaktion EE-Strom, Wärme und Verkehr,“ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Kassel, September 2015.
- [26] A. Schünemann, „Standardsysteme,“ Ostfalia Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Wolfenbüttel, 2020.