



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

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

DBU-Projekt Abschlussbericht „Energiekonzepte mit Erfolgsnachweis“

Stand 30.09.2017, ENTWURF

Download unter: <http://www.delta-q.de>



Gefördert von 
Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

Inhalt

1	Abbildungsverzeichnis	5
2	Abkürzungsverzeichnis	8
3	Zusammenfassung	9
4	Vorbemerkung zum Thema „Alliance Contracting“	11
5	Rahmenbedingungen für die Umsetzung der Energiewende in der Wohnungswirtschaft	12
5.1	Verbrauchsbasierte Erfolgsindikatoren zur Umsetzung der Energiewende im Gebäudesektor	12
5.1.1	Gebäudeeffizienz	12
5.1.2	Endenergie	13
5.1.3	Treibhausgasemissionen	15
5.1.4	Bewertungsmaßstäbe für Erneuerbare Versorgungsstrukturen	15
5.1.5	Wirtschaftlichkeit aus der Perspektive der beteiligten Akteure	17
5.2	Vertragsmodelle der Energieversorgung in der Wohnungswirtschaft	17
5.2.1	Eigenversorgung mit Wärme versus Contracting-Modelle	17
5.2.2	Mieterstrom	21
5.2.3	Vertragserfahrungen bei den beteiligten Wohnungsunternehmen	22
6	Methodik der Energieanalyse aus dem Verbrauch	25
6.1	Methodenvergleich: EAV und klassische Energiebedarfsberechnung	25
6.2	Gebäude-EAV (= Fingerabdruck Gebäude)	27
6.2.1	Grundlagen	27
6.2.2	Anleitung Gebäude-EAV	28
6.3	Erzeuger-EAV (= Fingerabdruck Erzeuger)	32
6.3.1	Grundbegriffe Heizkessel	32
7	Verbrauchsanalysen von Objekten der beteiligten Wohnungsunternehmen	33
7.1	Hanova (ehem.: GBH): Quartier Stöcken in Hannover	33
7.1.1	Quartiersbilanz 2012 bis 2016	35
7.1.2	EAV-Ergebnisse Objekte ohne Maßnahmenumsetzung	36
7.1.3	EAV-Ergebnisse Objekte mit Maßnahmenumsetzung	39
7.1.4	Heizkörper-Ausstattung, Nutzereinfluss und Heizkörperwahl (H-I6, H-I8, H-I10, H-M31, H-M33-37)	44
7.1.5	Fazit Hannover	46
7.2	Nibelungen-Wohnbau: Quartier Behringstr. in Braunschweig	47

7.2.1	Quartiersbilanz Behringstr. 12/2013 bis 06/2017	47
7.2.2	Gebäude-Fingerabdruck Objekt BS-B23-26	49
7.2.3	Kessel-Fingerabdruck	50
7.2.4	Bedarfsgerechte Dimensionierung der Trinkwarmwasserbereitung und des Wärmeerzeugers für das Objekt BS-B23-26	54
7.2.5	Fazit Braunschweig	66
7.3	gbg: Objekte Hi-E34-42 und D2+4	67
7.3.1	Vorher-Analyse	68
7.3.2	Detailauswertung Bestand Objekt Hi-E34+36+38	69
7.3.3	Detailauswertung Bestand Objekt Hi-E40+42,D2+4	70
7.3.4	Ausblick Hildesheim	72
7.4	GEWOBA Energie GmbH	73
7.4.1	Auswertung Jahresnutzungsgrad Heizungsanlagen	73
7.4.2	Stichproben-Begehung einzelner Heizzentralen	76
8	Netto-Vollkosten umgesetzter Energiesparmaßnahmen	85
8.1	Dämmung der Außenwand von außen	85
8.2	Dämmung der obersten Geschossdecke von oben	87
8.3	Fenstererneuerung	88
8.4	Dämmung der Kellerdecke von unten	88
8.5	Vergleich Abluftanlage – Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	89
8.6	Erneuerung Heizsystem	92
8.6.1	Heizungszentralisierung und Trinkwarmwasserbereitung	92
8.6.2	Heizungserneuerung mit Gas-Brennwertgeräten, Frischwasserstationen und Pufferspeicher in Braunschweig	94
9	Einsparprognosen, Erfolgsnachweis und Wirtschaftlichkeit	96
9.1	BS-B18+19: Außenwanddämmung und Heizungserneuerung	96
9.1.1	Einsparprognose	96
9.1.2	Erfolgsnachweis	97
9.1.3	Wirtschaftlichkeit	98
9.2	BS-B20-22: Außenwanddämmung und Heizungserneuerung	100
9.2.1	Einsparprognose	100
9.2.2	Erfolgsnachweis	102
9.3	Objektbeispiel Komplettmodernisierung Gebäudehülle: H-H9+11	102
9.3.1	Einsparprognose	102
9.3.2	Erfolgsnachweis	104

9.3.3	Wirtschaftlichkeit	104
9.4	Objektbeispiel Kompettmodernisierung Gebäudehülle: Hi-E34	107
9.4.1	Einsparprognose Wärmeverbrauch Raumheizung Objekt Hi-E34	107
9.4.2	Wirtschaftlichkeitsvergleich Lüftung	109
9.5	Erfahrung zur Erstellung von EAV-basierten Einsparprognosen und Erfolgsnachweisen	110
10	Fazit und Ausblick auf das DBU-Folgeprojekt	111
11	Literatur	112

1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 h-Wert als Maßstab für die Gebäudeeffizienz von Wohnungsbestände	13
Abbildung 2: spez. Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser in privaten Haushalten, witterungskorrigiert, eigene Ermittlung aus [6], [15], [22]	14
Abbildung 3: Beispiel: Bestandsanalyse spez. Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser ..	14
Abbildung 4: Entwicklung der Treibhausgasemissionen und Ausblick nach [19]	15
Abbildung 5: Contracting-Modelle im Überblick	18
Abbildung 6: Prozentuale Verteilung der Contracting-Formen des VfW in 2016 [27]	19
Abbildung 7: Prinzip Mieterstrom.....	22
Abbildung 8: Kostenbestandteile Strom Haushalte, Quelle BDEW 05/2017.....	22
Abbildung 9: Vergleich EAV und Energiebedarfskennwerte	26
Abbildung 10 Grundbegriffe Gebäude-EAV	27
Abbildung 11 Ein- und Ausgabedaten EAV.....	29
Abbildung 12 Gebäude-EAV: Regressionsgerade Heizsteigung aus Winterpunkten unter 12 °C und Grundlast aus Messpunkten über 18 °C	30
Abbildung 13 Gebäude-EAV: getrennte Auswertung Wärmemengenzähler Trinkwarmwasser und Heizstrang.....	31
Abbildung 14 EAV Erzeuger.....	32
Abbildung 15 Quartier Stöcken, Quelle: Hanova.....	33
Abbildung 16 Umgesetzte Energiesparmaßnahmen in Hannover-Stöcken.....	34
Abbildung 17 EAV-basierte Quartiersbilanz Stöcken: 2012 bis 2016	35
Abbildung 18 EAV-Ergebnisse Objekt H-I2	36
Abbildung 19 Heizungsschema Objekt H-I2.....	37
Abbildung 20 Vergleich von zwei Auswertejahren Objekt H-I4: Gebäude-Fingerabdruck rot=2015, blau=2016.....	38
Abbildung 21 EAV-Ergebnisse Objekt H-I4	38
Abbildung 22 Heizungsschema Objekt H-I4.....	38
Abbildung 23 EAV-Ergebnisse Objekt H-M19F32.....	39
Abbildung 24 Wärmeübertrager Objekt H-H9-11 zur Trennung von Sekundärkreis und Kessel (Foto Unverzagt)	40
Abbildung 25 EAV-Ergebnisse Objekt H-H9-12	40
Abbildung 26 Vorher (2012)-/Nachher (2015)-Gebäude-EAV Objekt H-H9-11	41
Abbildung 27 Heizungsschema Objekt H-H9-11	41
Abbildung 28 EAV-Ergebnisse Objekt H-I8	42
Abbildung 29 Vorher (2012)-/Nachher (2016)-Gebäude-EAV Objekt H-I8	43
Abbildung 30 Heizungsschema Objekt H-I-8	43
Abbildung 31 Heizkörper nach Balkontüreinbau in der Küche (Foto: Unverzagt).....	44
Abbildung 32 Heizkörper-Beispiel Bestand in Stöcken (Foto: Unverzagt).....	45
Abbildung 33 Ungünstige Möblierung vor Heizkörpern in Stöcken (Foto: Unverzagt).....	45
Abbildung 34 Seriell durchströmter Heizkörper mit bevorzugter Wärmeabgabe über die Frontplatte (Quelle: Kermi)	46
Abbildung 35 Umgesetzte Energiesparmaßnahmen in Braunschweig	47
Abbildung 36 EAV-basierte Quartiersbilanz Behringstr.10/12/2016 bis 06/2017.....	48
Abbildung 37 Quartier Behringstr.: EAVs vor Sanierung (WMZ gesamt).....	48
Abbildung 38 Quartier Behringstr. EAVs 10/12/2016 bis 06/2017(WMZ Heizkreis und TWW getrennt).....	49
Abbildung 39 BS-B23-26: Gebäude-Fingerabdruck aus WMZ-Werten Heizung und TWW vor und nach der Außenwanddämmung.....	49
Abbildung 40 Heizungsschema Objekt BS-B18+19	50
Abbildung 41 Temperaturmessung Vor- und Rücklauf Pufferspeicher vom Montag, den 31.10.2016.....	51
Abbildung 42 Ergebnisse Kessel-Fingerabdruck BS-B18+19: Bestand, neue Heizungsanlage und nach Betriebsoptimierung.....	51
Abbildung 43 Kessel-Fingerabdruck BS-B18+19 nach Betriebsoptimierung.....	52

Abbildung 44 Heizungserneuerung BS-B20-22, Junkers-Gasthermen, unten rechts: hydraulische Weiche, Fotos oben: Frischwasserstation, Fotos: Unverzagt	53
Abbildung 45 Objekt: BS-B20-22, Fingerabdruck Kessel vor und nach der Sanierung	53
Abbildung 46 Objekt: BS-B23-26, Heizungsschema Bestand (Quelle: Marcel Rode)	54
Abbildung 47 SolvisPrelog-Messung im Objekt BS-B23-26, Quelle: Unverzagt	55
Abbildung 48 geordnete Messwerte Warmwasservolumenstrom, Intervall: Sekunde/Minute	55
Abbildung 49 geordnete Messwerte Warmwasservolumenstrom bezogen auf den Messzeitraum (100 %=28 Tage)	56
Abbildung 50 Zapfprofil Wochentag (Mo-Fr), 10-Minuten-Mittel	56
Abbildung 51 Zapfprofil Wochenende/Feiertag, 10-Minuten-Mittel	57
Abbildung 52 Messergebnisse Trinkwassertemperaturen	58
Abbildung 53 Zeitlicher Verlauf Zirkulationsvolumenstrom	58
Abbildung 54 Systemverhalten Frischwasserstation Vitotrans 353, Typ PBMA, Nennzapfleistung 48 l/min, Quelle Viessmann	59
Abbildung 55 Summenlinie Trinkwarmwasserzapfung bezogen auf 60 °C Zapftemperatur	60
Abbildung 56 Gesamtaufwand Trinkwarmwasser-Erwärmung	61
Abbildung 57 Vergleich der Wärmeschaubilder: links=Trinkwarmwasser-Nutzen ohne Verluste, rechts: Trinkwarmwasser-Aufwand mit Verlusten	61
Abbildung 58 Wärmeschaubild mit 500-Liter-Pufferspeicher	62
Abbildung 59 Anzahl Ladevorgänge /Taktverhalten in Abhängigkeit vom Pufferspeicher-volumen	62
Abbildung 60 Bereitschaftsverluste in Abhängigkeit von der Pufferspeicher-größe, Quelle: Datenblatt Viessmann, Vitocell 100-E	62
Abbildung 61 Wärmeschaubild mit 500-Liter-Speicherladesystem	63
Abbildung 62 Anzahl Ladevorgänge/Taktverhalten in Abhängigkeit vom Speichervolumen	64
Abbildung 63 Gebäude-EAV Objekt BS-B23-26 von 12/2016 bis 12/2017	65
Abbildung 64 Vor der Modernisierung: Hi-E34-42, D2+4	67
Abbildung 65 Energiesparmaßnahmen in Umsetzung, E34 – 42, D2+4	68
Abbildung 66 Vorher-Gebäude-Fingerabdruck Hi-E34+46+48	69
Abbildung 67 Vorher-Erzeuger-Fingerabdruck Hi-E34+46+48	70
Abbildung 68 Vorher-Gebäude-Fingerabdruck Hi-E40+42,D2+4	70
Abbildung 69 Vorher-Erzeuger-Fingerabdruck Hi-E40+42,D2+4	71
Abbildung 70 Vorher-Erzeuger-Fingerabdruck Hi-E40+42,D2+4, ohne 13.09. bis 27.12.2017	71
Abbildung 71 Brennwert-bezogener Jahresnutzungsgrad Heizungsanlagen GEWOBA Energie	73
Abbildung 72 Kesselalter und Kondensatmenge, Messergebnis Aktion Brennwertcheck der Verbraucherzentrale, Juli 2011 [28]	74
Abbildung 73 heizwertbezogener Jahresnutzungsgrad, Ergebnisse für Brennwertkessel ab 1995, Heizungsanlagen mit Warmwasserbereitung, EBZ School Bochum[8]	74
Abbildung 74 Kondensatmenge in Abhängigkeit von den Volllaststunden, Messergebnis Aktion Brennwertcheck der Verbraucherzentrale, Juli 2011 [28]	75
Abbildung 75 brennwertbezogener Jahresnutzungsgrad Brennwert-Heizungen Gewoba Energie	75
Abbildung 76 brennwertbezogener Jahresnutzungsgrad NT-Heizungen Gewoba Energie	76
Abbildung 77 Erzeugerverluste in Abhängigkeit vom Wärmeverbrauch	76
Abbildung 78 Objekt B-B14-18	77
Abbildung 79 Gas-Brennwerttherme und Heizungsschema B-B14-18	77
Abbildung 80 Wärmebrückeneffekt am Abzweig zum Ausdehnungsgefäß: Zur Vermeidung von Wärmeabgabe wäre eine flankierende Dämmung sinnvoll.	78
Abbildung 81 B-R21-25-M145-147	78
Abbildung 82 Gas-Brennwertkessel und Heizungsschema B-R21-25-M145-147	79
Abbildung 83 Objekt B-HB 24	79
Abbildung 84 Heizzentrale Objekt H-HB24	80
Abbildung 85 Heizungsschema B-HB24	81
Abbildung 86 Auf dem Dach: Foto links unten: Abgase steigen aus dem Schornstein auf, Therme ist in Betrieb, Foto rechts: Aperturfläche der Vakuumkollektoren ist waagrecht ausgerichtet, Abgleich mit Planung erforderlich, Foto rechts oben: Wärmepumpen	82
Abbildung 87 Anlagenschema B-T14-18	84

Abbildung 88 Entwicklung Baupreisindex seit 2010, Quelle: Destatis	85
Abbildung 89 Vollkosten-WDVS ohne Gerüst in €/m ² BT-Fläche	86
Abbildung 90 Prozentuale Verteilung der Vollkosten eines WDVS nach [1].....	87
Abbildung 91 Vollkosten Dämmung der obersten Geschossdecke von oben in €/m ² BT-Fläche.....	87
Abbildung 92 Vollkosten Fenstererneuerung	88
Abbildung 93 Dämmung der Kellerdecke von unten in Stöcken, unterseitig Gipsfaser-Bekleidung, Foto: Unverzagt	88
Abbildung 94 Dämmung der Kellerdecke von unten	89
Abbildung 95 Grundriss Wohnung Hi-E36 mit Abluftanlage. Foto unten: Fortluftführung im DG	90
Abbildung 96 Wohnung Hi-E38 mit Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Foto links: Lüftungsgerät in der Dachzentrale, Brandschutzklappen in der Dachzentrale	91
Abbildung 97 Wohnung Hi-E38, neu erstellte Lüftungszentrale im DG, Foto Unverzagt.....	92
Abbildung 98 Kostenvergleich Abluftanlage und Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	92
Abbildung 99 Grundstation Trinkwasserstation TS S1000-01, Quelle Delta Systemtechnik	93
Abbildung 100 Kostenvergleich Heizsystem Hi-E34 und Hi-E36	94
Abbildung 101 Vollkosten neue Gas-Brennwertheizungsanlage nach [11]	94
Abbildung 102 Kostenauswertung Heizungserneuerung	95
Abbildung 103 Einsparprognose BS-B18+19, Außenwanddämmung und Heizungserneuerung.....	97
Abbildung 104 Erfolgsnachweis BS-B18+19, Außenwanddämmung und Heizungserneuerung.....	98
Abbildung 105 Erfolgsnachweis BS-B18+19 nach Betriebsoptimierung Heizung	98
Abbildung 106 Warmmietenneutralität Mieter, BS-B18+19.....	99
Abbildung 107 Wirtschaftlichkeit aus Sicht des Wohnungsunternehmens, BS-B18+19.....	100
Abbildung 108 Einsparprognose BS-B20-22, Außenwanddämmung und Heizungserneuerung.....	101
Abbildung 109 Erfolgsnachweis BS-B20-22, Außenwanddämmung und Heizungserneuerung.....	102
Abbildung 110 Einsparprognose Objekt H-H9+11, Komplettmodernisierung Gebäudehülle	103
Abbildung 111 Erfolgsnachweis Objekt H-H9+11, Komplettmodernisierung Gebäudehülle	104
Abbildung 112 Warmmietenneutralität Mieter, Objekt H-H9+11	105
Abbildung 113 Wirtschaftlichkeit aus Sicht des Wohnungsunternehmens, Objekt H-Ho9+11	106
Abbildung 114 Wirtschaftlichkeit aus Sicht des Wärmelieferanten, Objekt H-H9+11	106
Abbildung 115 Einsparprognose Objekt Hi-E34, Komplettmodernisierung Gebäudehülle	108
Abbildung 116 Vollkostenvergleich Lüftungsanlagen, Objekte gbg Hildesheim	110

2 Abkürzungsverzeichnis

AW	Außenwand
BHKW	Blockheizkraftwerk
BWK	Brennwertkessel
EAV	Energieanalyse aus dem Verbrauch
EDE	Elektrische Durchlauferhitzer
EE	Erneuerbare Energien
EnEV	Energieeinsparverordnung
EPS	Expandiertes Polystyrol
FE	Fenster
Gas-Atmos	Atmosphärischer Gaskessel
GEG	Gebäudeenergiegesetz
h-Wert	Wohnflächenbezogene Heizsteigung/Wärmeverlustkoeffizient in $W/(m^2Wfl \cdot K)$
JNG	Jahresnutzungsgrad
KW	Kaltwasser
KE	Kellerdecke
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
LA	Lüftungsanlage
LW	Luftwechsel
OG	Oberste Geschossdecke
PS	Polystyrol
T_{HG}	Heizgrenztemperatur
TWW	Trinkwarmwasser
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient in $W/(m^2K)$
WDVS	Wärmedämm-Verbundsystem
WE	Wohneinheit
WW	Warmwasser
WMZ	Wärmemengenzähler

3 Zusammenfassung

In Kooperation mit den vier Wohnungsunternehmen gbg, GEWOBA, HANOVA und Nibelungen Wohnbau wurden die Grundlagen für eine Gebäudebewertung auf Basis der Methodik der Energieanalyse aus dem Verbrauch (EAV) entwickelt und an Modernisierungsprojekten erprobt.

Der vorliegende Bericht gliedert sich wie folgt:

- Im **Kapitel 5 „Rahmenbedingungen“** werden **verbrauchsbasierte Erfolgsindikatoren** vorgeschlagen, mit denen der Energiewendeprozess für den Bestand eines Wohnungsunternehmens, in einem Wohnquartier oder für ein Gebäude sehr einfach abgebildet werden kann. **Vertragsmodelle der Energiebereitstellung** stecken den Handlungsrahmen für Optimierungen ab. Die Vor- und Nachteile der Modelle werden abgewogen.
- Die **Methodik der Energieanalyse aus dem Verbrauch (EAV)** wird im folgenden **Kapitel 6** vorgestellt. Das Verfahren bewertet die Effizienz von Gebäuden und der Energiebereitstellung sowie das Nutzerverhalten auf Basis im monatlichen oder wöchentlichen Zeitintervall gemessener Verbräuche. Anders als bei Bedarfs- oder bei Prüfstandkennwerten wird keine Normnutzung zugrunde gelegt, sondern Gebäude und Technologien werden einem Praxistest unterzogen.
- Das **Kapitel 7 „Verbrauchsanalysen von Objekten der beteiligten Wohnungsunternehmen“** befasst sich mit den Ergebnissen der EAV-Anwendung der Kooperationspartner. Diese dienen als Grundlage für Einsparprognosen und Erfolgsnachweise in Kapitel 9. Bei den Kooperationspartnern wurden folgende Themenschwerpunkte untersucht: In **Hannover** wird die EAV über mehrere Jahre angewendet und die Wirkung der energetischen Modernisierung im Quartier nachvollzogen. An Objekten ohne Maßnahmenumsetzung kann die Stabilität von EAV-Kennwerten über mehrere Jahre abgeleitet werden. In Objekten mit Maßnahmenumsetzung zeigen die Kennwerte in Verbindung mit Objektbegehungen Optimierungsbedarf beim hydraulischen Abgleich und den Verbrauch erhöhende Nutzereinflüsse. In **Braunschweig** wurde die EAV zur Bestandsanalyse und als Erfolgsnachweis für die energetischen Modernisierungen erprobt. Die Wirkung der Fassadendämmung wird bei allen Objekten nachgewiesen. Bei einer Heizungserneuerung gelingt die Verbesserung der Erzeugereffizienz nach einer Fehleranalyse. Die hohe Grundlast an vielen Objekten mit zentraler Trinkwarmwasserbereitung wird hier detailliert analysiert. In **Hildesheim** werden Bestandsanalysen der Erzeuger und Gebäude erstellt. Diese dienen als Grundlage für das Monitoring im DBU-Folgeprojekt. In **Bremen** stellte die GEWOBA Energie die Wärmemengenzählerwerte und den Brennstoffeinsatz der von ihr betreuten Heizungsanlagen zur Verfügung. Hieraus entsteht ein Gesamtbild der in der Praxis vorhandenen Jahresnutzungsgrade und Erzeugereffizienzen. Die Erkenntnisse werden mit den Ergebnissen der Aktion Brennwertcheck der Verbraucherzentrale und dem „Gutachten zur Ermittlung von anerkannten Pauschalwerten für den Jahresnutzungsgrad von Heizungsanlagen“ verglichen. Es zeigt sich, dass bei der Umstellung auf Wärmelieferung generell eine EAV der Wärmeerzeugungsanlage als Grundlage für die Ermittlung von Wärmepreisen dienen sollte.
- Das **Kapitel 8 „Netto-Vollkosten der umgesetzten Energiesparmaßnahmen“** zeigt Ergebnisse aus abgerechneten Kosten umgesetzter Energiesparmaßnahmen. Die Kostenfeststellungen gehen in akteursbezogene Wirtschaftlichkeitsberechnungen des folgenden Kapitels ein.
- Die Erkenntnisse der EAV-Auswertungen der Bestandsobjekte werden für **Einsparprognosen** von Energiesparmaßnahmen im **Kapitel 9** genutzt. Für durchgeführte Energiesparmaßnahmen werden **Erfolgsnachweise** und **aktorsbezogene Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen** auf Basis der EAV-Kennwerte nach der Modernisierung und der abgerechneten Kosten erstellt.

In den ersten Anwendungstests zeigt die durchgehende Anwendung von EAV-Kennwerten eine hohe Praxistauglichkeit. Aufwändige Witterungsbereinigungen und Abgleiche zu bedarfsbasierten Energiekennwerten entfallen weitgehend. Das Verfahren zeichnet sich durch eine hohe Verständlichkeit aus.

Im DBU-Folgeprojekt wird die EAV-Methodik als Grundlage für Investitionsentscheidungen, als Planungsgrundlage, zur Qualitätssicherung und zum Erfolgsnachweis von Energiesparmaßnahmen weiterentwickelt und als zukünftiges standardmäßiges Bewertungsinstrument für die umfassende Qualitätssicherung von Gebäude und Anlagentechnik bei Modernisierungen aber auch bei Neubauplanungen etabliert werden.

Die beteiligten Wohnungsunternehmen engagieren sich stark auf dem Weg zu Klimaneutralität. Allerdings ist festzustellen, dass sich die wirtschaftlichen und energiepolitischen Rahmenbedingungen zur Umsetzung der Energiewende derzeit ungünstig darstellen.

- Die derzeit fallenden Preise für fossile Energieträger bilden nicht die Klimaschäden ab.
- Der überproportionale Anstieg der Strompreise im Vergleich zu Erdgas/Heizöl verschlechtert die Einsatzbedingungen für eine Zukunftstechnologie Wärmepumpe.
- Es fehlen Anreize für tatsächlich realisierte CO₂-Einsparungen.
- Die Nachweismethodik der EnEV und EEWärmeG sowie falsch gesetzte Förderanreize verführen zu komplexen Anlagensystemen, die in der Praxis nicht die gewünschte Einsparung erbringen. Die Gebäudeeffizienz als notwendige Voraussetzung auf dem Weg zur Klimaneutralität wird unterschätzt. Energie- und gebäudetechnische Systeme sollten zukünftig viel stärker an ihrem tatsächlichen Nutzen hinsichtlich einer CO₂-Minderungsstrategie gemessen werden.

4 Vorbemerkung zum Thema „Alliance Contracting“

Der Projektantrag „Energiekonzepte mit Erfolgsnachweis“ sah die Erprobung des Partnerschaftsmodells „Alliance Contracting“ mit dem Ziel der erfolgreichen Umsetzung von Energiekonzepten vor.

Das Grundprinzip beim Alliance Contracting ist die Bildung einer fiktiven Projektgesellschaft, die als gemeinsames Ziel den Gesamtnutzen des Projekts verfolgt. Hinzu kommt ein innovatives Risikoverteilungs- und Vergütungssystem, deren Verteilung anhand von Erfolgsindikatoren erfolgt [11]. Das erfolgreich abgeschlossene DBU-Projekt „Neuerkerode 2050“ sah folgendes Vertragsmodell vor und sollte auf die Wohnungswirtschaft übertragen werden:

- Festschreibung eines Gesamtkostenrahmens aus Kapital-, Bauunterhaltungs- und Energiekosten mit dem Ziel einer Gesamtkostenoptimierung für mindestens zwei Jahre nach Umsetzung
- Bonus-Malus-Regelungen im Architekten- und Planer-Honorar bei Unterschreitung/Überschreitung
- Vermeidung von Nachtragskosten
- Vermeidung juristischer Auseinandersetzungen durch rechtzeitige externe Moderation während der Umsetzungsphase und nach Inbetriebnahme

In einer Marktlage, in der es auch für regional etablierte Unternehmen schwierig ist, Handwerksbetriebe zur Angebotsabgabe zu bewegen, erschien den beteiligten Wohnungsunternehmen die Durchsetzung von Bonus-Malus-Regelungen in Verträgen nicht möglich und zu aufwändig angesichts einer Vielzahl zu betreuender Bauprojekte.

Dem Wunsch der beteiligten Wohnungsunternehmen entsprechend wurden die vertraglichen Fragestellungen des „Alliance Contracting“ zurückgestellt und die Methodik der Energieanalyse aus dem Verbrauch (EAV) nicht an vier Sanierungsprojekten sondern einer Vielzahl von Projekten getestet und insbesondere die Frage der hohen Grundlasten vor allem für Trinkwarmwasserversorgung und Wärmeverteilung sowie die teilweise hohen Wärmeerzeugerverluste vertieft untersucht. Ein Controlling mit Hilfe einfach handhabbarer EAV-Instrumente wurde dagegen von den Kooperationspartnern als sehr hilfreich eingestuft und auch dazu genutzt, technische Qualitäten gezielt einzufordern.

Bei größeren risikobehafteten Projekten könnten Partnerschaftsmodelle, bei denen Auftraggeber und Auftragnehmer ein Projektteam bilden, zukünftig an Bedeutung gewinnen, wenn die energiepolitischen und wirtschaftlichen Voraussetzungen geschaffen werden. Ein Beispiel ist die Kooperation von Wärmeabnehmern und -lieferanten bei der Temperaturabsenkung in Wärmenetzen, wie sie beispielsweise zwischen der gbg und der Energieversorgung Hildesheim (EVI) praktiziert wird.

5 Rahmenbedingungen für die Umsetzung der Energiewende in der Wohnungswirtschaft

In den letzten Jahren erschienen zahlreiche Studien, die sektorenübergreifend Wege aufzeigen, wie das Langfristziel Klimaneutralität bis 2050 in Deutschland erreicht werden kann. Alle Untersuchungen zeigen, dass die Umstellung auf erneuerbare Energieversorgungsstrukturen nur bei deutlicher Reduzierung des Gesamtwärmeverbrauchs im Gebäudesektor gelingen kann. Beispielsweise verringert sich der Endenergiebedarf für Raumwärme nach den Szenarien der Studie „Interaktion EE-Strom, Wärme und Verkehr“ von 509 TWh/a in 2008 auf 246 bis 184 TWh/a in 2050 [8].

Das folgende Kapitel erläutert für die Umsetzung der Energiewende in der Wohnungswirtschaft geeignete Erfolgsindikatoren. Anschließend werden mögliche Vertragsmodelle der Energieversorgung von Mehrfamilienhäusern vorgestellt und mit ihren Vor- und Nachteilen im Hinblick auf das Erreichen von Klimaschutzziele abgewogen.

5.1 Verbrauchsbasierte Erfolgsindikatoren zur Umsetzung der Energiewende im Gebäudesektor

Die Bestände von Wohnungsunternehmen lassen sich im Hinblick auf den Grad der Umsetzung der Energiewende bewerten. Neben Indikatoren für Gebäudeeffizienz und eine nachhaltige Energiebereitstellung ist die Wirtschaftlichkeit von Klimaschutzmaßnahmen aus der Perspektive der beteiligten Akteure zu beachten. Alle Erfolgsindikatoren bauen konsequent auf Messungen im Realbetrieb auf.

5.1.1 Gebäudeeffizienz

Zur Beurteilung der Gebäudeeffizienz wird als im Folgeprojekt noch vertieft zu untersuchender Ansatz der auf die beheizte Wohnfläche bezogene Wärmeverlustkoeffizient vorgeschlagen, der aus monatlich oder wöchentlich abgelesenen Verbrauchsmessungen bestimmt werden kann:

$$h - \text{Wert} = \frac{H_T + H_V + \frac{\dot{Q}_{h,d}}{t_{HG} - t_{a,m,HP}} = \frac{(U_m \cdot A_{H\u00fcll} + n \cdot V_L \cdot 0,34)}{1\,000} + \frac{\dot{Q}_{h,d}}{t_{HG} - t_{a,m,HP}}}{EBF} \left[\frac{W}{m^2 \text{Wfl.} \cdot K} \right]$$

mit

h-Wert	gesamter Wärmeverlustkoeffizient bezogen auf die beheizte Wohnfläche in W/(m ² Wfl.*K)
H _T	Transmissionswärmeverlustkoeffizient in W/K
H _V	Lüftungswärmeverlustkoeffizient in W/K
Q̇ _{h,d}	nicht nutzbare, lastabhängige Heizverteilungsverluste im unbeheizten Bereich in W
t _{HG}	Heizgrenze in °C
t _{a,m,HP}	mittlere Außentemperatur der Heiz-(Mess-)periode
U _m	mittlerer U-Wert der Gebäudehülle in W/(m ² K)
A _{H\u00fcll}	Äußere Hüllfläche des beheizten Bereichs m ²
n	mittlere Luftwechselzahl in h ⁻¹
V _L	Belüftetes Nettovolumen der beheizten Hülle in m ³
EBF	Energiebezugsfläche=beheizte Wohnfläche

Der Faktor wird wesentlich beeinflusst durch die Gebäudehüllqualität zusammen mit den Lüftungswärmeverlusten sowie durch das Verhältnis der wärmeübertragenden Flächen zur beheizten Wohnfläche.

Wohnungsunternehmen können auf diese Weise die derzeitige Gesamteffizienz ihres Bestands ermitteln und unter Berücksichtigung von Typologie, Instandsetzungszyklen und baukonstruktiven Randbedingungen erreichbare Zielwerte festlegen (siehe Beispiel in Abbildung 1). Das Wohnungsunternehmen setzt sich das Ziel, den Anteil ungedämmter Bestandsbauten von 40 % in 2017 auf 10 % zu reduzieren. Der Gebäudeanteil mit guter Gebäudeeffizienz erhöht sich dadurch auf 50 % in 2030.

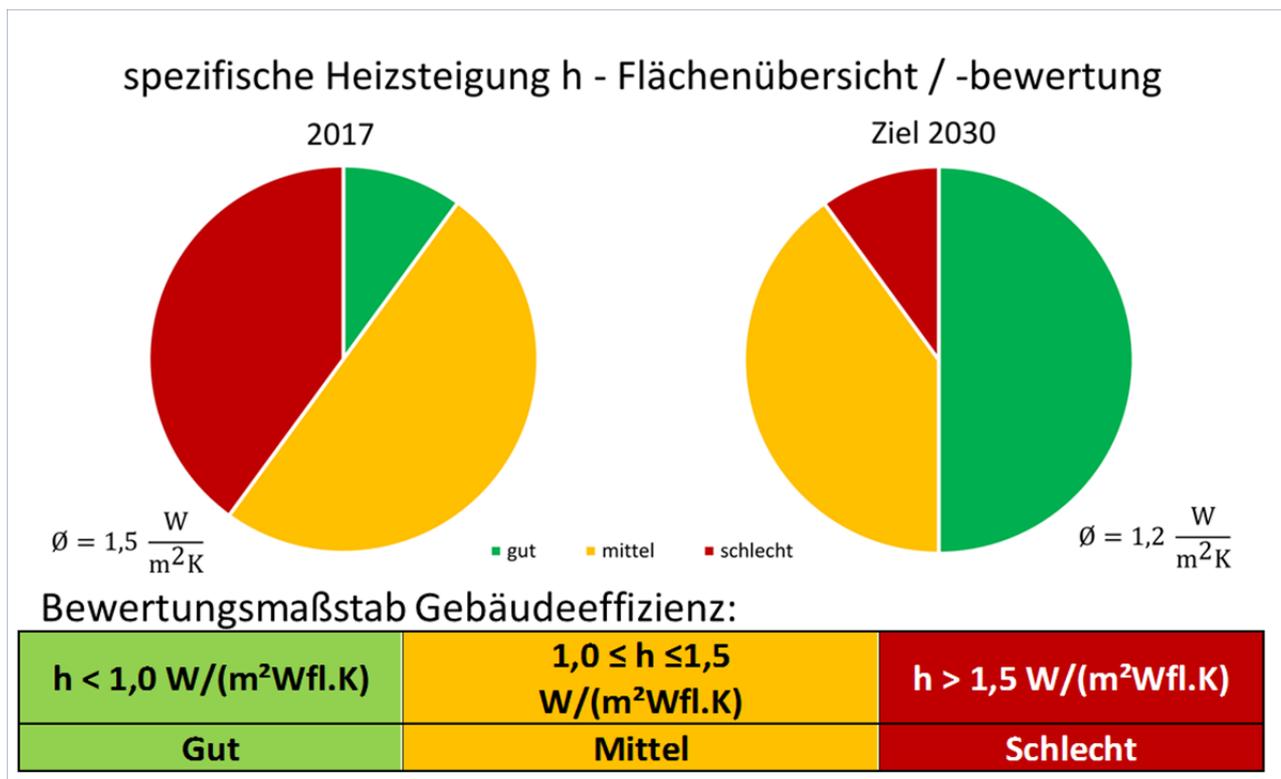


Abbildung 1 h-Wert als Maßstab für die Gebäudeeffizienz von Wohnungsbestände

5.1.2 Endenergie

Der witterungskorrigierte Endenergieverbrauch für Raumwärme und Trinkwarmwasserbereitung wird als weiterer Erfolgsindikator vorgeschlagen. Für die Wohnungswirtschaft ist der Endenergieverbrauch im Vergleich zu anderen Indikatoren besonders relevant, da sich der Endenergieverbrauch direkt auf die Betriebskosten auswirkt und somit die Warmmiete deutlich beeinflusst. Es bieten sich Wohnflächen-spezifische Verbrauchswerte an, um die Kennwerte unabhängig von Wohnflächen-Zubau oder –Abbau bewerten zu können. Die Herausforderung zunehmender Flächenversiegelung und seit Jahrzehnten ansteigender Wohnfläche je Person wird bei einem Wohnflächenbezug nicht abgebildet. Die Belegungsdichte von Wohnungen liegt jedoch weniger im Handlungsspielraum der Vermieter sondern ist eher durch eine geeignete Raumplanung und Abbau von Flächenversiegelungsanreizen lösbar.

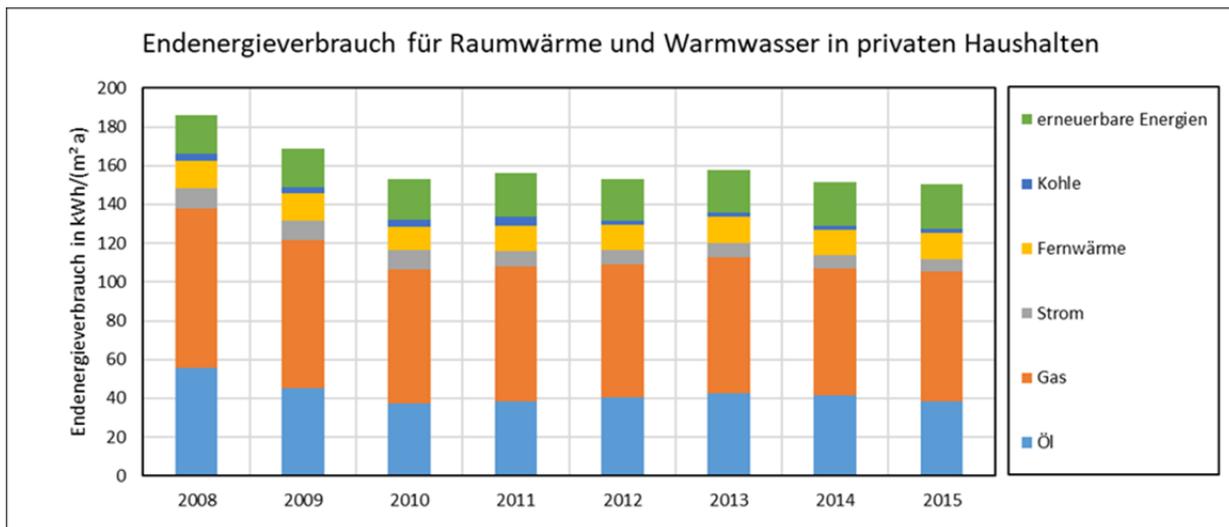


Abbildung 2: spez. Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser in privaten Haushalten, witterungskorrigiert, eigene Ermittlung aus [7], [16], [23]

Abbildung 2 zeigt den witterungskorrigierten Endenergieverbrauch der privaten Haushalte zwischen 2008 und 2015 für die Raumwärme- und Trinkwarmwasserbereitstellung. Sichtbar wird eine Stagnation des Endenergieverbrauchs seit dem Jahr 2010.

Erfolgt die Auswertung des Endenergieverbrauchs auf Basis der EAV-Methodik (vgl. Kapitel 6), ist eine Differenzierung in Trinkwarmwasseraufwand, Aufwand für die Raumwärmebereitstellung sowie Verteil- und Erzeugerverluste möglich [21].

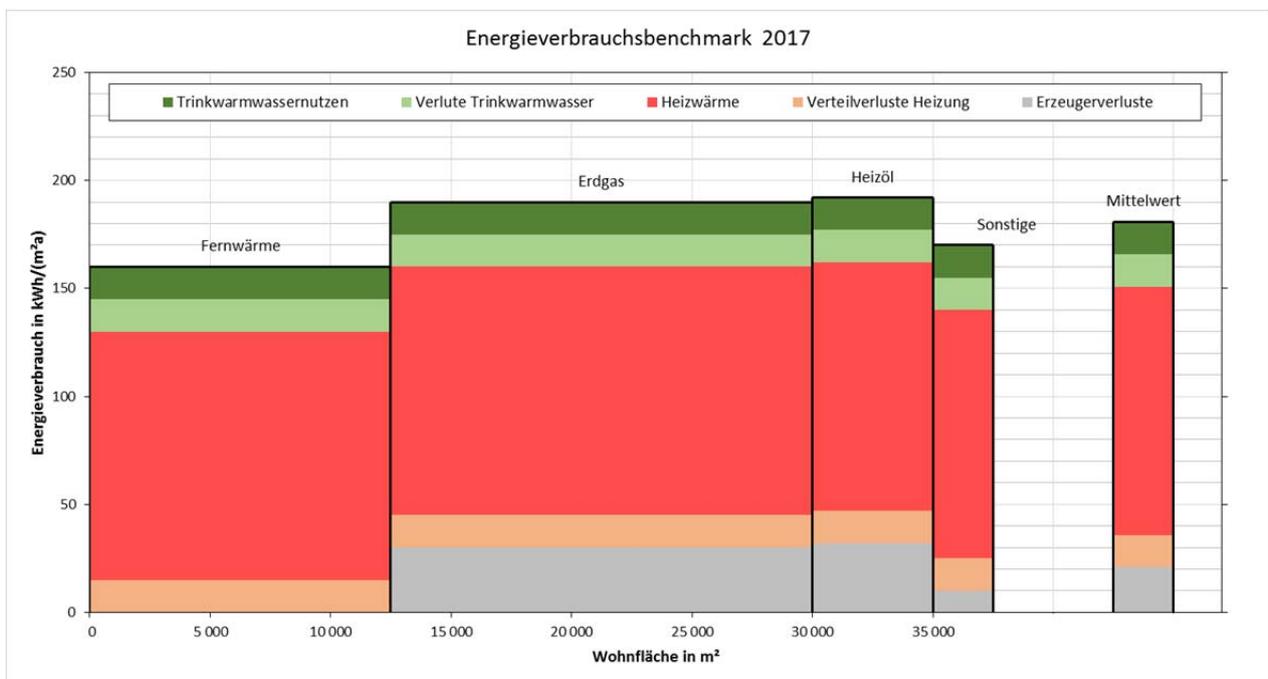


Abbildung 3: Beispiel: Bestandsanalyse spez. Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser

Wohnungsunternehmen können für ihren Bestand die derzeitigen Endenergiekennwerte nach Energieträgern ermitteln vgl. Abbildung 3. Unter Berücksichtigung von Effizienzmaßnahmen und Energieträgerwechsel lassen sich jährliche Zielwertverbesserungen festlegen.

5.1.3 Treibhausgasemissionen

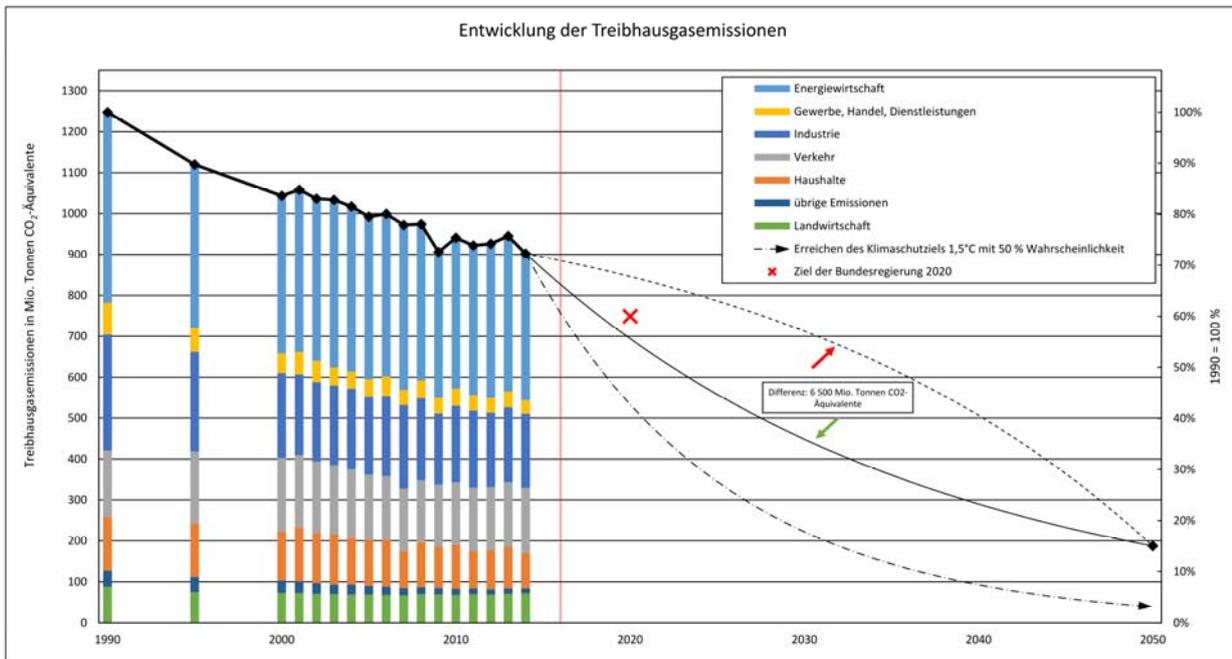


Abbildung 4: Entwicklung der Treibhausgasemissionen und Ausblick nach [20]

Die Bundesregierung strebt eine Senkung der CO₂-Emissionen an, die voraussichtlich nicht mehr zu erreichenden Zielemissionen für das Jahr 2020 sind in Abbildung 4 mit einem roten Kreuz markiert. Zwar ist seit den 1990er Jahren bis etwa 2009 eine regelmäßige Minderung der CO₂-Emissionen zu verzeichnen, jedoch ist für eine Zielerreichung eine deutliche Beschleunigung der Emissionsminderung notwendig. Selbiges gilt für die Begrenzung der Klimaveränderungen und deren Auswirkungen.

Als Indikator für die Klimawirkung eignen sich die Treibhausgas- bzw. CO₂-Emissionen zusammen mit den gemessenen Endenergieverbräuchen eines Gebäudes [22]. Denkbar wäre auch eine Bewertung der Umweltwirkung auf Basis von Primärenergie-Kennwerten, die die energetischen Aufwendungen für die Bereitstellung der jeweiligen Endenergie berücksichtigen. Aufgrund der hohen Klimarelevanz des Gebäudesektors, der allgemeinen Bekanntheit der Wirkung von Treibhausgasemissionen und der bereits vorhandenen Anwendung als Benchmark in der Wohnungswirtschaft [19] wird die Ausweisung von wohnflächenbezogenen CO₂-Emissionen vorgeschlagen. Grundlage der Berechnung bilden deutschlandweit nach GEMIS ermittelte einheitliche Emissionsfaktoren für alle eingesetzten Endenergien einschließlich Fernwärme, um überregionale Vergleiche zu ermöglichen.

5.1.4 Bewertungsmaßstäbe für Erneuerbare Versorgungsstrukturen

Erfolgsindikatoren für Anteile erneuerbarer Energiebereitstellung sollten im Hinblick auf die jeweilige „Energiewende“-Strategie des Wohnungsunternehmens individuell entwickelt werden. Je nach örtlichen Rahmenbedingungen wie z. B. der vorhandenen Infrastruktur, der städtebaulichen Dichte und vorhandenen Gebäudetypologien sowie der erreichbaren Gebäudeeffizienz ergeben sich gebäude- oder

quartiersbezogen unterschiedliche Lösungsansätze zur Einbindung erneuerbarer Erzeugung. Vorrangiges Ziel ist immer die Verminderung der CO₂-Emissionen. Nachfolgend sind einige Beispiele aufgeführt:

- Strombasierte erneuerbare Erzeugung: verstärkter Wärmepumpeneinsatz und PV-Stromerzeugung auf den Dächern
- Wärmenetz mit erneuerbarer Einspeisung und/oder industrieller Abwärmeeinspeisung
- Biomasse-Heizsysteme mit Einbeziehung von Solarwärme

Erfolgsmaßstäbe für die Einbindung der erneuerbaren Erzeugung sind immer der gemessene Nutzen an Endenergieeinsparung und CO₂-Minderung sowie die Gesamtkosten mit Berücksichtigung von Kapital-, Wartungs- bzw. Unterhaltungs- und Energiekosten.

Anhand der Beispiele Wärmepumpe, PV-Stromerzeugung am Gebäude und eine Biomasseheizung mit Solarwärmanlage werden mögliche Erfolgsindikatoren aufgeführt:

- Wärmepumpe: Falls für Gebäudebestände eine langfristige Umstellung auf Wärmepumpen sinnvoll ist, können Umstellpläne mit Zielzahlen entwickelt werden, die die Instandsetzungszyklen des Heizsystems, Mindeststandards für die Gebäudeeffizienz und weitere Systemvoraussetzungen wie z.B. Maximalwerte für die Vorlauftemperatur berücksichtigen. Erfolgsindikatoren: WP-Strom in kWh_{el}/(m²a), Jahresarbeitszahl, wohnflächenbezogene Energiekosten und zugehörige Betriebskosten für die Mieter
- PV-Stromerzeugung am Gebäude: Bestimmung der nutzbaren Dachfläche des Bestands, Erfolgsindikatoren: Solarertrag in kWh/a, Eigenverbrauch an PV-Strom, Kosten der erzeugten kWh
- Biomasse-Heizung mit Solarwärme: Dem Einsatz von Biomasse im Wärmesektor sind enge Grenzen gesetzt. Einerseits ist das verfügbare Biomasse-Kontingent angebotsseitig begrenzt, andererseits bestehen Nutzungskonkurrenzen zur Nahrungsmittelproduktion und stofflichen Nutzung von Biomasse sowie zur mittelfristigen energetischen Nutzung im industriellen Sektor. Nach [13] wird davon ausgegangen, dass für den Bereich der privaten und gewerblichen Wärmenutzung nicht von einer Steigerung der absoluten aus Biomasse bereitgestellten Energiemengen ausgegangen werden kann. Aufgrund der Feinstaubproblematik aber auch des zusätzlichen Verkehrsaufkommens für den Energieträgertransport erscheint ein Einsatz eher für Wohngebäude im ländlichen Bereich geeignet. Aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit von Biomasse wird ein Einsatz zu Heizzwecken nur in hocheffizienten Gebäuden als sinnvoll angesehen. Erfolgsindikatoren: Grenzwert für Biomasse: 20 kWh/(m²a) entsprechend dem Biomasse-Budget bei der Passivhaus-Bilanzierung [10], Mindestertrag Solarthermie in kWh/(m²a), wohnflächenbezogene Energiekosten und zugehörige Betriebskosten für die Mieter

Neben dem Flächenverbrauch der erneuerbaren Erzeugung stellt die nicht regelmäßige Verfügbarkeit der erneuerbaren Energien eine Herausforderung dar. Zusätzlich zu infrastrukturellen Maßnahmen sind somit Speicher notwendig. Hinsichtlich der Energiespeicherung existieren unterschiedliche Ansätze, so kann beispielsweise elektrische Energie direkt in Batteriesystemen eingespeichert werden, indirekt in Pumpspeicherkraftwerken oder als Wärme in Warmwasserspeichern (Power-to-Heat). Vorteilhaft ist eine Speicherung, welche möglichst geringe Verluste aufweist und gleichzeitig eine simple Weiterverwendung ermöglicht. Bezogen auf die Energieaufwendungen für die Gebäudebeheizung wäre damit begrenzt das Gebäude selber auch als Speicher denkbar. Handlungsempfehlungen zum Aufbau von Speicherkapazitäten in Wohngebäuden sind derzeit hieraus nicht ableitbar.

5.1.5 Wirtschaftlichkeit aus der Perspektive der beteiligten Akteure

Der Aufgabenschwerpunkt der beteiligten Wohnungsunternehmen aus Niedersachsen und Bremen liegt in der Vermietung von preisgünstigem Wohnraum. Die Geschäftsberichte für das Jahr 2015 weisen eine durchschnittliche Nettokaltmiete zwischen 5,23 €/m² und 5,99 €/m² aus und liegen damit deutlich unter den regionalen Mietspiegeln. Ein großer Teil der Mieterschaft insbesondere in bisher nicht modernisierten Beständen verfügt über niedrige Einkommen. Unter diesen Voraussetzungen ist der Spielraum für die Umlegung von energetisch bedingten Mehrkosten auf die Kaltmiete sehr begrenzt.

Nach § 559 BGB (z. Zt. 11 % -Umlage) lassen sich energetisch bedingte Modernisierungsinvestitionen als umlagefähige Modernisierungskosten auf die Kaltmiete umlegen. Bei der Berechnung von Mieterhöhungen muss Förderung zum Abzug gebracht werden [14]. In den Wohnungsbeständen der Kooperationspartner ist als wichtiges Kriterium die Sozialverträglichkeit der Modernisierungsmaßnahmen zu beachten. Aufgrund der niedrigen und stagnierenden Einkommen der Mieter ist annähernd Warmmietenneutralität anzustreben. Die Kaltmietenerhöhung ist in diesem Fall auf die Betriebskosteneinsparung insbesondere durch verringerte Energiekosten beschränkt. Die aktuellen Marktbedingungen mit steigenden Baukosten engen den Handlungsspielraum der Wohnungsunternehmen ein, da diese sich negativ auf die in der Wohnungswirtschaft übliche VOFI-Eigenkapitalrendite von 3,5 % auswirkt. Die nach dem Konzept vollständiger Finanzpläne errechnete durchschnittliche Rendite bildet alle mit der Investition verbundenen Zahlungen ab und bezieht diese auf das Ende des Betrachtungszeitraums [14].

Der steigende Anteil an Technikkosten mit kürzeren Lebensdauern an den Gesamtbaukosten macht aus Sicht der Wohnungswirtschaft eine Anhebung der linearen Abschreibungsrate von jährlich 2 auf 3 % erforderlich.

5.2 Vertragsmodelle der Energieversorgung in der Wohnungswirtschaft

Im vermieteten Geschosswohnungsbau werden Heizungsanlagen heutzutage überwiegend durch die Wohnungsunternehmen in Eigenregie betrieben, während die Versorgung der Mieter mit Strom bisher keinen Aufgabenschwerpunkt darstellt. Über das Kerngeschäft der Wohnraum-Vermietung hinaus entwickeln Wohnungsunternehmen zunehmend begleitende Dienstleistungen, die neben Serviceangeboten auch die Energieversorgung und sogar die Heizkostenabrechnung umfassen. Im Folgenden werden die bestehenden Vertragsmodelle der Energiebereitstellung mit ihren Vor- und Nachteilen vorgestellt.

5.2.1 Eigenversorgung mit Wärme versus Contracting-Modelle

Beim Eigenbetrieb von Wärmeerzeugungsanlagen investiert der Vermieter in die Wärmeerzeugungsanlage, kauft Energieträger ein und stellt die Wärme selbst her. Die mit der Wärmebereitstellung verbundenen Betriebskosten werden gemäß Betriebs- und Heizkostenverordnung auf die Mieter umgelegt. Die Kosten, die während der Nutzungsdauer zur Erhaltung des bestimmungsgemäßen Gebrauchs aufgewendet werden, gehören nicht zu den Betriebskosten (Instandhaltungs- und Instandsetzungskosten). Sie finden sich als Rücklage in der Kaltmiete wieder.

Bei Contracting werden je nach Modell die Finanzierung, die Errichtung und der Betrieb der Anlage durch einen Dritten, den Contractor oder Contracting-Geber, erbracht. Folgende Contracting-Arten werden nach DIN 8930 Teil 5 und [3] unterschieden:

Art	Leistungen Contractor	Vergütung	Anwendung [27]
Energieliefer-Contracting	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Finanzierung, Planung und Errichtung der Energieerzeugungsanlage oder deren Übernahme ▪ Betriebsführung ▪ Energieträgereinkauf und Nutzenergieverkauf ▪ Außerbetriebnahme 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grundpreis zur Anlagenfinanzierung ▪ Arbeitspreis für Nutzenergie-Abnahme ▪ Messpreis 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eignung für Bestands- und Neubauten ▪ am häufigsten genutztes Contracting-Modell in der Wohnungswirtschaft
Finanzierungs-Contracting	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Finanzierung, Planung und Errichtung der Energieerzeugungsanlage 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vergütung für Anlagenbereitstellung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eignung für Bestands- und Neubauten ▪ keine Anwendung in der Wohnungswirtschaft
Technisches Anlagenmanagement	<p>Technische Dienstleistung ohne Wärmeverkauf:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Betriebsführung: Betätigen, Überwachen, Störungsbehebung ▪ Instandhaltung: Inspektion, Wartung, Instandsetzung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pauschale oder Entgelt nach Aufwand (Material, Zeiteinsatz) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eignung für Bestands- und Neubauten ▪ verbreitete Anwendung in der Wohnungswirtschaft
Betriebsführungs-Contracting	<ul style="list-style-type: none"> ▪ entspricht Technischem Anlagenmanagement inkl. Wärmelieferung <p>Zulässig ab einem Jahresnutzungsgrad des Erzeugers von mindestens 80 %</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vergütung für Technisches Anlagenmanagement ▪ Arbeitspreis ▪ Messpreis 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eignung für Bestandsanlagen oder bei Eigeninvestitionen durch den Eigentümer ▪ verbreitete Anwendung in der Wohnungswirtschaft
Einspar-Contracting	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ist-Analyse und Feststellung von Einsparpotenzialen ▪ Aufstellen eines Energiekonzepts ▪ Finanzierung und Umsetzung von Energiesparmaßnahmen ▪ Planung und Errichtung von Anlagen ▪ Betriebsführung ▪ Nutzereinbindung und -schulung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ abhängig von der erzielten Einsparung im Verhältnis zum Referenzniveau (Baseline) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ausschließlich in Bestandsbauten mit Mindest-Einsparpotenzial möglich ▪ im Wohnungsbau bisher eher unüblich

Abbildung 5: Contracting-Modelle im Überblick

Die prozentuale Verteilung der verschiedenen Contracting-Formen nach den Zahlen des Verbandes für Wärmelieferung zeigt Abbildung 6. Das Technische Anlagenmanagement entspricht in dieser Darstellung dem Betriebsführungs-Contracting.

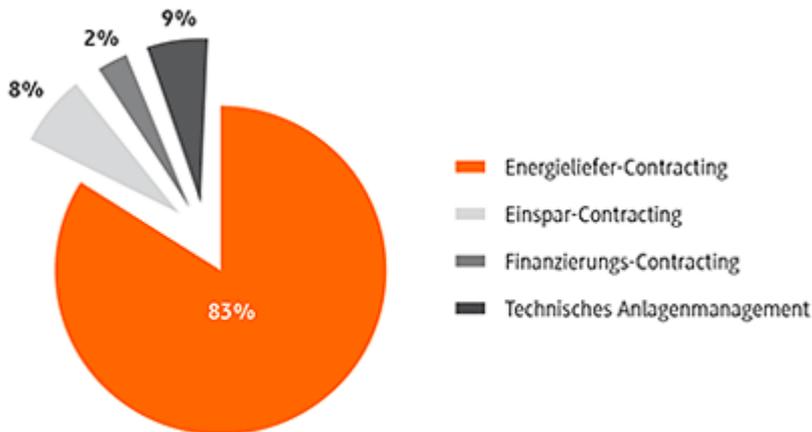


Abbildung 6: Prozentuale Verteilung der Contracting-Formen des VfW in 2016 [28]

Einspar-Contracting und Finanzierungs-Contracting sind in der Wohnungswirtschaft bisher kaum verbreitet. Diese finden Anwendung bei Großanlagen z. B. Industrie und Kliniken. Wohnungsunternehmen nutzen zur Versorgung ihrer Liegenschaften vornehmlich Wärmeliefer-Contracting und Betriebsführungs-Contracting bei Alt-Anlagen.

Nach einer 2016 durchgeführten Befragung des BDEW nutzen 39 % der professionell-gewerblichen Wohnungsanbieter Contracting-Modelle [4]. Sowohl die Nutzer als auch Nicht-Nutzer von Contracting-Modellen begründen ihre Entscheidung vornehmlich mit Kostenargumenten. Nutzer von Contracting-Modellen nennen als Hauptgrund wegfallende Investitionskosten und Kosteneinsparungen, während Nichtnutzer zu hohe Kosten aufgrund der Rendite-Erwartung des Contractors als Hauptgrund für den Verzicht auf Contracting-Modelle anführen.

Die Frage der Wirtschaftlichkeit kann immer nur auf Basis von Vollkosten-Vergleichen mit Berücksichtigung von Personaleinsatz und Risiken getroffen werden. Aus dem Blickwinkel der Vertragspartner Wohnungsunternehmen, Contractor und Mieter ergeben sich beim Wärmeliefer-Contracting folgende Gesichtspunkte:

Wohnungsunternehmen

Chancen und Risiken für Wohnungsunternehmen im Überblick:

Vorteile:

- Contracting-Nehmer nutzen den Kompetenzvorsprung des Contractors in der Anlagenplanung und –betrieb.
- Die Verlagerung auf Experten ermöglicht Einkaufsvorteile für Energieträger und Technikkomponenten.
- Technische und wirtschaftliche Risiken werden vom Contractor übernommen.
- Entlastung von Kapitaleinsatz
- Umsetzung von Energie- und CO₂-Einsparung
- Entlastung von Aufgaben, für die keine Arbeitskapazitäten im Unternehmen vorhanden sind.

Nachteile:

- Langfristige Vertragsbindung senkt die Flexibilität.
- Abhängigkeit vom Contractor, kein Kompetenzaufbau im eigenen Unternehmen
- Vertragliche Bindung kann Energiesparmaßnahmen in anderen Bereichen behindern.
- Rendite-Erwartung des Contractors

Contractor

Das Geschäftsmodell Wärmeliefer-Contracting umfasst mit der Planung, Errichtung, Betrieb und ggf. Rückbau von Wärmeerzeugungsanlagen den gesamten Lebenszyklus. Wirtschaftliche Auslegungen und ein effektives Anlagen-Monitoring in der Nutzungsphase werden durch diese Vertragsform begünstigt. Betreuen Contractoren eine Vielzahl von Anlagen, ermöglicht das Quervergleiche und günstige Einkaufspreise. Die Risiken sind vor allem in der Kapitalintensität des Geschäftsmodells zu sehen. Contracting-Unternehmen tätigen hohe Investitionen und übernehmen technische Risiken bei Errichtung und Betrieb.

Mieter

Chancen und Risiken für Mieter im Überblick:

Vorteil:

- Mieter kann von Effizienzsteigerungen im Anlagenbetrieb profitieren und ist gleichzeitig durch das Gebot der Kostenneutralität vor Preissteigerungen geschützt.

Nachteil:

- Vertragliche Bindung des Wohnungsunternehmens kann Energiesparmaßnahmen in anderen Bereichen nach den Wärmemengenzählern zur Abrechnung behindern.
- Liefergrenzen und Schnittstellen können eine ganzheitliche Optimierung der Heizungsanlage behindern.

Im Falle der Umstellung von Eigenbetrieb auf Wärmelieferung gilt nach Wärmelieferverordnung für Mieter das Gebot der Kostenneutralität. Die Kosten der Wärmelieferung dürfen die Kosten der bisherigen Eigenversorgung mit Wärme oder Warmwasser nicht übersteigen. Um die Bedingung der Betriebskostenneutralität einzuhalten, muss der Wärmelieferant durch die Erneuerung und den

effizienteren Betrieb der Heizungsanlage Brennstoffkosten in nennenswertem Umfang einsparen, damit er finanziellen Spielraum gewinnt, um die Investition in die Heizungsanlage aus den unverändert bleibenden Heizkosten finanzieren zu können. Gelingt das nicht, muss der Vermieter auf die Umstellung auf Wärmelieferung verzichten oder dem Wärmelieferanten einen Teil der Investitionen als Investitionskostenzuschuss erstatten.

Mit der Umstellung wird der Abrechnungspunkt von der Brennstoffmenge auf die vom Wärmeerzeuger gelieferte Nutzwärmemenge verschoben, sodass für den Nachweis der Kostenneutralität der Jahresnutzungsgrad des alten Wärmeerzeugers entscheidend ist. Angesichts der starken Streuung der Jahresnutzungsgrade von Heizungsanlagen (siehe Ergebnisse Kapitel 7.4.1) sollte die Ermittlung der Kostenneutralität immer auf Basis einer unterjährigen Messung der zugeführten Brennstoffmenge und der abgegebenen Wärmemenge über mindestens ein Jahr erfolgen [31].

5.2.2 Mieterstrom

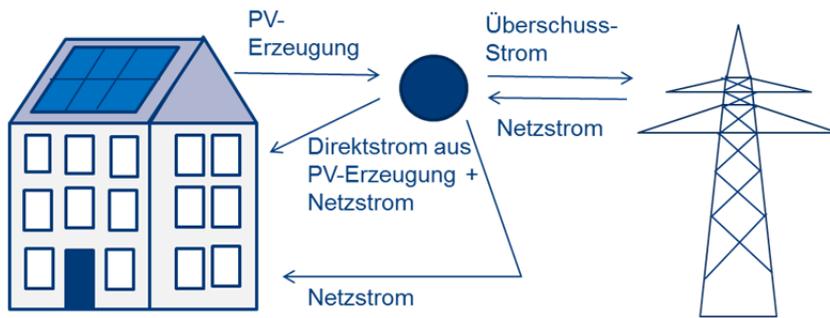
Die Versorgung von Mietern mit Strom gehört bisher nicht zum Kerngeschäft von Wohnungsunternehmen. Im Rahmen von Pionierprojekten der Wohnungswirtschaft wurden jedoch erste Erfahrungen gesammelt und der ordnungsrechtliche Rahmen durch das seit 25.07.2017 in Kraft getretene Mieterstromgesetz verbessert. Daher ist in den nächsten Jahren zu erwarten, dass Wohnungsunternehmen verstärkt Projekte umsetzen.

Nach [17] weist Mieterstrom folgende Merkmale auf:

- Dezentrale Erzeugung von Strom, entweder regenerativ oder mit hoher Effizienz in Blockheizkraftwerken
- Die Erzeugungsanlage befindet sich im Gebäude oder auf dem Gelände.
- Zwischen der Erzeugungsanlage und den Kunden besteht ein räumlicher Zusammenhang.
- Der Strom wird ohne die Nutzung der Netze der allgemeinen Versorgung über eine Kundenanlage an die Mieter geliefert.

Das Mieterstromgesetz setzt für PV-Anlagen einen neuen Förderanreiz, den sogenannten Mieterstromzuschlag. Dieser wird vergütet für PV-Anlagen mit einer Leistung von bis zu 100 kWp und beträgt abhängig von der Anlagengröße aktuell 3,7 bis 2,11 Cent je kWh. Der Zuschlag wird 20 Jahre für Strom gezahlt, der in dem Wohngebäude, auf dem sich die PV-Anlage befindet, oder im räumlichen Zusammenhang in einem anderen Wohngebäude oder einer Nebenanlage dazu verbraucht wird vgl. Abbildung 7. Der an die Mieter gelieferte Mischstrom darf 90 Prozent des Grundversorgungstarifs im Netzgebiet nicht übersteigen [5].

Als Mieterstromanbieter kommen sowohl der Betreiber der PV-Anlage als auch ein Dritter in Betracht. Beliefert der Betreiber seinen Nutzer neben PV-Direktstrom auch mit dem zur Vollversorgung benötigtem Netzstrom, wird er zum Stromlieferanten und damit zum Energieversorgungsunternehmen im Sinne des Energiewirtschaftsgesetzes. Alternativ kann der PV-Anlagenbetreiber den Strom aus der PV-Anlage an einen Dritten abgeben und dieser bietet das Mieterstromprodukt den Verbrauchern vor Ort an [5].



Mieterstromzuschlag von aktuell 3,7 bis 2,11 Ct/kWh wird 20 Jahre vergütet für Direktstrom.

Abbildung 7: Prinzip Mieterstrom

Bei Mieterstrom entfallen Kostenbestandteile wie Netzentgelte, netzseitige Umlagen, Stromsteuer und Konzessionsabgaben. Abbildung 8 zeigt die Kostenzusammensetzung für Haushaltsstrom. Im Mai 2017 kostete Strom für übliche Haushaltskunden durchschnittlich 29 Cent brutto je Kilowattstunde, davon betragen die Positionen Netzentgelte, netzseitige Umlagen, Stromsteuer und Konzessionsabgabe rund 12 Cent.

Auf der anderen Seite muss für die Anbieter von Mieterstrom-Modellen ein hoher Zeit- und Kostenaufwand für Abrechnung, Vertrieb und Messungen berücksichtigt werden.

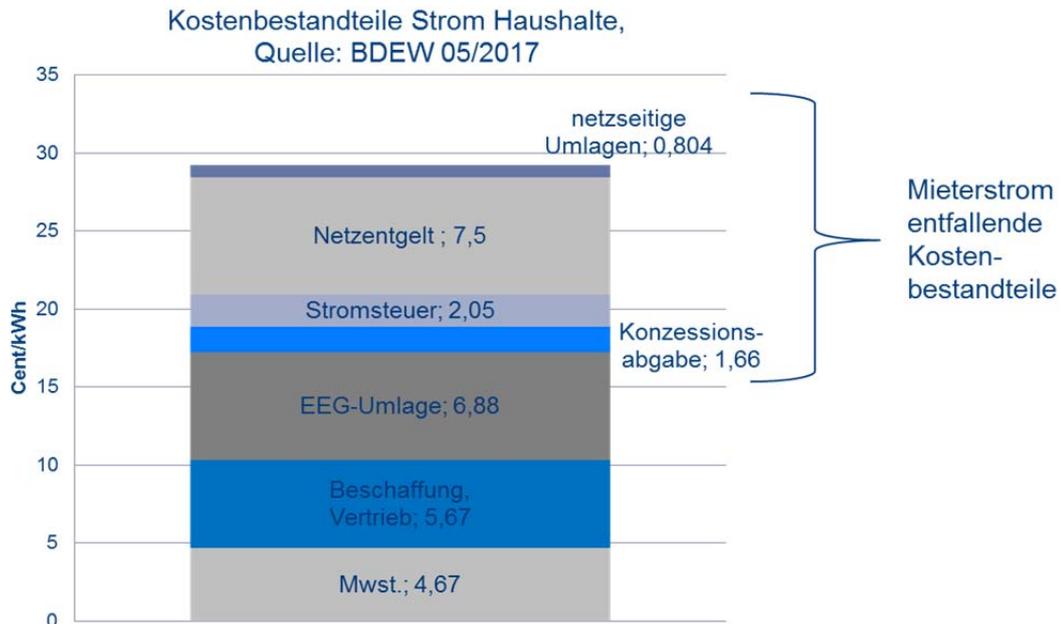


Abbildung 8: Kostenbestandteile Strom Haushalte, Quelle BDEW 05/2017

5.2.3 Vertragserfahrungen bei den beteiligten Wohnungsunternehmen

Als Tochter-Unternehmen von Wohnungsunternehmen betreiben HANOVA Wärmecontracting und GEWOBA-Energie Wärmeliefer-Contracting. Nibelungen Wohnbau managt ihre Heizzentralen hauptsächlich im Eigenbetrieb.

In Hildesheim sind das Wohnungsunternehmen gbg und der regionale Energieversorger EVI zur stufenweisen Modernisierung der Energieversorgung einen Kooperationsvertrag eingegangen. Dieser sieht die Übernahme der Bestandsnetze von der gbg durch die EVI, die Installation eines BHKWs, die schrittweise Reduzierung der Netztemperaturen und optional die spätere Einbindung von Solarwärme vor. Damit die Netztemperaturen verringert werden können, muss der Wärmebedarf des Quartiers schrittweise reduziert werden. Die Erfahrungen zum Wärmenetzbetrieb und zur sekundärseitigen Absenkung der Rücklauftemperaturen in den Pilotprojekten der Ehrlicherstr. werden im DBU-Folgeprojekt ausgewertet werden.

Wärme-Contracting

HANOVA Wärmecontracting und GEWOBA Energie betreiben als Tochter-Unternehmen von Wohnungsunternehmen zahlreiche Energiezentralen und beliefern vornehmlich ihre Mutter-Unternehmen mit Wärme und ggf. Strom. Grundsätzlich besteht beim Wärmeliefer-Contracting ein Schnittstellen-Problem: Ein in der Regel direkt nach dem Erzeuger installierter Wärmemengenzähler stellt die Liefergrenze und gleichzeitig den Verantwortungsbereich des Wärmelieferanten dar. Für die Heizkörperausrüstung inkl. Thermostatventile ist dagegen das Wohnungsunternehmen verantwortlich. In der Praxis findet häufig kein hydraulischer Abgleich der Heizungsanlage durch Voreinstellung der Heizkörperventile in den Wohnungen statt, sondern es werden lediglich die Strangreguliertventile abgeglichen. Die energetische Optimierung der gesamten Heizungsanlage bzw. des Gesamtgebäudes stehen dann nicht mehr im Mittelpunkt des Interesses, sondern der jeweilige Aufgabenbereich des einzelnen. Darüber hinaus fehlen Anreize beim Wärmelieferanten zur Reduzierung der Wärmeabnahme. Es besteht ein Interessenkonflikt: Der Contractor profitiert vom Wärmeverkauf, der Mieter von der Heizungsoptimierung.

Mögliche Lösungsansätze sind:

- Contractor und Wohnungsunternehmen vereinbaren zukünftig ein Einspar-Contracting, bei dem die Einsparung von Endenergie oder das Einhalten eines maximalen Verbrauchs-Kennwertes bei der Heizungserneuerung im Mittelpunkt steht. Wird mehr verbraucht als der Ziel-Kennwert, sinkt die vereinbarte Vergütung, bei Minderverbrauch steigt die Vergütung. Der Contractor kann durch eine qualitätsgesicherte Anlagenplanung und –ausführung, günstigen Brennstoffeinkauf und optimale Betriebsführung die Einhaltung der Zielwerte zu seinen Gunsten beeinflussen, zusätzlich muss ein Anreiz für sparsames Nutzerverhalten gegeben sein. Zum Beispiel kann ein Pauschalpreis bis zu einem witterungsabhängigen Verbrauchs-Grenzwert vereinbart werden, darüber hinaus gehender Mehrverbrauch wird zusätzlich in Rechnung gestellt. Eine Alternative ist eine Prämie, die bei Minderverbrauch vergütet wird. Pauschalpreise für die Wärme werden insbesondere bei Passivhaus-Projekten vereinbart. Die Evaluierung eines Frankfurter Beispiels durch das Institut für Wohnen und Umwelt deutet darauf hin, dass ein Warmmietpreis „ohne Limit“ insbesondere zu einem Mehrverbrauch an Trinkwarmwasser führen kann [17].
- Verbesserung der Kooperation von Contractor und Wohnungsunternehmen durch Klärung der Prozessabläufe mit Verantwortlichkeiten, Aufgaben und Arbeitsschritten. Diese Möglichkeit ist insbesondere bei Contracting-Töchtern im Besitz von Wohnungsunternehmen gegeben. Bei Anbietern von kostengünstigem Wohnraum liegen bezahlbare Warmmieten im Gesamtinteresse des Unternehmens. Klimaschutzmaßnahmen mit geringen Kosten der eingesparten Kilowattstunde wie die Optimierung der Heizungsanlage können auch bei den aktuellen Rahmenbedingungen wirtschaftlich umgesetzt werden.

Bei Neubauten ist die Beteiligung der Contractoren bei der anlagentechnischen Systemfindung essentiell. TGA-Planungsteams besitzen in der Regel kaum Erfahrungen, wie sich ihre Anlagenkonzepte in der Praxis bewähren. Das Feedback aus dem Betrieb muss zukünftig verstärkt genutzt werden, um zu komplexe Anlagen mit hohem Ausfallrisiko zu vermeiden.

Mieterstrom-Modell

GEWOBA Energie wird die Stromerzeugung ihrer BHKW-Anlagen im Mieterstrom-Modell vermarkten. Allerdings liegen zum Zeitpunkt der Berichtserstellung noch keine ausreichenden Erfahrungen vor. Im DBU-Folgeprojekt möchte der neue Projektpartner, die Baugenossenschaft Bergedorf-Bille, für zwei Bestandsquartiere PV-Erzeugung auf den Dächern und die Vermarktung im Mieterstrom-Modell untersuchen lassen.

6 Methodik der Energieanalyse aus dem Verbrauch

Die Energieanalyse aus dem Verbrauch (EAV) bezeichnet die energetische Bewertung von Gebäuden (Gebäude-EAV) und Erzeugern (Erzeuger-EAV) auf Basis im Zeitintervall gemessener Verbräuche. Die Messwerte sollten möglichst ein Jahr umfassen und im monatlichen Zeitintervall oder kürzer vorliegen.

Das Verfahren bewertet die Effizienz von Gebäuden und der Energiebereitstellung sowie das Nutzerverhalten im Realbetrieb. Anders als bei Bedarfs- oder bei Prüfstands-Kennwerten wird keine Normnutzung zugrunde gelegt, sondern Gebäude und Technologien werden einem Praxistest unterzogen und tatsächliche Einsparpotentiale gegenüber Best-Practice-Beispielen ermittelt.

Zur Bestimmung von Gebäude-Heizlast (DIN EN 12831 BBl. 2) sowie zur energetischen Gebäudebewertung (Verfahren DIN V 18599 BBl. 1 und VDI-Richtlinie 3807 Bl. 5) ist das Verfahren bereits in die Normung integriert, wird in der Praxis aber noch wenig bis gar nicht angewandt. Bisher ist die Methodik nur wenigen Fachleuten bekannt und das Interesse von Herstellern, Industrie und Handwerk an einer Erfolgskontrolle energetischer Modernisierungsmaßnahmen ist nicht ausgeprägt [30]. Mit der fortschreitenden Installation digitaler Zähler und der Möglichkeit der Datenfernauslesung stehen jedoch in zunehmendem Maße Verbrauchsdaten zur Verfügung, die zu Analysezwecken nutzbar sind und realistische Einschätzungen zu den Energieverbräuchen und CO₂-Emissionen im Gebäudesektor ermöglichen.

In den folgenden Unterkapiteln wird die EAV-Methodik mit der klassischen Energiebedarfsberechnung verglichen sowie die Kennwerte und die erforderlichen Arbeitsschritte zum Aufstellen von Gebäude- und Erzeuger-EAVs erläutert.

6.1 Methodenvergleich: EAV und klassische Energiebedarfsberechnung

Die etablierte Methode der energetischen Gebäudebewertung ist das Aufstellen von Energiebilanzen unter Zugrundelegung einer sogenannten Normnutzung. Dazu wird ein normiertes Nutzungsverhalten angenommen, das Pauschalwerte für Innentemperaturen, Luftwechselrate, innere Wärmequellen und anlagentechnische Parameter berücksichtigt. Diese Ansätze beinhalten ein vorbildlich „ideales“ Nutzer- und Regelverhalten sowie Prüfstandswerte der eingesetzten technischen Komponenten, die den tatsächlichen Betrieb oft zu vorteilhaft abbilden.

Im Gegensatz dazu zeigt die EAV den Realbetrieb und macht damit Qualitätsmängel und Fehlfunktionen sichtbar: So können Technologien identifiziert werden, die überdurchschnittlich häufig ungünstige Kennwerte aufweisen. Als maßgebende Bewertungsgröße werden die tatsächlich umgesetzten endenergetischen Einsparungen in den Mittelpunkt der Betrachtung gestellt. Grundsätzlich könnten auch die Vorgaben des geplanten Gebäudeenergiegesetzes (GEG) mit Hilfe der EAV vereinfacht werden, indem mittels EAV überprüfbare Anforderungswerte (z. B. wohnflächenbezogener h-Wert, Systemnutzungsgrade, Endenergie-Kennwerte) formuliert werden. Nachteil der EAV-Methode ist, dass die Analyse erst zeitversetzt nach Vorliegen von Verbrauchskennwerten erfolgen kann. Im Rahmen üblicher Gewährleistungsfristen im Bauwesen ist die Auswertbarkeit jedoch möglich.

Das Auswerten von Verbrauchsdaten ist mit deutlich verringertem Zeitaufwand durchführbar als das Aufstellen von Energiebilanzen z. B. nach geltender Energieeinsparverordnung. Der Kostenaufwand für die Installation von Messtechnik und das Auslesen von Zählerdaten muss jedoch je nach Messkonzept mit in die Bewertung einbezogen werden. Ziel der Entwicklung sollte eine standardisierte Integration von

Wärmemengenzählern nach jedem Wärmeerzeuger im Zuge der Fertigung sein. Die Mehrkosten für diese Messtechnik bei heutigem Preisstand werden auf nur 60 bis 100 € je Wärmeerzeuger geschätzt [32].

	EAV	Klassische Energiebedarfsberechnung
Methode	Energetische Gebäude- und Erzeugerbewertung im Realbetrieb auf Basis im Zeitintervall gemessener Verbräuche	Aufstellen einer Energiebilanz mit normierten Nutzereinflüssen und Anlagenparametern
Kennwerte	<u>Gebäude-EAV</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Wohnflächen-bezogene Heizsteigung als Maßstab für die Gebäudeeffizienz ▪ Heizgrenze ▪ Grundlast <u>Erzeuger-EAV</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Systemnutzungsgrad ▪ realer Kesselwirkungsgrad ▪ reale Bereitschaftsverluste 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wärmedurchgangskoeffizienten ▪ Spezifischer Transmissionswärmeverlust ▪ Nutzwärmebedarf ▪ Endenergiebedarf ▪ Primärenergiebedarf
Aufwand	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aufstellen Messkonzept ▪ Installation Messtechnik ▪ Auslesen und Auswerten von Zählerdaten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Flächen- und Volumenerhebung ▪ Ermittlung Bauteilkennwerte und Luftdichtheit ▪ Erfassung Gebäudetechnik ▪ Aufstellen Energiebilanz
Schwäche	<ul style="list-style-type: none"> ▪ EAV-Auswertungen sind nur rückblickend möglich ▪ Gefahr von Fehlinterpretationen, z. B. durch außergewöhnliches Nutzerverhalten. ▪ evtl. Kosten für zusätzliche Messtechnik und Abhängigkeit vom fehlerfreien Betrieb der Messtechnik 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Überdurchschnittliche Abweichungen von Energiebedarfskennwerten zu Verbrauchskennwerten durch zu optimistische Ansätze beim Nutzer- und Regel-Verhalten ▪ Hoher Zeitaufwand für das Aufstellen von Energiebilanzen ▪ Bei Bestandsgebäuden schränken unzureichende Planunterlagen und unbekannte Bauteilaufbauten die Genauigkeit der Berechnung ein.
Stärke	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verbrauchs- und CO₂-Einsparungen im Realbetrieb werden als maßgebliche Bewertungsgröße gemessen. ▪ Identifikation von Systemen, die sich in der Nutzungsphase nicht bewähren 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ eindeutig nutzerunabhängige Bewertung ▪ Methode zur Abbildung von bisher nicht gebauten Systemen

Abbildung 9: Vergleich EAV und Energiebedarfskennwerte

6.2 Gebäude-EAV (= Fingerabdruck Gebäude)

6.2.1 Grundlagen

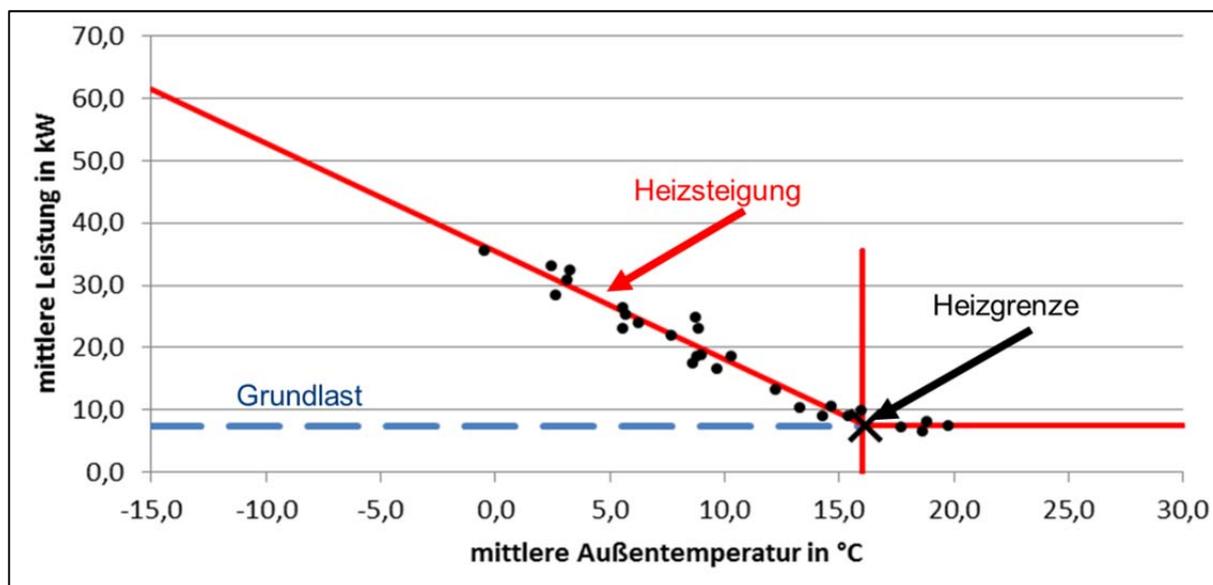


Abbildung 10 Grundbegriffe Gebäude-EAV

Monatliche oder wöchentliche Wärmemengenzählerwerte nach dem Erzeuger werden als mittlere Leistungswerte über der zugehörigen mittleren Außentemperatur im Messzeitraum aufgetragen. Aus den Messpunkten ergibt sich der „Fingerabdruck des Gebäudes“ mit drei charakteristischen Eigenschaften:

- Die Grundlast ergibt sich aus Messpunkten, die unabhängig von der Witterung sind (Sommerpunkte). Neben der Nutzenergie für Trinkwarmwasser sind je nach Messstelle auch ganzjährige Verluste (Zirkulation, Speicherung, Verteilung Trinkwarmwasser, Sommerheizung) enthalten. Anteile dieser weitgehend konstanten Wärmeeinträge z. B. durch Trinkwasserzirkulationssysteme werden während der Heizperiode in beheizten Räumen zur Abdeckung des Wärmebedarfs genutzt.
- Die Heizsteigung (Wärmeverlustkoeffizient) stellt ein Maß für die Gebäudeeffizienz inklusive Nutzereinfluss (Lüftungsverhalten) dar und wird aus den Messpunkten der Heizperiode ermittelt (Winterpunkte). Neben Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten sind nicht nutzbare, lastabhängige Heizverteilverluste im unbeheizten Bereich zwischen Wärmemengenzähler und dem beheizten Bereich enthalten. Als charakteristische Kenngröße lässt sich der reale Wärmeverlustkoeffizient als Eigenschaft des Gebäudes und der Nutzung mit Werten aus Bedarfsrechnungen vergleichen. Wird die Heizsteigung auf die beheizte Wohnfläche (h -Wert) 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

- Die individuelle Heizgrenztemperatur ergibt sich aus dem Schnittpunkt der Wintergeraden mit der sommerlichen Grundlast und ist stark durch Nutzereinflüsse sowie in sehr gut gedämmten Gebäuden durch Wärmeeinträge der Verteilnetze und der gebäudeinternen Speicher geprägt. Typische Werte liegen zwischen 14 und 19 °C, bei Passivhäusern liegen die Werte in der Regel

bei 12 bis 13 °C. Hohe Heizgrenztemperaturen deuten auf überdurchschnittliche Innentemperaturen und auf zu hohen unregelmäßigen Eintrag von Wärme aus gebäudeinternen, nicht ausreichend gedämmten Verteilnetzen hin.

Durch Multiplikation des h-Wertes mit der Temperaturdifferenz aus Heizgrenztemperatur und mittlerer Außentemperatur während der Heizperiode und der Dauer der Heizperiode (Heizgradstunden nach VDI 3807-Teil 1) lässt sich mit wenig Aufwand ein witterungsunabhängiger Heizwärmebedarf ermitteln:

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

mit

q_h	Heizwärmebedarf in kWh/(m ² a)
h	wohnflächenbezogene Heizsteigung in W/(m ² Wfl. K)
t_{HG}	Heizgrenztemperatur in °C
$t_{A,HP}$	mittl. Außentemperatur in der Heizperiode in °C
d_{HP}	Länge der Heizperiode in h

6.2.2 Anleitung Gebäude-EAV

Auf der Internetseite www.delta-q.de steht in der Rubrik „Energiebilanz & Beratung“ ein Excel-Tool für die EAV-Erstellung zur Verfügung:

http://www.delta-q.de/cms/de/archiv_veroeffentlichungen/energiebilanz_beratung.html#Verbrauchsbereinigung

Eingabe Messdaten

Im Allgemeinen werden zur Erstellung von Gebäude-EAVs Messdaten von direkt nach dem Erzeuger installierten Wärmemengenzählern genutzt, die sowohl die Nutzwärme für Raumheizung und ggf. Trinkwarmwasserbereitung als auch Verteil- und Speicherverluste des Heizsystems umfassen. Als Messintervall haben sich wöchentliche oder monatliche Zählerstände bewährt, aus denen jeweils die Wärmeabnahme im Zeitraum zwischen den Ablesungen ermittelt wird. Im DBU-Folgeprojekt soll zusätzlich untersucht werden, inwieweit kürzere Messintervalle die Ergebnisse beeinflussen und die Aussagekraft erhöhen.

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

ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC/observations_germany/climate/daily/kl/recent/

Als zukünftige Entwicklung ist denkbar, dass auch Solarstrahlungsdaten z. B. über einen Korrekturfaktor auf die Außentemperatur in die Auswertung einbezogen werden könnten, hierzu besteht jedoch noch Forschungsbedarf.

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	
28.10.2016	276.376	28.10.2016	30.11.2016	34		5,2	17151	21,0
01.12.2016	293.527	01.12.2016	03.01.2017	34		3,9	19690	24,1
04.01.2017	313.217	04.01.2017	01.02.2017	29		0,1	20685	29,7
02.02.2017	333.902	02.02.2017	01.03.2017	28		3,7	16830	25,0
02.03.2017	350.732	02.03.2017	02.04.2017	32		8,4	13050	17,0
03.04.2017	363.782	03.04.2017	01.05.2017	29		7,6	10973	15,8
02.05.2017	374.755	02.05.2017	11.06.2017	41		15,5	8067	8,2
12.06.2017	382.822	12.06.2017	13.06.2017	2		16,5	240	5,0
14.06.2017	383.062	14.06.2017		0				

Datum	Temperatur
20.05.2017	14,2
21.05.2017	14,5
22.05.2017	16,1
23.05.2017	17,4
24.05.2017	13,8
25.05.2017	14,4
26.05.2017	18

Eingabe Datum und Zählerstand WMZ

Verbrauchsergebnis als Wärmemenge und mittlere Leistung

Lufttemperatur aus regionalen Wetterdaten

Abbildung 11 Ein- und Ausgabedaten EAV

Bestimmung der Regressionsgeraden

Nach Auftragen der Messpunkte im kartesischen Koordinatensystem mit der Abszisse „Außentemperatur“ und der Ordinate „mittlere Leistung“ werden aus diesen Regressionsgeraden für Heizsteigung und Grundlast bestimmt. Hierzu ist festzulegen, welche Messpunkte in die Auswertung einbezogen werden. Abbildung 12 zeigt eine Gebäude-EAV, deren Heizsteigung aus Messpunkten mit einer mittleren Außentemperatur kleiner 12 °C ermittelt ist, während die Grundlast aus zwei Messpunkten bei einer mittleren Außentemperatur größer 18 °C berechnet ist. Messpunkte zwischen 12 und 18 °C bleiben in dieser Auswertung unberücksichtigt. Die Auswertung zeigt, dass die nicht einbezogenen Messpunkte über der Heizgeraden und der Grundlast liegen, ein Indiz für Sommerheizung. Würden diese Punkte zur Berechnung der Regressionsgeraden berücksichtigt, würde sich die Heizgrenze erhöhen und die Heizsteigung reduzieren.

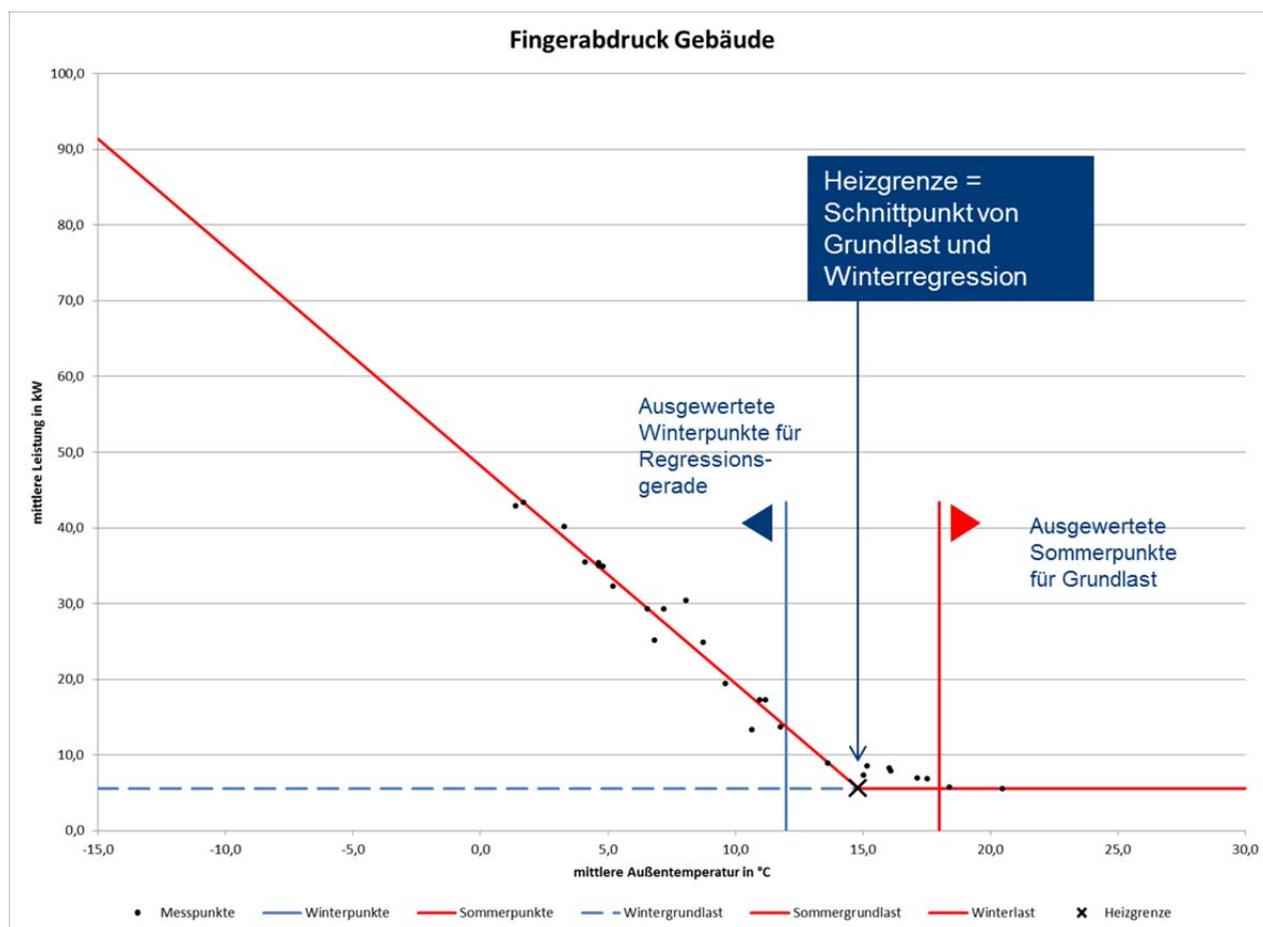


Abbildung 12 Gebäude-EAV: Regressionsgerade Heizsteigerung aus Winterpunkten unter 12 °C und Grundlast aus Messpunkten über 18 °C

Seit dem 1. Januar 2014 ist nach § 9 Heizkostenverordnung der Wärmeverbrauch zur Trinkwarmwasserbereitung in Mehrfamilienhäusern mit zentraler Warmwasserbereitung mit einem separaten Wärmemengenzähler zu erfassen. Üblicherweise wird der Zähler zwischen Kessel und Speicher in die Speicherladeleitung eingebaut. Ausnahmen von der Nachrüstpflicht für Wärmemengenzähler gelten bei wirtschaftlicher Unzumutbarkeit, z. B. bei Kompaktgeräten mit integriertem Speicher oder wenn der Zählereinbau größere bauliche Änderungen erfordert. Ein Wärmemengenzähler für den Heizkreis ist verordnungsrechtlich bisher nicht gefordert, aber in den Beständen der Wohnungswirtschaft inzwischen häufig anzutreffen.

Die getrennte Zählerauswertung ist für Mehrfamilienhäuser empfehlenswert, da eine Wärmeabnahme des Heizstrangs außerhalb der Heizperiode so eindeutig belegbar ist, siehe Abbildung 13. Die Regressionsgerade ist im Beispiel für mittlere Außentemperaturen unter 16,5 °C ermittelt. Darüber finden nur sehr geringe Wärmeabnahmen statt. Solche Messpunkte sind bei der EAV-Aufstellung zu vernachlässigen, damit die Regressionsberechnung hierdurch nicht beeinflusst wird. In dieser Darstellung ist die Heizgrenze der Regressionsgeraden bei 0 kW Wärmeabnahme ablesbar.

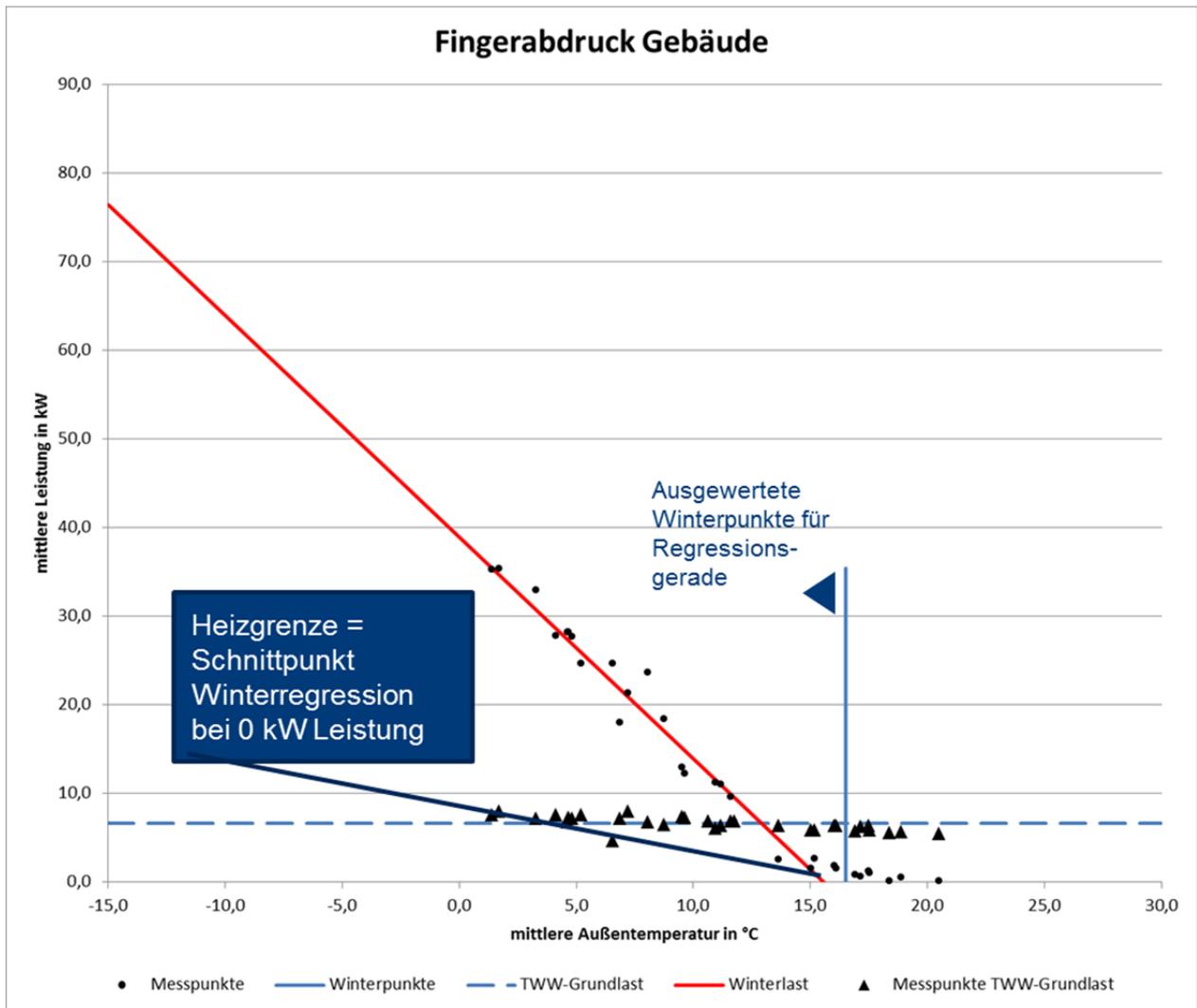


Abbildung 13 Gebäude-EAV: getrennte Auswertung Wärmemengenzähler Trinkwarmwasser und Heizstrang

6.3 Erzeuger-EAV (= Fingerabdruck Erzeuger)

6.3.1 Grundbegriffe Heizkessel

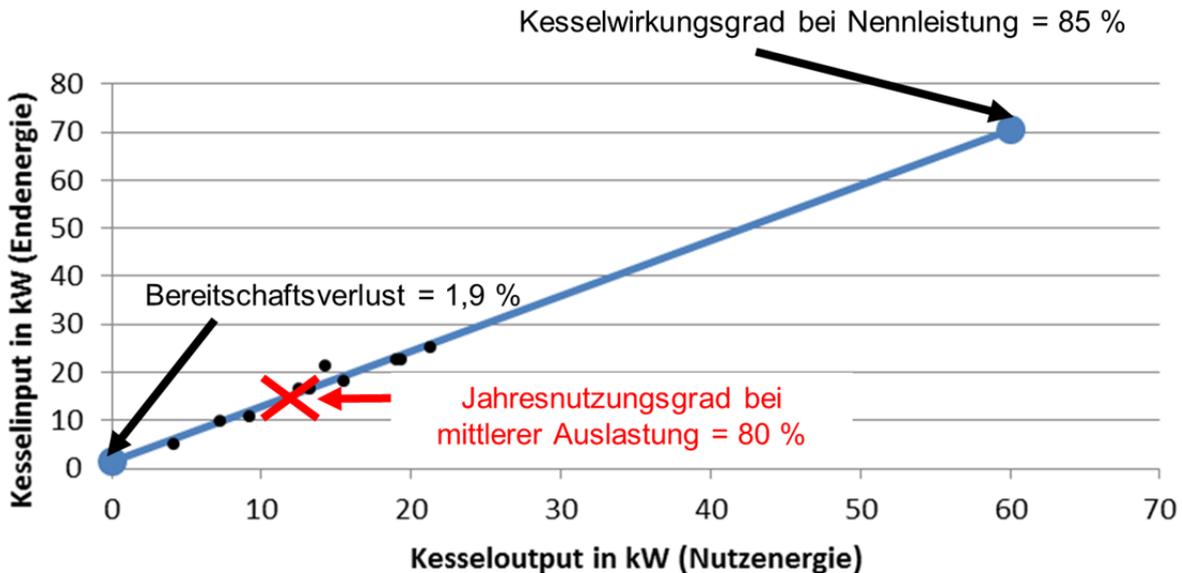


Abbildung 14 EAV Erzeuger

Die durch Wärmemengenzähler erfasste Nutzwärmeabgabe (=Kesseloutput) sowie der zugehörige Brennstoffverbrauch im Zeitintervall (=Kesselinput) ergeben als Messpunkte aufgetragen den „Fingerabdruck des Erzeugers“.

Als charakteristische Kenngrößen lassen sich der reale Bereitschaftsverlust und der Kesselwirkungsgrad als Eigenschaft der konkreten Anlage mit Herstellerangaben und mit Werten aus Bedarfsrechnungen vergleichen. Der Kesselwirkungsgrad beschreibt die Effizienz im durchgehenden Nennlastbetrieb und enthält im Wesentlichen Abgasverluste sowie Verluste über die Kesseloberflächen. Im Realbetrieb kommen Stillstands- und Bereitschaftsverluste hinzu, die durch Auskühlverluste des Feuerraums, Vorspülverluste vor Brennerstart und Zündung sowie Anfahrverluste bis zum Erreichen stabiler Verbrennungswerte verursacht werden. In der Praxis gemessene Bestwerte liegen für den Kesselwirkungsgrad bei über 96 % und für die spezifischen Bereitschaftsverluste bei 0,1 (Mittel- und Großkessel) bis 0,3 % (Kleinkessel).

Der bei mittlerer Auslastung ermittelte Jahresnutzungsgrad bzw. die mittleren jährlichen Erzeugerverluste sollten zukünftig als Anforderungswerte bei Heizungserneuerungen durch die Wohnungswirtschaft vorgegeben werden. In der Praxis gemessene Bestwerte für den Jahresnutzungsgrad von Brennwertkesseln liegen bei 93 %.

7 Verbrauchsanalysen von Objekten der beteiligten Wohnungsunternehmen

Im folgenden Kapitel sind die Verbrauchsmessungen und -analysen in den Objekten gegliedert nach Projektpartner beschrieben. Die Ergebnisse dienen als Grundlage für die Einsparprognosen und Erfolgsnachweise in Kapitel 9.

7.1 Hanova (ehem.: GBH): Quartier Stöcken in Hannover

Im Zeitraum 2013 bis Ende 2016 führte die Hanova umfangreiche energetische Modernisierungen an 6 von 9 Gebäuden in Stöcken durch. An 5 Gebäuden wurden bis Ende 2015 Effizienzverbesserungen an der Gebäudehülle durchgeführt: Alle Objekte erhielten Wärmedämmverbundsysteme und neue Fenster. Dämmungen der Kellerdecke wurden von unten ergänzt, soweit es die Kellerhöhe zuließ. Nachträgliche Dämmungen der obersten Geschossdecke wurden ausgeführt, wenn noch keine ausreichende Dämmung vorhanden war. An den Gebäuden wurden Balkone vorgestellt, so dass nun alle Wohnungen mit Balkon ausgestattet sind. Die bereits vorhandenen, halb eingeschnittenen Balkone werden weiterhin genutzt.

Im Herbst/Winter 2016 ersetzte die MSV Wärmecontracting (MSV) die vorhandenen atmosphärischen Gaskessel in sechs Heizzentralen durch neue Gas-Brennwertkessel. Die Systeme der Trinkwarmwasserbereitung bleiben unverändert: Dezentrale elektrische Durchlauferhitzer werden in 5 Gebäuden (H-I6, H-I8, H-H9-11, H-M31, H-M35+37) weiter genutzt, in allen anderen Objekten erfolgt die Trinkwarmwasserbereitung zentral.



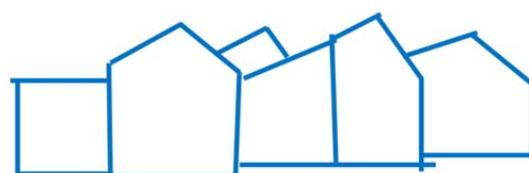
Abbildung 15 Quartier Stöcken, Quelle: Hanova

Objekt (Baujahr)	Wohnfläche beh. [m ²]	Anzahl WE	Bestand Heizungsanlage	Energiesparmaßnahmen 2013 bis Ende 2016
H-I2 (1953)	30	1.580	2003 Gas-BWK	<u>2003 modernisierter Bestand</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ keine Maßnahmenumsetzung im Betrachtungszeitraum
H-I4 (1953)	30	1.579	2011 Gas-BWK	<u>2000 modernisierter Bestand</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ keine Maßnahmenumsetzung im Betrachtungszeitraum
I-M19F32 (2011)	33	1.797	2011 Nahwärme über Ithstr. 4	<u>Passivhaus-Ersatzneubau</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ keine Maßnahmenumsetzung im Betrachtungszeitraum
H-I6 (1953)	25	1.166	1996 Atmosphärischer Gaskessel + EDE 2016 Gas-BWK	<u>ungedämmter Bestand</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 2015 Komplettmodernisierung Gebäudehülle (AW, FE, OG, KE) ▪ Herbst/Winter 2016 neuer Gas- Brennwertkessel
H-I8 (1954)	9	790	1996 Atmosphärischer Gaskessel + EDE 2016 Gas-BWK	<u>ungedämmter Bestand</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 2015 Komplettmodernisierung Gebäudehülle (AW, FE, OG, KE) ▪ Herbst/Winter 2016 neuer Gas- Brennwertkessel
H-I10 (1954)	12	857	1996 Atmosphärischer Gaskessel 2016 Gas-BWK	<u>2010 modernisierter Bestand</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Herbst/Winter 2016 neuer Gas- Brennwertkessel
H-H9-11 (1954)	9	837	1997 Atmosphärischer Gaskessel + EDE 2016 Gas-BWK	<u>ungedämmter Bestand</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 2013 Komplettmodernisierung Gebäudehülle (AW, FE, OG, KE) ▪ Herbst/Winter 2016 neuer Gas- Brennwertkessel
H-M31 (1954)	9	419	1998 Atmosphärischer Gaskessel + EDE 2016 Gas-BWK	<u>ungedämmter Bestand</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 2013 Komplettmodernisierung Gebäudehülle (AW, FE, OG, KE) ▪ Herbst/Winter 2016 neuer Gas- Brennwertkessel
H-M33-37 (1954)	18	1.256	1998 Atmosphärischer Gaskessel + EDE 2016 Gas-BWK	<u>ungedämmter Bestand</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 2013 Komplettmodernisierung Gebäudehülle (AW, FE, OG, KE) ▪ Herbst/Winter 2016 neuer Gas- Brennwertkessel

Abbildung 16 Umgesetzte Energiesparmaßnahmen in Hannover-Stöcken

7.1.1 Quartiersbilanz 2012 bis 2016

Abbildung 17 zeigt die Entwicklung der CO₂-Äquivalente in den Jahren 2012, 2015, 2016 nach sukzessiver Umsetzung von Energiesparmaßnahmen. Die Treibhausgasemissionen der elektrischen Trinkwarmwasserbereitung sind in diesen Werten nicht enthalten. Bei Zugrundelegung eines Trinkwarmwasserverbrauchs von 12 kWh/(m²a) in Anlehnung an den gemessenen Nutzen in Braunschweig vgl. Kapitel 7.2.4.3. ergibt sich bezogen auf die beheizte Wohnfläche aller Gebäude eine Erhöhung der Treibhausgasemissionen um 3 kg CO_{2,eq}/(m²a)¹.



Quartiersbilanz Stöcken: Heizen und Warmwasser (zentral)

	2012	2015	2016
CO _{2,eq} [kg/(m ² a)]	33	32	28
Erdgas H _s [kWh/(m ² a)]	152*	147*	127*
Gebäudeeffizienz [W/(m ² Wfl.*K)]	1,52  	1,39  	1,21  
Heizgrenze [°C]	16,7 	16,4 	16,5 

* Werte aus EAV über WMZ-Wert und JNG errechnet

CO₂-Äquivalent Erdgas=241 g/kWh H_s

Abbildung 17 EAV-basierte Quartiersbilanz Stöcken: 2012 bis 2016

Vorliegende Verbrauchsdaten: Jahres-Gasverbrauch und Wärmemengenzählerwerte im monatlichen Zeitintervall

Ergebnisse im Überblick:

- Der fossile Brennstoffeinsatz sinkt im Quartier von 2015 auf 2016 um 20 kWh/(m²a). Die Komplettmodernisierung der Gebäudehülle von zwei Objekten wird 2016 erstmals im gesamten Jahr wirksam. Die Erzeugererneuerung in sechs Heizzentralen im Herbst 2016 zeigt in 2016 erste Auswirkungen: Der Brennwert-bezogene mittlere Jahresnutzungsgrad des Quartiers steigt von 75 % auf 80 %. Insgesamt bewegt sich die Erzeugereffizienz auf einem ungünstig niedrigen Niveau. Erst die Auswertung des kompletten Jahres 2017 wird zeigen, in welchem Maße sich die Erzeugereffizienz verbessert hat.
- Der durchschnittliche Wärme-Output nach dem Erzeuger sinkt von 120 kWh/(m²a) in 2012 auf 102 kWh/(m²a) in 2016.

¹ Emissionsfaktor Strom-Mix nach GEMIS 4.93 617 g/kWhEnd

- Der Sockelverbrauch für Trinkwarmwasser-, Speicher- und Verteilverluste sowie ggf. Sommerheizung liegt bei zentraler Trinkwarmwasserbereitung bei rund 40 kWh/(m²a). Objekte mit dezentraler Warmwasserbereitung zeigen eine Sommerheizung von 1 bis 4 kWh/(m²a).
- Der wohnflächenbezogene h-Wert sinkt zwischen 2015 und 2016 weiter um 0,2 W/(m² Wfl.*K). Bei zwei Objekten liegt der h-Wert trotz Komplettmodernisierung weiter im ungünstigen Bereich über 1,5 W/(m² Wfl.*K).
- Die Heizgrenzen liegen 2016 weiter auf hohem Niveau und variieren zwischen 15,2 und 18,2 °C.

7.1.2 EAV-Ergebnisse Objekte ohne Maßnahmenumsetzung

An den Objekten H-I2, HI4 und H-M19F32 wurden zwischen 2012 und 2016 keine Maßnahmen umgesetzt. Alle Objekte sind bewohnt, Leerstand besteht nur bei Renovierungen im Rahmen von Mieterwechseln. An den Objekten lässt sich daher gut einschätzen, wie stark die EAV-Kennwerte über die Jahre schwanken.

Die EAV-Kennwerte zeigen zwischen den Auswertejahren folgende Schwankungsbreiten, vgl. Abbildung 18, Abbildung 21, Abbildung 23:

- Wohnflächenbezogene Heizsteigung: bis zu 0,15 W/(m² Wfl. K)
- Heizgrenze: bis zu 1 K
- Heizwärmeverbrauch inkl. lastabhängiger Verteilverluste: bis zu 6 kWh/(m²a)
- Grundlast: bis zu 8 kWh/(m²a)
- Brennwert-bezogener Jahresnutzungsgrad: bis 3 % -> Nach Rücksprache mit MSV wurden die abgerechneten Jahresverbräuche geliefert, deren Ablesezeitpunkt jeweils um einige Tage variieren kann.

In Objekten ohne Maßnahmenumsetzung variieren Heizsteigung und Heizgrenze in verschiedenen Auswertejahren nur in geringem Umfang, ebenso der abgeleitete Heizwärme-Kennwert.

Objekt H-I2: EAV-Ergebnisse (Monatswerte WMZ gesamt, Jahresgasverbrauch w.b.)

Objekt	Auswertejahr	beheizte Wohnfläche [m ²]	Heizung	Werte							Bewertung / Bemerkungen
				Q _{E, fossil} [kWh/(m ² a)]	Q _{VMZ} [kWh/(m ² a)]	Q _{H+} [kWh/(m ² a)]	Q _{TVWV} [kWh/(m ² a)]	η _a	h [W/(m ² K)]	Heizgrenze [°C]	
H-I2	2012: 2003 modernisierter Bestand	1.580	2003 Gas-BWK	134	104	66	38	0,78	1,08	16,2	mittlere Gebäudeeffizienz, schlechter JNG
H-I2	2015: 2003 modernisierter Bestand	1.580	2003 Gas-BWK	142	112	69	44	0,79	1,19	15,7	mittlere Gebäudeeffizienz, schlechter JNG
H-I2	2016: 2003 modernisierter Bestand	1.580	2003 Gas-BWK	134	108	63	45	0,80	1,15	15,2	mittlere Gebäudeeffizienz, schlechter JNG

Abbildung 18 EAV-Ergebnisse Objekt H-I2

Bewertung Gebäude-EAV und Erzeugereffizienz Objekt H-I2:

- h-Wert plausibel für ein 2003 modernisiertes Bestandsgebäude, mittlere Gebäudeeffizienz
- hohe Grundlast: Vermutlich spielen Sommerheizung und hohe Verteil- und Zirkulationsverluste eine Rolle.
- Die Heizungsanlage mit zwei in Kaskade geschalteten Gas-Brennwertkesseln aus dem Jahr 2003 mit hydraulischer Weiche weist eine sehr schlechte Erzeugereffizienz auf. Sowohl die Ergebnisse der Brennwertkessel- als auch der Solarkesselstudie deuten eine ungünstige Beeinflussung des

Nutzungsgrades durch den Einsatz hydraulischer Weichen an [34][36]. Die Anlage ist nicht hydraulisch abgeglichen. Das Heizungsschema zeigt Abbildung 19.

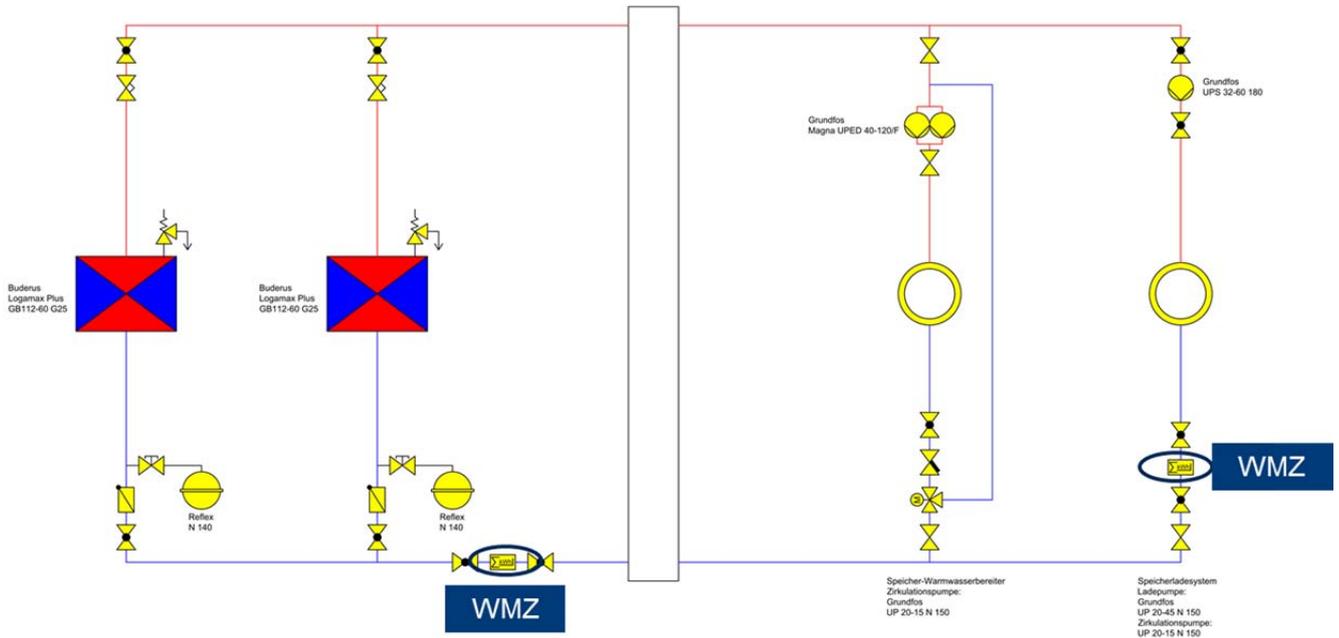


Abbildung 19 Heizungsschema Objekt H-I2

Der Gebäude-Fingerabdruck von Objekt H-I4 zeigt die hohe Übereinstimmung der Auswertejahre 2015 und 2016:

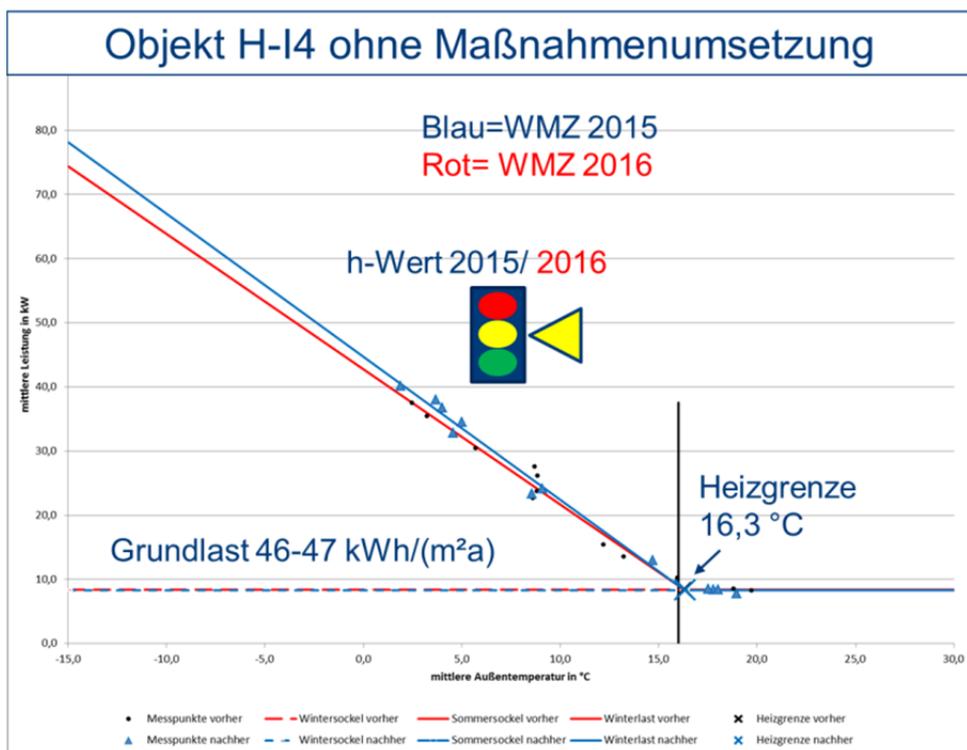


Abbildung 20 Vergleich von zwei Auswertejahren Objekt H-I4: Gebäude-Fingerabdruck rot=2015, blau=2016

Objekt H-I4: EAV-Ergebnisse (Monatswerte WMZ gesamt, Jahresgasverbrauch w.b.)

Objekt	Auswertejahr	beheizte Wohnfläche [m ²]	Heizung	Werte							Bewertung / Bemerkungen
				$Q_{E, \text{fossil}}$ kWh/(m ² a)	Q_{WMZ} kWh/(m ² a)	Q_{H} kWh/(m ² a)	Q_{TWW} kWh/(m ² a)	η_a	h [W/(m ² K)]	Heizgrenze [°C]	
H-I4	2012: 2000 modernisierter Bestand	1.579	2011 Gas-BWK	145	120	82	39	0,83	1,26	16,7	mittlere Gebäudeeffizienz, schlechter JNG
H-I4	2015: 2000 modernisierter Bestand	1.579	2011 Gas-BWK	155	129	82	47	0,83	1,33	16,3	mittlere Gebäudeeffizienz, schlechter JNG
H-I4	2016: 2000 modernisierter Bestand	1.579	2011 Gas-BWK	156	134	88	46	0,86	1,41	16,3	mittlere Gebäudeeffizienz, schlechter JNG

Abbildung 21 EAV-Ergebnisse Objekt H-I4

Bewertung Gebäude-EAV und Erzeugereffizienz Objekt H-I4:

- h-Wert plausibel für ein 2000 modernisiertes Bestandsgebäude, mittlere Gebäudeeffizienz
- hohe Grundlast: Sommerheizung und hohe Verteil- und Zirkulationsverluste spielen eine Rolle.
- Die Heizungsanlage mit Gas-Brennwertkessel versorgt das Objekt H-I4 und über eine Fernleitung Objekt H-M19F32. Der Kessel vom Typ Buderus GB312-200 hat eine eingestellte Leistung von 193 kW, aus der Gebäude-EAV ergeben sich hingegen nur 113 kW für beide Objekte. Der Heizkreis von Objekt H-I8 ist nicht hydraulisch abgeglichen. Das technische Potenzial der Brennwerttechnik wird nicht voll ausgeschöpft.

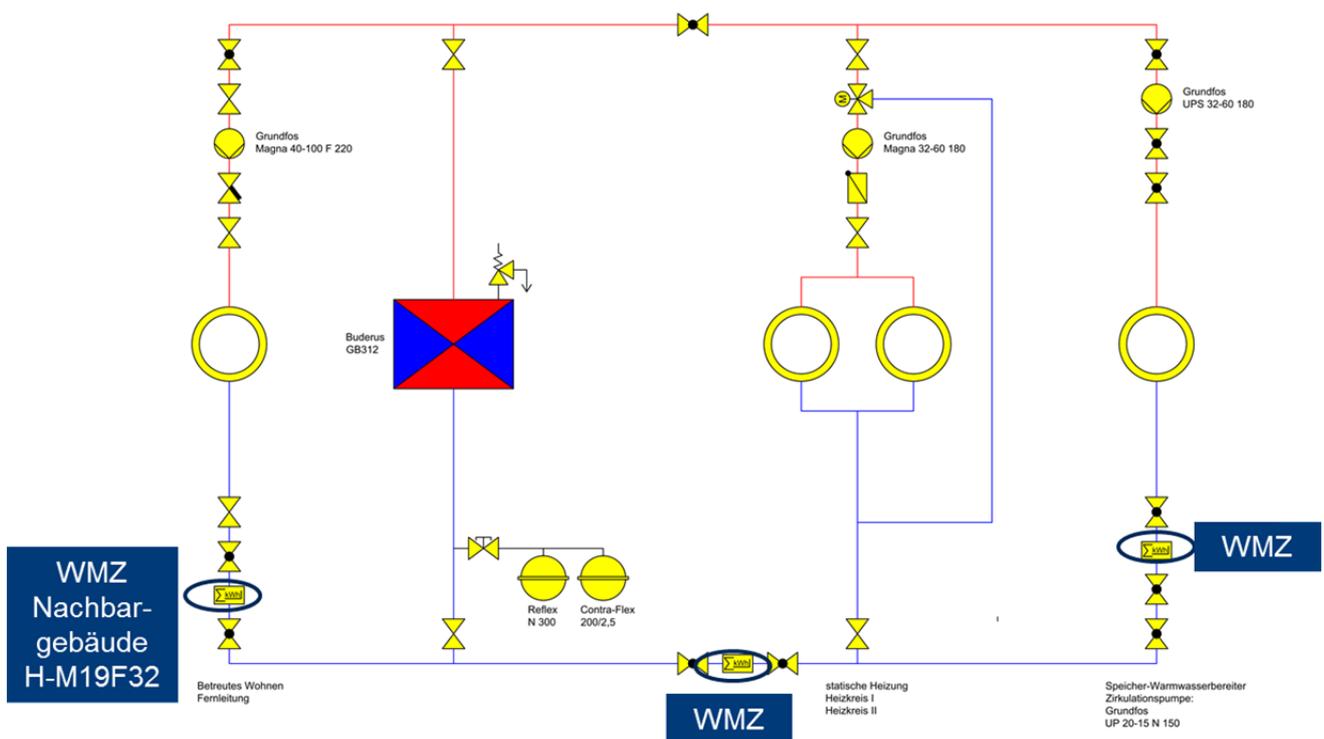


Abbildung 22 Heizungsschema Objekt H-I4

Objekt H-M19F31: EAV-Ergebnisse (Monatswerte WMZ gesamt, Jahresgasverbrauch w.b.)

Objekt	Auswertejahr	beheizte Wohnfläche [m ²]	Heizung	Werte						Bewertung / Bemerkungen	
				Q _{E, fossil}	Q _{WMZ}	Q _{H+}	Q _{Socket}	η _a	h		Heizgrenze
				kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)				
H-M19F32	2015: Passivhaus-Ersatzneubau	1.797	2011 Nahwärme über H-I4	83	69	42	27	-	0,66	16,5	sehr gute Gebäudeeffizienz
H-M19F32	2016: Passivhaus-Ersatzneubau	1.797	2011 Nahwärme über H-I4	79	68	38	30	-	0,60	16,5	sehr gute Gebäudeeffizienz

Abbildung 23 EAV-Ergebnisse Objekt H-M19F32

Objekt H-M19F31 ist ein 2011 errichteter Ersatzneubau im Passivhaus-Standard. Es handelt sich um eine Seniorenwohnanlage mit 32 Wohnungen, Wohncafé und Räumen für einen ambulanten Pflegedienst. Das Gebäude wird über eine Fernleitung aus Objekt H-I4 versorgt, wo sich auch der abgelesene Wärmemengenzähler befindet.

Bewertung Gebäude-EAV und Erzeugereffizienz Objekt H-I4:

- Der h-Wert liegt im plausiblen, sehr niedrigen Bereich. Nach Passivhaus-Bilanz wäre ein Wert von rund 0,5 W/(m²Wfl.K) zu erwarten.
- Die Heizgrenze ist für ein Gebäude im Passivhausstandard ungewöhnlich hoch. Allerdings zeigen Monitoring-Erfahrungen von Seniorenheimen und –wohnanlagen, dass mit überdurchschnittlichen Innenraumtemperaturen zu rechnen ist. Bei Innenraumtemperaturen von 26 °C erhöht sich der Heizwärmebedarf von 15 kWh/(m²a) auf rund 30 kWh/(m²a). Zusätzlich enthält der Wärmemengenzählerwert Verteilverluste, so dass der EAV-Kennwert Heizwärme ebenfalls als plausibel einzustufen ist.
- Die Beheizung über die Heizzentrale im Nachbargebäude H-I4 ist mit zusätzlichen Netzverlusten verbunden, die hauptsächlich in der Grundlast enthalten sind. Die Verluste der Fernleitung werden auf 2.000 bis 3.000 kWh pro Jahr geschätzt.

7.1.3 EAV-Ergebnisse Objekte mit Maßnahmenumsetzung

7.1.3.1 Objekt H-H9-11

Die Komplettmodernisierung der Gebäudehülle wurde 2013 durchgeführt. In den Auswertejahren 2015 und 2016 zeigt sich der Modernisierungserfolg in plausibel niedrigen h-Werten von 1,03 bzw. 1,18 W/(m²Wfl.K). Im 2. Halbjahr 2016 fand eine Heizungserneuerung in der Heizzentrale statt: Die beiden atmosphärischen Gaskessel wurden durch einen neuen Gas-Brennwertkessel Weishaupt Thermo-Condens WTC 60-A mit 50 kW (vorher in Summe 76 kW) eingestellter Leistung ersetzt. Die Gebäude-EAV 2016 ergibt eine Heizlast von 34 kW (2005). Die im Bestand vorhandene Rücklaufanhebung ist zurückgebaut. Die Trinkwarmwasserbereitung erfolgt weiterhin dezentral über elektrische Durchlauferhitzer.

Abbildung 27 zeigt das Heizungsschema der neuen Anlage mit einem Wärmeübertrager, der Erzeuger- und Sekundärkreis voneinander trennt. Nach Rücksprache mit dem Wärmecontractor MSV erhält der Erzeuger einen eigenen Kesselkreislauf um zu verhindern, dass der Wärmeübertrager des Brennwertgeräts mit dem Altwasser der Anlagen in Berührung kommt. Das Ausfallrisiko des Erzeugers wegen einer möglichen Zersetzung des Wärmeübertragers aus Aluminium/Silizium soll hierdurch minimiert werden. Nachteilig an dieser Lösung ist die Verschlechterung des Systemnutzungsgrades durch die mit Verlusten behaftete Wärmeübertragung zwischen Kessel- und Heizwasser.



Abbildung 24 Wärmeübertrager Objekt H-H9-11 zur Trennung von Sekundärkreis und Kessel (Foto Unverzagt)

Bewertung Gebäude-EAV Objekt H-H9-11:

- h-Wert plausibel, die Transmissions- und Lüftungswärmeverluste werden aus den Planunterlagen auf einen Wert von 1,14 W/(m²Wfl.) abgeschätzt, siehe Erfolgsprognose Kapitel 9.3.1
- ca. 1.500 kWh Wärmeabnahme im Sommer
- hohe Heizgrenze in 2016 kann auch aus Probetrieb der neuen Heizung rühren

Objekt H-H9-11: EAV-Ergebnisse (Monatswerte WMZ gesamt, Jahresgasverbrauch w.b.)

Objekt	Auswertejahr	beheizte Wohnfläche [m ²]	Heizung	Werte						Bewertung / Bemerkungen	
				Q _{E, fossil}	Q _{WMZ}	Q _{H+}	Q _{Socket}	η _a	h		Heizgrenze
				kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)				
H-H9-11	2012: unmodernisierter Bestand	837	1997 Gas-Atmos + EDE	191	144	142	2	0,75	2,14	16,9	schlechte Gebäudeeffizienz, schlechter JNG, Sommerverbrauch trotz EDE
H-H9-11	2015: Komplettmodernisierung AW+FE+KE+OG	837	1997 Gas-Atmos + EDE+E13	114	70	69	1	0,62	1,18	15,8	h-Wert-Reduzierung um 45 %, Reduzierung Wärmeverbrauch um 51 %, mittlere Gebäudeeffizienz, sehr schlechter JNG, Sommerverbrauch trotz EDE
H-H9-11	2016 in Umsetzung: neuer Gas-BWK	837	2016: Gas-BWK + EDE	112	79	78	1	0,71	1,03	18,2	gute bis mittlere Gebäudeeffizienz, Erzeugereffizienz aufgrund der Erneuerung im laufenden Jahr nicht bewertbar, Sommerverbrauch trotz EDE

Abbildung 25 EAV-Ergebnisse Objekt H-H9-12

Der Gebäude-Fingerabdruck vor und nach der Komplettmodernisierung ist in Abbildung 25 für die Jahre 2012 und 2015 dargestellt. Der Brennwert-bezogene Jahresnutzungsgrad des im Bestand vorhandenen atmosphärischen Erzeugers verschlechtert sich nach der Verbesserung der Gebäudeeffizienz auf 62 %. Die Sanierungswirkung der Heizungserneuerung wird erst nach Auswertung der Verbrauchsdaten aus 2017 im Folgeprojekt zu bewerten sein.

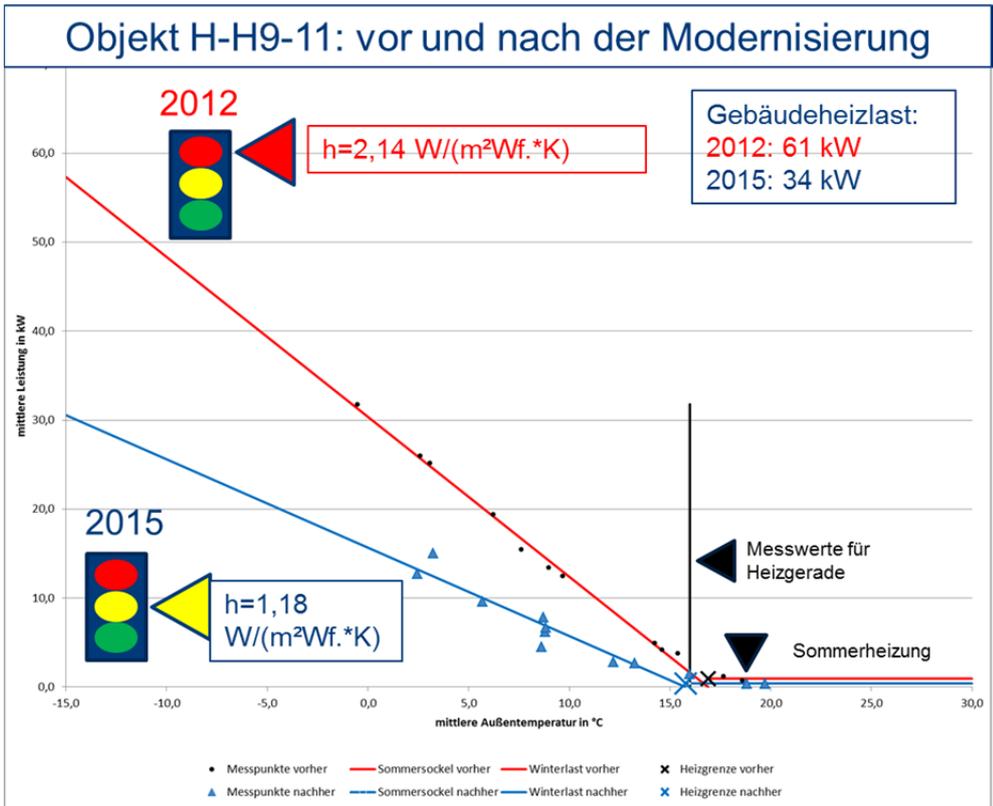


Abbildung 26 Vorher (2012)-/Nachher (2015)-Gebäude-EAV Objekt H-H9-11

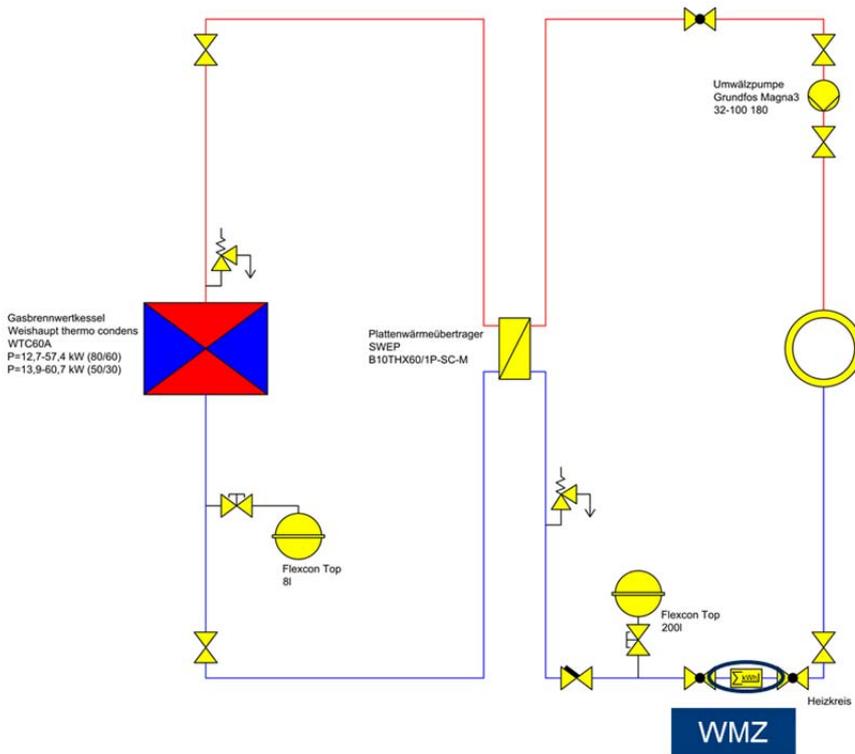


Abbildung 27 Heizungsschema Objekt H-H9-11

7.1.3.2 Objekt H-I8

Nach Umsetzung der Komplettmodernisierung der Gebäudehülle in 2015 fand im 2. Halbjahr 2016 die Erneuerung der Heizzentrale statt. Die beiden atmosphärischen Gaskessel wurden durch einen neuen Gas-Brennwertkessel Weishaupt Thermo-Condens WTC 60-A mit 60 kW Nennleistung ersetzt. Die im Bestand vorhandene Rücklaufanhebung ist zurückgebaut. Zur Trennung von Kesselkreis und Sekundärkreis ist in allen erneuerten Heizzentralen ein Plattenwärmeübertrager eingebaut. Die Trinkwarmwasserbereitung erfolgt weiterhin dezentral über elektrische Durchlauferhitzer.

Bewertung Gebäude-EAV Objekt H-I8:

- h-Wert weiter im ungünstigen Bereich über 1,5 W/(m²Wfl.K): Nach der durchgeführten Komplettmodernisierung wäre ein besserer Wert zu erwarten gewesen.
- ausgeprägte Sommerheizung: über 3.200 kWh Wärmeabnahme im Sommer
- hohe Heizgrenze in 2016

Zur besseren Einschätzung der Ergebnisse und zur Aufnahme der vorhandenen Heizkörper und Installationen wurden am 30.05.2017 und am 23.06.2017 Begehungen in den Wohnungen durchgeführt. Hierbei wurde deutlich, dass der ungünstige Nutzereinfluss, die Heizkörper-Ausstattung und der bisher nicht durchgeführte hydraulische Abgleich ursächlich für die Mehrverbräuche sind, siehe 7.1.4.

Objekt H-I8: EAV-Ergebnisse (Monatswerte WMZ gesamt, Jahresgasverbrauch w.b.)

Objekt	Auswertejahr	beheizte Wohnfläche [m ²]	Heizung	Werte							Bewertung / Bemerkungen
				Q _{E, fossil}	Q _{WMZ}	Q _{H+}	Q _{Socket}	η _a	h	Heizgrenze	
				kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)		[W/(m ² K)]	[°C]	
H-I8	2012: unmodernisierter Bestand	790	1996 Gas-Atmos + EDE	189	148	148	0	0,78	2,68	15,3	schlechte Gebäudeeffizienz, schlechter JNG
H-I8	2015: Komplettmodernisierung AW+FE+KE+OG in Umsetzung	790	1996 Gas-Atmos + EDE	201	145	145	0	0,72	2,42	16,0	schlechte Gebäudeeffizienz, schlechter JNG
H-I8	2016 in Umsetzung: neuer Gas-BWK	790	2016: Gas-BWK + EDE	155	116	111	4	0,74	1,59	17,4	h-Wert-Reduzierung um 40 %, aber im schlechten Bereich, hoher Sockelverbrauch trotz EDE, Erzeugereffizienz aufgrund der Erneuerung im laufenden Jahr nicht bewertbar

Abbildung 28 EAV-Ergebnisse Objekt H-I8

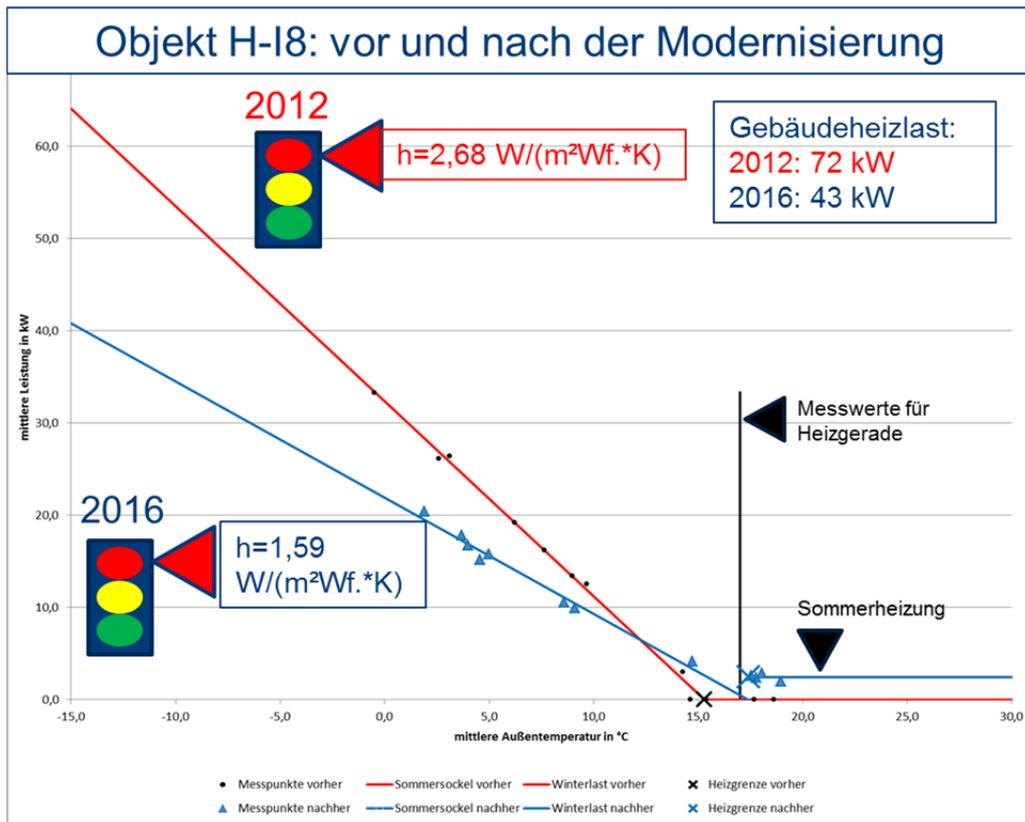


Abbildung 29 Vorher (2012)-/Nachher (2016)-Gebäude-EAV Objekt H-I8

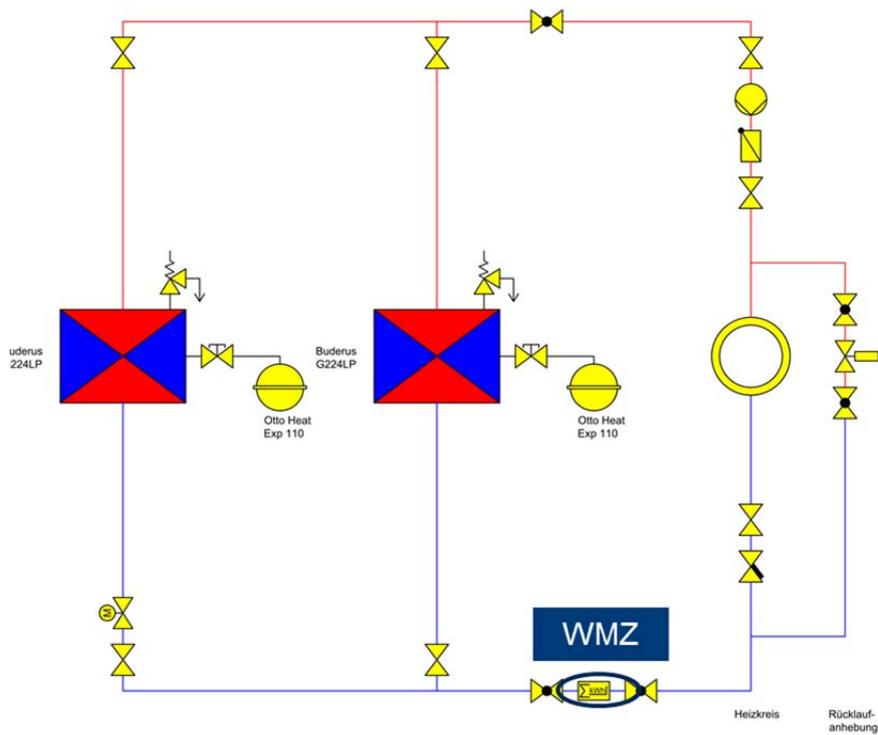


Abbildung 30 Heizungsschema Objekt H-I-8

7.1.4 Heizkörper-Ausstattung, Nutzereinfluss und Heizkörperwahl (H-I6, H-I8, H-I10, H-M31, H-M33-37)

7.1.4.1 Heizkörper-Ausstattung



Abbildung 31 Heizkörper nach Balkontüreinbau in der Küche (Foto: Unverzagt)

Bei der Heizkörper-Bestandsaufnahme in Stöcken fiel auf, dass im Zuge der Balkonanbauten mit Balkontüreinbau Heizkörpererneuerungen ohne Berücksichtigung der Raumheizlasten erfolgt sind. So wurde beispielsweise in Wohnzimmern mit zwei Heizkörpern nach dem Einbau der Balkontür wieder ein zweiter Heizkörper ergänzt, obwohl dieser zur Deckung der Raumheizlast nicht erforderlich gewesen wäre. Bei einer in allen Zentralen eingestellten hohen Vorlauftemperatur von 75 °C sind die resultierenden Massenströme sehr klein. In einigen Küchen wurden dagegen im Zuge der Erneuerung eher zu geringe Heizkörperleistungen installiert. Weder bei der Hanova noch beim Wärmelieferanten MSV ist der hydraulische Abgleich eine etablierte Leistung. Für die Heizkörperausstattung inkl. Thermostatventile ist die Hanova verantwortlich, während das Knowhow für die Umsetzung beim Wärmelieferanten liegt. Für den Wärmelieferanten endet der Verantwortungsbereich jedoch am Wärmemengenzähler, der direkt nach dem Erzeuger installiert ist. Die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen sind so gesetzt, dass ein Anreiz besteht, größere Wärmemengen zu liefern.

7.1.4.2 Nutzereinfluss auf den Energieverbrauch

Der Nutzereinfluss auf den Energieverbrauch lässt sich unterteilen in Faktoren wie z.B. die Belegungsdichte und -dauer, die auf die Lebenssituation zurückzuführen sind, und verhaltensbedingte Faktoren, die das individuelle Heiz- und Lüftungsverhalten betreffen.

In den Hanova-Gebäuden in Stöcken leben überdurchschnittlich viele Menschen, die viel Zeit in den Wohnungen verbringen. Während der Begehung bemängeln einige Bewohner Heizkörper, die „nicht funktionieren“. Es handelt sich oftmals um Heizkörper mit einer Länge von 2 m, die einseitig mit dem Vor- und Rücklauf angeschlossen sind. Bei den mit zu hoher Vorlauftemperatur ohne hydraulischen Abgleich betriebenen Heizungsanlagen bleiben diese zwangsläufig über weite Teile dauerhaft kalt.



Abbildung 32 Heizkörper-Beispiel Bestand in Stöcken (Foto: Unverzagt)

Insbesondere in Wohnungen mit hoher Belegungsdichte wird die Wärmeabgabe der Heizkörper oftmals durch vorgebaute Möblierung eingeschränkt. So verschwand Heizkörper komplett hinter großen Polsterbetten oder Anrichten.



Abbildung 33 Ungünstige Möblierung vor Heizkörpern in Stöcken (Foto: Unverzagt)

Erste Vorab-Berechnungen für das Objekt H-H9-11 zeigen, dass die Vorlauftemperatur auf 55 °C gesenkt werden kann und der hydraulische Abgleich auch bei Beibehaltung der Bestandsheizkörper möglich ist. Eine Verbesserung der Wärmeabgabe insbesondere an die Aufenthaltsräume ist hiernach zu erwarten. Zum Jahresende soll die Optimierung erfolgen, um den Erfolg der Maßnahme für 2018 im Nachfolgeprojekt überprüfen zu können.

Bei Heizkörper-Wechsel empfiehlt sich neben der Auslegung verstärkt auch das Wärmeempfinden der Bewohner einzubeziehen. Anstelle von parallel durchströmten mehrlagigen Heizkörpern geben seriell durchströmte Heizkörper im Teillastbetrieb bevorzugt Wärme über die Frontplatte ab, während die hintere Platte als Strahlungsschirm fungiert. Im Vergleich zu herkömmlichen Heizkörpern gleichen Typs entstehen keine Mehrkosten.

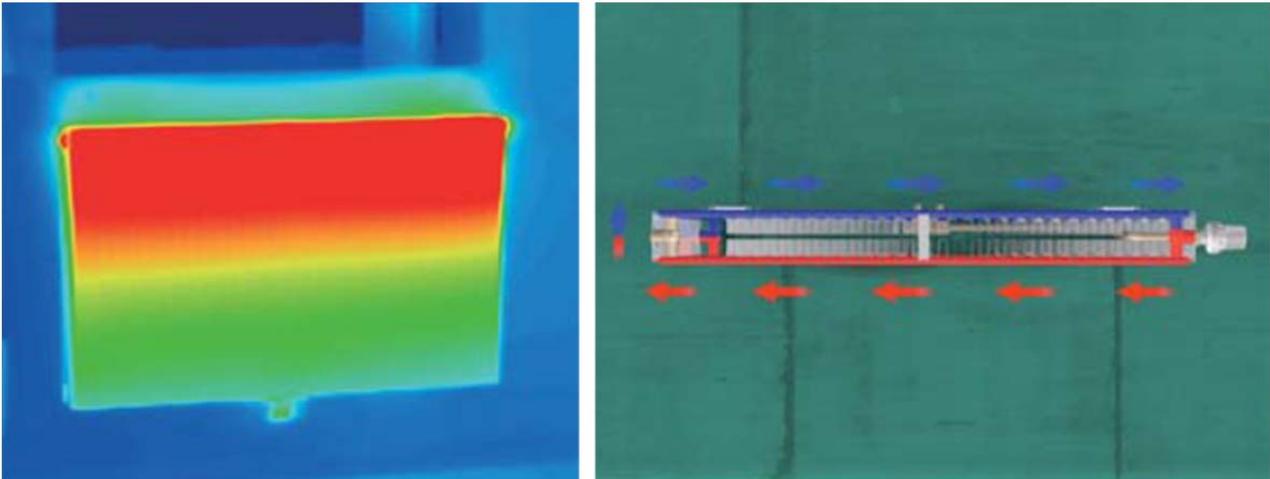


Abbildung 34 Seriell durchströmter Heizkörper mit bevorzugter Wärmeabgabe über die Frontplatte
(Quelle: Kermi)

7.1.5 Fazit Hannover

Im Quartier Stöcken wurden Varianten der Energiebereitstellung im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit und CO₂-Einsparung untersucht und insbesondere ein BHKW mit Nahwärmenetz mit der örtlichen Fernwärme verglichen, vgl. Zwischenbericht vom November 2014 [33]. Letztendlich wurde die Variante mit den geringsten Investitionskosten umgesetzt und 6 zentrale Gas-Brennwertkessel in den Einzelgebäuden installiert und zwei Bestandskessel weiter genutzt. Zur weiteren Dekarbonisierung bietet sich im nächsten Instandsetzungszyklus des Erzeugers in 20 bis 30 Jahren eine Umstellung auf Wärmepumpen an. Eine Heizungsoptimierung mit hydraulischen Abgleich zusammen mit einer Senkung der Systemtemperaturen hat bisher nicht stattgefunden. Mit der Komplettmodernisierung der Gebäudehülle besteht die Notwendigkeit zum hydraulischen Abgleich der Heizungsanlage. Die Möglichkeiten der Niedertemperatur-Auslegung auf Basis der im Bestand vorhandenen Heizkörper sollen im DBU-Folgeprojekt untersucht werden.

7.2 Nibelungen-Wohnbau: Quartier Behringstr. in Braunschweig

Die Bestandsmodernisierung der Nibelungen-Wohnbau ist konsequent auf die Instandsetzungszyklen von Gebäudehülle und Anlagentechnik ausgerichtet. Komponenten werden am Ende der Nutzungsdauer in der Regel als Einzelmaßnahme erneuert.

Im Untersuchungszeitraum führte die Nibelungen-Wohnbau an drei 1964 errichteten Wohnblöcken Außenwanddämmungen und Heizungserneuerungen durch:

Bestandsgebäude, Baujahr 1964	Beheizte Wohnfläche [m ²]	Anzahl WE	Bestand Heizungsanlage	Energiesparmaßnahme
BS-B18+19	900	15	Niedertemperatur-Gasheizungsanlage 1992	<u>Sommer bis Herbst 2015</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ neue Heizungsanlage: Gas-Brennwertkessel Viessmann Vitocrossal 300 12-60 kW, 750-Liter-Pufferspeicher Vitocell-100-E, Viessmann Vitotrans 353 Frischwasserstation ▪ 14 cm Wärmedämm-Verbundsystem aus Polystyrol
BS-B20-22	1.226	18	Niedertemperatur-Gasheizungsanlage 1992	<u>Sommer bis Herbst 2015</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 14 cm Wärmedämm-Verbundsystem aus Polystyrol <u>Sommer bis Herbst 2016</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ neue Heizungsanlage: zwei wandhängende Gas-Brennwertthermen Junkers Cerapur 4,9 bis 40 kW und 2,8 bis 30 kW in Kaskade, 750-Liter-Pufferspeicher mit Frischwasserstation
BS-B23-26	1.523	24	Niedertemperatur-Gasheizungsanlage 1992	<u>Herbst 2016</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 14 cm Wärmedämm-Verbundsystem aus Polystyrol <u>Im Sommer 2017 geplant</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Heizungserneuerung siehe Kapitel 7.2.4 mit Auslegungsempfehlungen

Abbildung 35 Umgesetzte Energiesparmaßnahmen in Braunschweig

7.2.1 Quartiersbilanz Behringstr. 12/2013 bis 06/2017

Abbildung 36 zeigt die Entwicklung der CO₂-Äquivalente des unmodernisierten Bestands und den Modernisierungsstand bis Juni 2017, der die Wirkung der Außenwanddämmung an allen Gebäuden und der Heizungserneuerung in zwei von drei Objekten abbildet. Im letzten Objekt wurde die Heizungserneuerung für Voruntersuchungen zum Trinkwarmwasserverbrauch zurückgestellt.

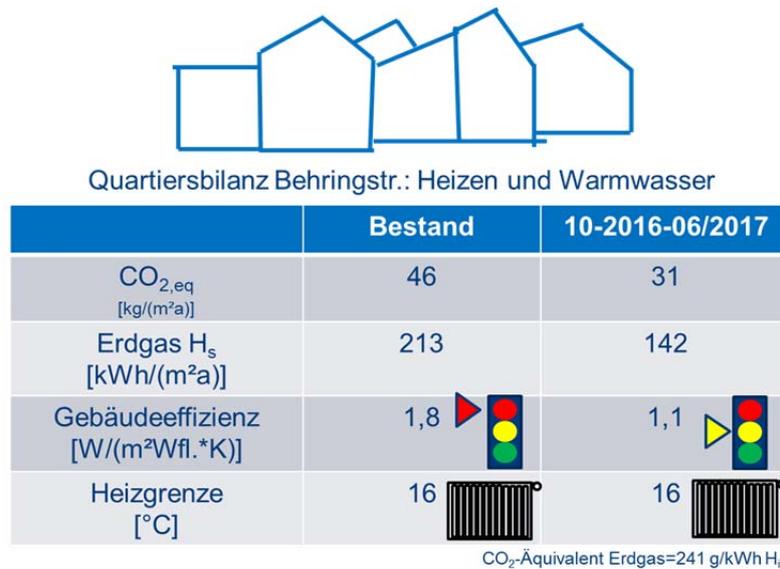


Abbildung 36 EAV-basierte Quartiersbilanz Behringstr.10/12/2016 bis 06/2017

Vorliegende Verbrauchsdaten: monatliche Gasverbräuche und Wärmemengenzählerwerte im monatlichen Zeitintervall (WMZ gesamt und WMZ TWW)

Die Kennwerte der Gebäude- und Erzeuger-EAVs vor und nach der Sanierung sind in Abbildung 37 und Abbildung 38 dargestellt. Zusammengefasst zeigt sich folgende Sanierungswirkung:

- Nach Umsetzung von Außenwanddämmungen an allen Gebäuden und Erneuerung der Heizungsanlage in zwei Gebäuden sinkt der Erdgaseinsatz um 71 kWh_{HS}/(m²a).
- Das Anbringen eines Wärmedämmverbundsystems führt zu einer Reduzierung des Heizwärmeverbrauchs um 39 kWh/(m²a) und erfüllt die Einsparerwartung.
- Die Brennwert-bezogenen Jahresnutzungsgrade der beiden neuen Heizungsanlagen liegen mit 84 % und 87 % unter dem technischen Potenzial. Dennoch fällt die Reduzierung der Kesselverluste mit 34 kWh/(m²a) wegen der hohen Erzeugerverluste der alten Bestandskessel sehr deutlich aus.
- Der Grundlast-Sockel liegt weiter auf hohem Niveau von rund 40 kWh/(m²a).

EAV-Zusammenfassung Quartier Behringstr. vor der Sanierung

Objekt	Auswertejahr	beheizte Wohnfläche [m ²]	Heizung	Werte						Bewertung / Bemerkungen	
				Q _{E, fossil} [kWh/(m ² a)]	Q _{WMZ} [kWh/(m ² a)]	Q _{H*} [kWh/(m ² a)]	Q _{TWW*} [kWh/(m ² a)]	η _a	h [W/(m ² K)]		Heizgrenze [°C]
BS-B18+19	12/2013 bis 07/2015	900	1992 Gas-NT-Kessel	243	170	120	50	0,70	1,98	16,0	schlechte Gebäudeeffizienz, sehr schlechter JNG
BS-B20-22	12/2013 bis 07/2015	1.226	1992 Gas-NT-Kessel	217	149	110	39	0,69	1,86	15,7	schlechte Gebäudeeffizienz, sehr schlechter JNG
BS-B23-26	12/2013 bis 03/2016	1.523	1992 Gas-NT-Kessel	192	133	95	38	0,69	1,70	15,3	schlechte Gebäudeeffizienz, sehr schlechter JNG
		3.649	213 kWh/(m ² a) mittlerer fossiler Brennstoffeinsatz (H _s)								

Legende:

NT=Niedertemperaturkessel

* Heizwärmebedarf und TWW-Grundlast inkl. Verteilung und Speicherung
JNG=Jahresnutzungsgrad

Abbildung 37 Quartier Behringstr.: EAVs vor Sanierung (WMZ gesamt)

EAV-Zusammenfassung Quartier Behringstr., Stand 10/12-2016 bis 06/2017

Objekt	Auswertejahr	beheizte Wohnfläche [m ²]	Heizung	Werte							Bewertung / Bemerkungen
				$Q_{E, \text{fossil}}$ kWh/(m ² a)	Q_{WMZ} kWh/(m ² a)	Q_{H^*} kWh/(m ² a)	Q_{TWW^*} kWh/(m ² a)	η_a	h [W/(m ² K)]	Heizgrenze [°C]	
BS-B18+19	10/2016 bis 06/2017 (nach Betriebsoptimierung Heizung)	900	2015 neuer Gas-BWK	157	134	76	58	0,87	1,35	15,5	mittlere Gebäudeeffizienz, Verbesserung JNG_BW von 80 % auf 87 %
BS-B20-22	10/2016 bis 06/2017 (nach Heizungserneuerung)	1.226	2016 neuer Gas-BWK	122	103	68	35	0,84	1,13	16,0	mittlere Gebäudeeffizienz, JNG_BW 84 % nach Heizungserneuerung
BS-B23-26	12/2016 bis 06/2017 (nach Außenwanddämmung)	1.523	1992 Gas-NT-Kessel	150	104	61	43	0,69	1,01	16,0	gute bis mittlere Gebäudeeffizienz, sehr schlechter JNG
		3.649	142 kWh/(m ² a) mittlerer fossiler Brennstoffeinsatz (Hs)								

Legende:

NT=Niedertemperaturkessel
BWK=Brennwertkessel

* Heizwärmebedarf und TWW-Grundlast inkl. Verteilung und Speicherung
JNG_BW=Jahresnutzungsgrad, Brennwert-bezogen

Abbildung 38 Quartier Behringstr. EAVs 10/12/2016 bis 06/2017(WMZ Heizkreis und TWW getrennt)

7.2.2 Gebäude-Fingerabdruck Objekt BS-B23-26

Aus den monatlichen Wärmemengenzählerwerten für Trinkwarmwasser und Heizung wird der Gebäude-Fingerabdruck vor und nach der Außenwanddämmung ermittelt, vergleiche Abbildung 39.

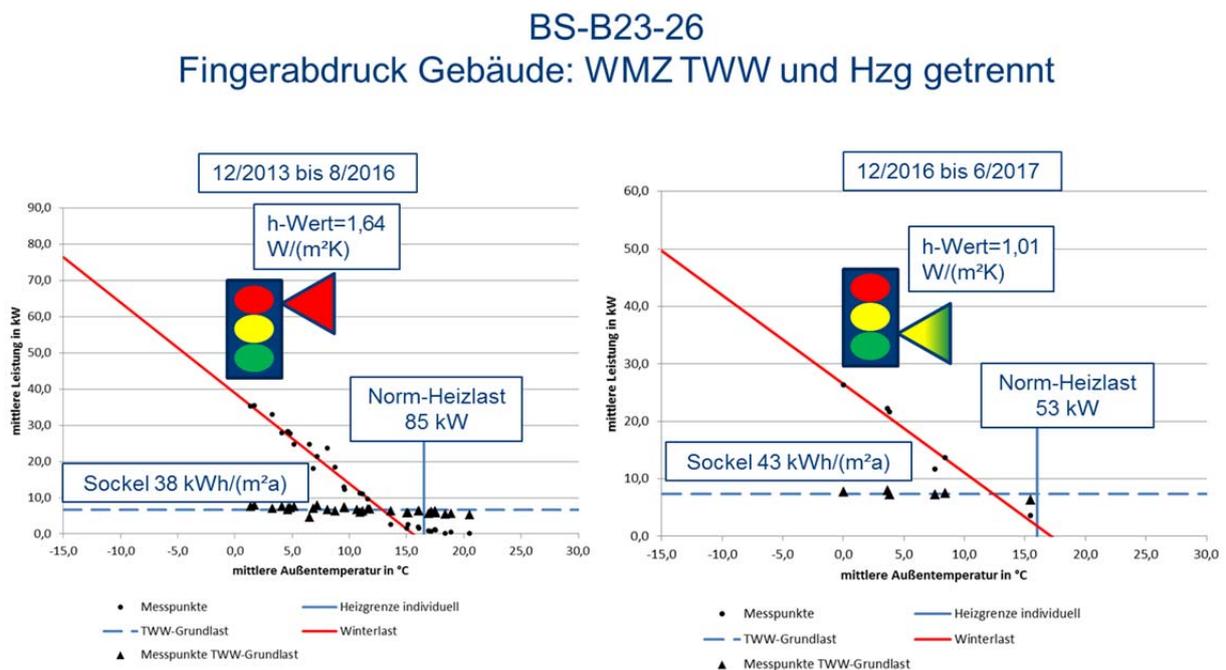


Abbildung 39 BS-B23-26: Gebäude-Fingerabdruck aus WMZ-Werten Heizung und TWW vor und nach der Außenwanddämmung

Wie bei den beiden anderen Wohnblöcken fällt die Reduzierung der Heizsteigung mit 38 % sehr deutlich aus. Aus der reduzierten Heizsteigung ergibt sich eine Norm-Heizlast von 53 kW. Die getrennte

Auswertung des Heizkreislauf-WMZ zeigt vor der Modernisierung eine geringfügige Sommerheizung. Bis 21 °C Außentemperatur findet eine Wärmeabnahme statt. Nach der Modernisierung liegen bisher wenige Messpunkte vor. Die kommenden Monate werden zeigen, ob eine Sommerheizung stattfindet.

7.2.3 Kessel-Fingerabdruck

Objekt BS-B18+19

Im Objekt BS-B18+19 wurde im Herbst 2015 eine neue Heizungsanlage mit Gasbrennwertkessel und Pufferspeicher mit Frischwasserstation installiert. Ein erster Abgleich von Wärmemengen- und Gaszähler sowie das hohe Temperaturniveau in der Heizzentrale im Frühjahr 2016 deuteten auf eine ungünstige Erzeuger und Systemeffizienz. Das Ostfalia-Team führte hierauf Temperaturmessungen des Vor- und Rücklauf des Pufferspeichers durch, die ein zu hohes Temperaturniveau und nicht angepasste Ladevolumenströme zeigten.

Bei einem gemeinsamen Ortstermin mit Installationsbetrieb und Hersteller wurde am Pufferspeicher ein falsch gesetzter Temperaturfühler entdeckt. Neben der Korrektur des Temperaturfühlers wurden folgende Einstellungen der Heizungsanlage angepasst:

- Raum-Bezugstemperaturen für Heizkurveneinstellung: Die Solltemperatur wird im reduzierten Betrieb von 22 °C auf 20 °C abgesenkt. Im Normalbetrieb liegt die Bezugstemperatur weiterhin bei 24 °C.
- Die Temperaturdifferenz zwischen Kesseltemperatur-Sollwert und Speichertemperatur-Sollwert wird von 25 K auf 15 K gesenkt.

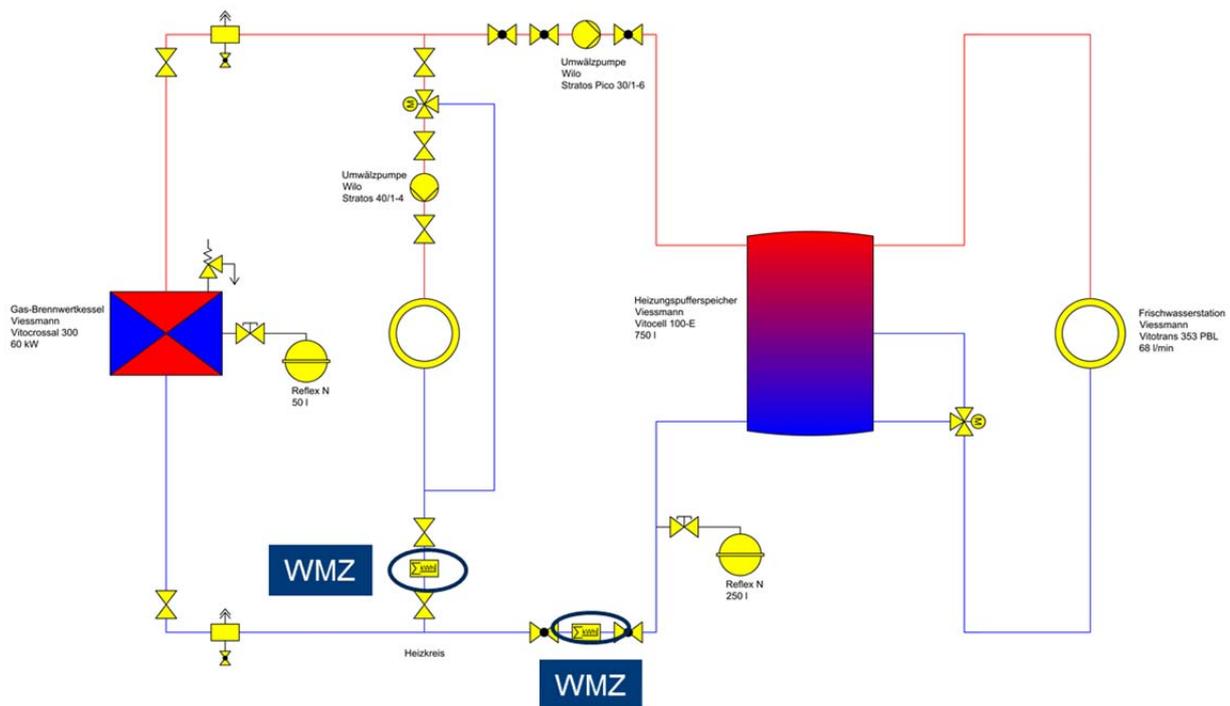


Abbildung 40 Heizungsschema Objekt BS-B18+19

Die Wiederholung der Temperaturmessung des Vor- und Rücklaufs zum Pufferspeicher vom 28.10.2016 bis 1.11.2016 zeigte eine deutliche Verringerung des Temperaturniveaus mit einer mittleren Rücklauftemperatur von rund 60 °C und täglich rund 20 Speicherladezyklen, vgl. Abbildung 41.

Die nachträglichen Auswertungen der Kessel-EAV ergeben ebenfalls deutliche Hinweise auf eine Fehlfunktion, vgl. Abbildung 42. Nach der Heizungserneuerung reduziert sich der Bereitschaftsverlust nicht, sondern steigt auf 2,4 %. Die Bestandsanlage wies einen Bereitschaftsverlust von nur 1 % auf. Nach Durchführung der Betriebsoptimierung reduziert sich der Bereitschaftsverlust deutlich auf 0,4 %. Der Brennwert-bezogene Jahresnutzungsgrad verbessert sich von 82 auf 87 %.

Im DBU-Folgeprojekt „Wirklich effizient“ sollen weitere Anpassungen an den Einstellungen der Heizungsanlage vorgenommen und die Auswirkung auf die Energieverbräuche analysiert werden.

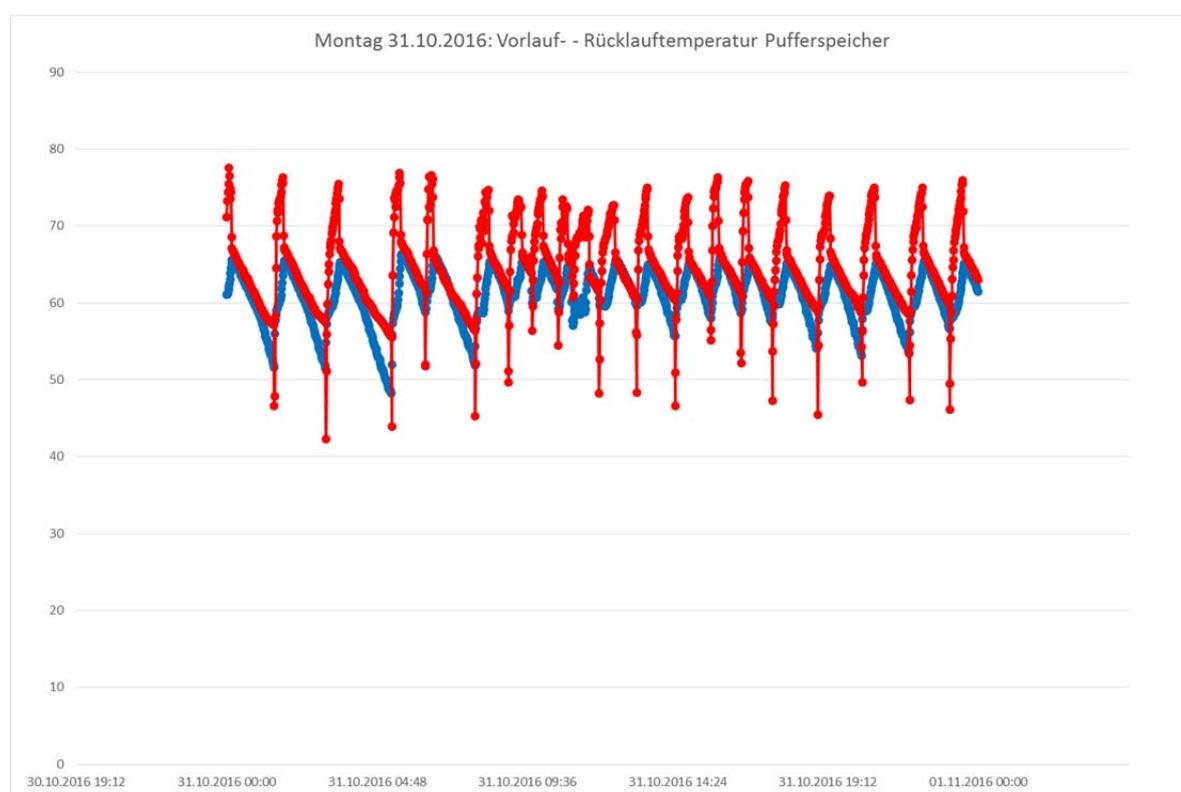


Abbildung 41 Temperaturmessung Vor- und Rücklauf Pufferspeicher vom Montag, den 31.10.2016

	Bestandskessel Baujahr 1992	Neuer Brennwertkessel	Brennwertkessel nach Betriebsoptimierung
Kesselnennleistung	68 kW	60 kW	60 kW
Kesselwirkungsgrad	73 % (Hs)	87 % (Hs)	88 % (Hs)
Bereitschaftsverluste	1 % (Hs)	2,4 % (Hs)	0,4 % (Hs)
Jahresnutzungsgrad	71 % (Hs)	82 % (Hs)	87 % (Hs)
Kesselauslastung	24 %	26 %	23 %

Abbildung 42 Ergebnisse Kessel-Fingerabdruck BS-B18+19: Bestand, neue Heizungsanlage und nach Betriebsoptimierung

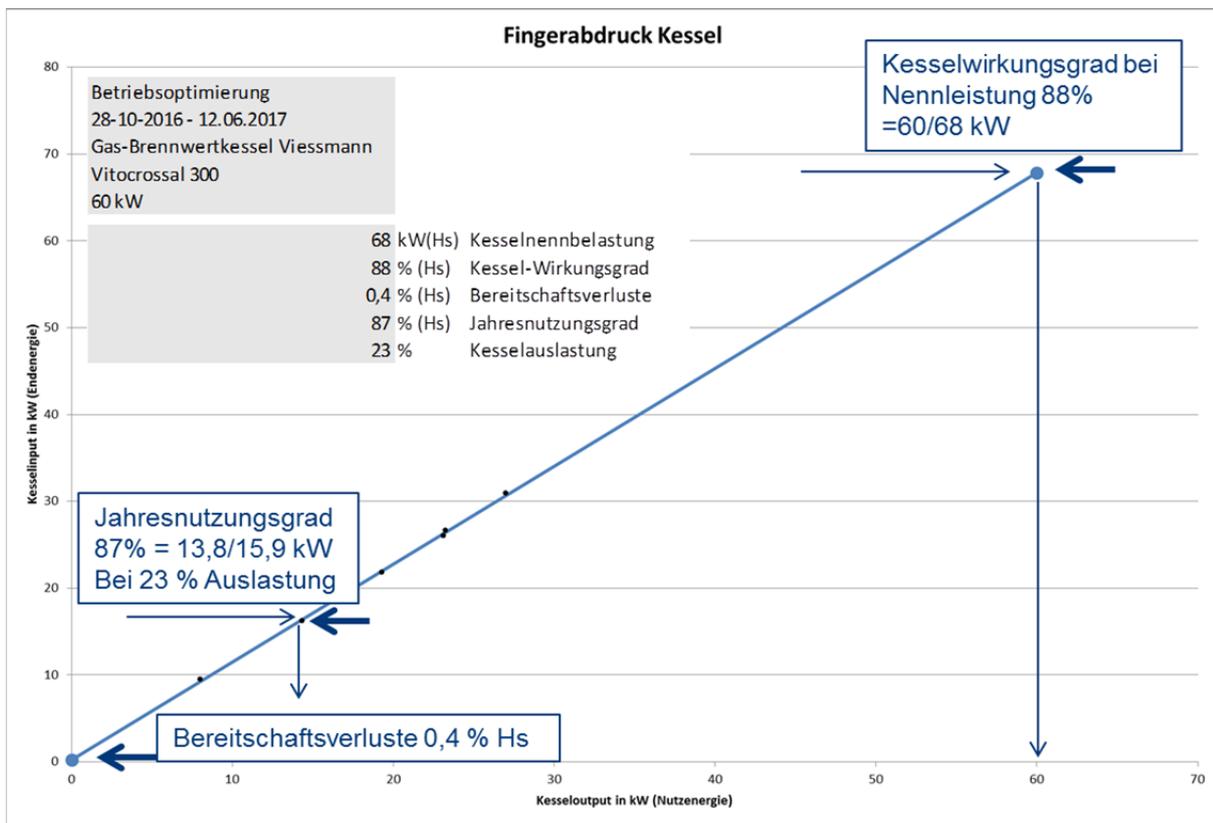


Abbildung 43 Kessel-Fingerabdruck BS-B18+19 nach Betriebsoptimierung

BS-B20-23

Im Objekt BS-B20-23 wurde im Herbst 2016 eine neue Heizungsanlage mit zwei Gas-Brennwertthermen und Pufferspeicher mit Frischwasserstation installiert. Aufgrund des geringen Schornsteinquerschnitts musste kurzfristig eine Umplanung erfolgen: Anstelle eines zentralen Gaskessels sind nun zwei wandhängende Gasthermen im Einsatz, die über eine hydraulische Weiche eingebunden sind, siehe Abbildung 44. Erste Auswertungen des Kessel-Fingerabdrucks zeigen einen brennwertbezogenen Jahresnutzungsgrad für die Anlage von nur 84 %. Der Einfluss der Bauart (Kessel oder Therme) sowie die Erzeugereinbindung über eine hydraulische Weiche auf den Nutzungsgrad sind bisher nicht systematisch untersucht. Wie die Ergebnisse von [34] deuten die aktuellen Messergebnisse darauf hin, dass bei Einsatz von hydraulischen Weichen mit signifikanten Verschlechterungen des Nutzungsgrades zu rechnen ist. Im DBU-Folgeprojekt „Wirklich effizient“ wird die Wirkung der hydraulischen Weiche weiter untersucht.



Abbildung 44 Heizungserneuerung BS-B20-22, Junkers-Gasthermen, unten rechts: hydraulische Weiche, Fotos oben: Frischwasserstation, Fotos: Unverzagt

	Bestandskessel Baujahr 1992	Neuer Brennwertkessel 2x Junkers Cerapur in Kaskade
Kesselnennleistung	88 kW	83 kW
Kesselwirkungsgrad	73 % (Hs)	84 % (Hs)
Bereitschaftsverluste	2,9 % (Hs)	noch nicht bestimmbar
Jahresnutzungsgrad	69 % (Hs)	84 % (Hs)
Kesselauslastung	36 %	21 %

Abbildung 45 Objekt: BS-B20-22, Fingerabdruck Kessel vor und nach der Sanierung

7.2.4 Bedarfsgerechte Dimensionierung der Trinkwarmwasserbereitung und des Wärmeerzeugers für das Objekt BS-B23-26

7.2.4.1 Bestandssituation

Im Objekt BS-B23-26 mit 24 Wohnungen und einer beheizten Wohnfläche von 1.523 m² wohnen derzeit 42 Personen (Stand März 2017). Eine Wohneinheit steht aufgrund von Renovierungsarbeiten leer. Jede Wohnung verfügt über ein Badezimmer mit Dusche und Waschtisch sowie eine Küche mit Küchenspüle. Die sanitäre Ausstattung entspricht einem einfachen Standard. Die Wärmeversorgung erfolgt über drei Niedertemperaturkessel, Baujahr 1992, der Firma Hydrotherm mit jeweils 30-34 kW Nennleistung in Kaskade. Trinkwarmwasser wird über ein Speicherladesystem der Firma Cetetherm vom Typ Ceteniro 500 bereitgestellt. Das Warmwasserspeichervolumen beträgt 500 Liter. Die Trinkwarmwassertemperatur liegt zwischen 60 °C und 65 °C. Bei einer heizwasserseitigen Vorlauftemperatur von 65 °C bis 70 °C schwankt die Rücklauftemperatur lastabhängig zwischen 50 °C und 60 °C. Die Zirkulationsleitung ist in die obere Speicherhälfte eingebunden. Das Temperaturniveau in der Heizzentrale ist hoch. Die Regelung der heizkreisseitigen Vorlauftemperatur erfolgt über einen Vierwegemischer, der einen nahezu konstanten Kesselwasservolumenstrom gewährleistet. Von der Heizzentrale im Keller erfolgt die Verteilung von Kalt- und Warmwasser unterseitig an der Kellerdecke. Pro Gebäudeabschnitt werden jeweils zwei Kaltwasser-, Warmwasser- und Zirkulationsstränge bis ins dritte Obergeschoss geführt. Jeder Strang versorgt vier Wohnungen.

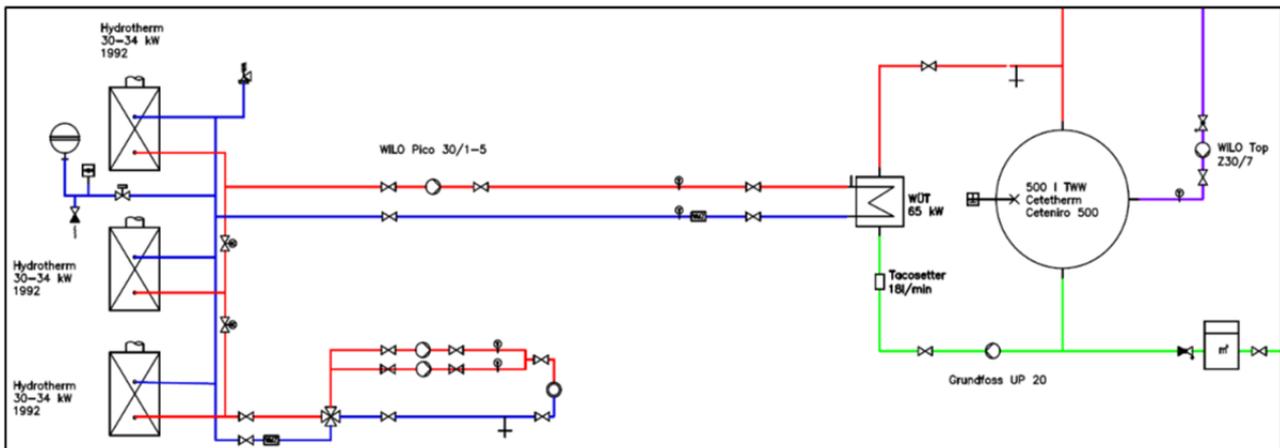


Abbildung 46 Objekt: BS-B23-26, Heizungsschema Bestand (Quelle: Marcel Rode)

7.2.4.2 SolvisPrelog-Messung

Vom 20.12.2016 bis 17.01.2017 fanden Messungen der Trinkwarmwasserzapfleistung, des Zirkulationsvolumenstroms und der Wassertemperaturen statt. Die Messtechnik umfasst zwei Volumenstromgeber, von welchen einer im Kaltwasseranschluss der Trinkwarmwasserbereitung vor dem Speicher und der zweite im Zirkulationsanschluss installiert wurden. Die Kalt- und Warmwasser- sowie die Zirkulationstemperaturen werden über Rohranlegefühler erfasst.

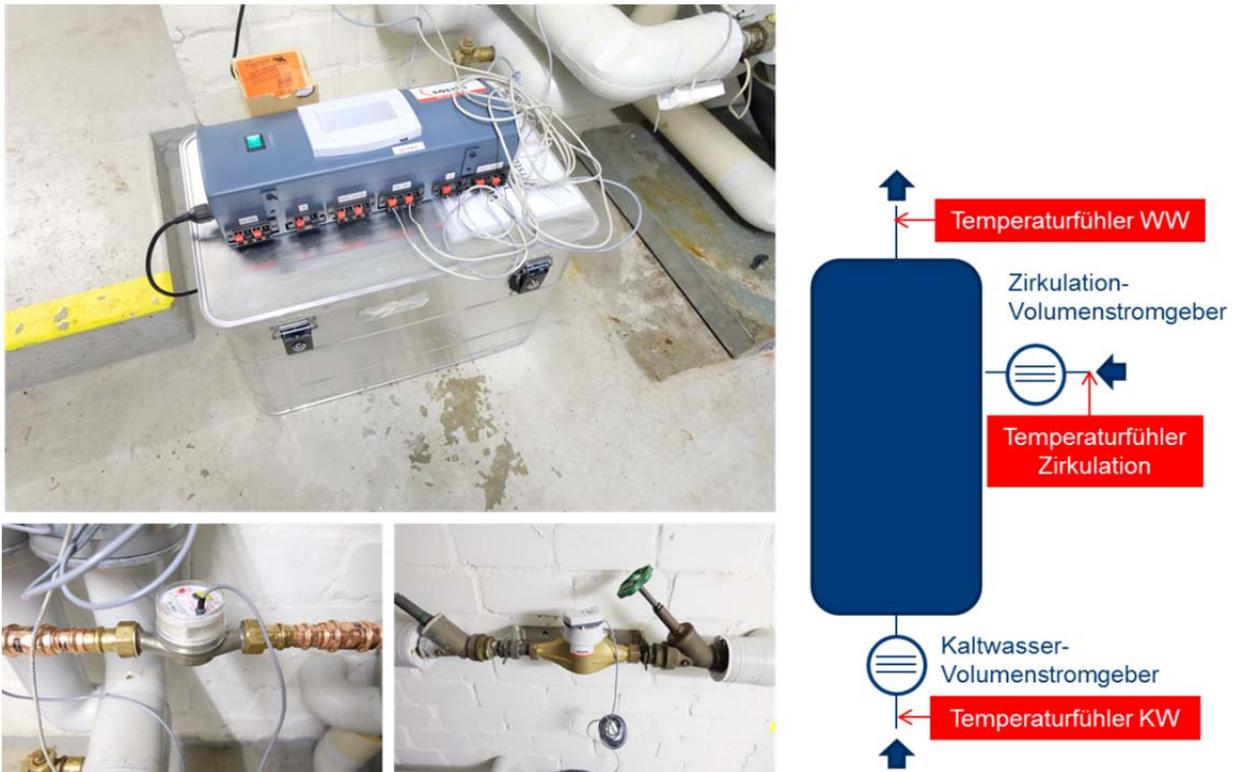


Abbildung 47 SolvisPrelog-Messung im Objekt BS-B23-26, Quelle: Unverzagt

Der Messaufbau ermöglicht die Erstellung von Zapfprofilen für die bedarfsgerechte Anlagenauslegung sowie die Bestimmung der Zirkulationsverluste. Das Messintervall lag verbrauchsabhängig zwischen einer Sekunde und in Zeiten geringer Zapfleistungen bei einer Minute.

Messergebnisse Spitzenvolumenstrom

Die Analyse der Spitzenvolumenströme ist primär für die Auslegung einer Frischwasserstation oder von Durchlaufwasserheizgeräten relevant.

Abbildung 48 zeigt die nach Größe sortierten Zapfvolumenströme im Sekunden- und Minuten-Messintervall, die Maximalwerte liegen bei 31 l/min im Sekunden-Intervall und 27 l/min im Minuten-Intervall.

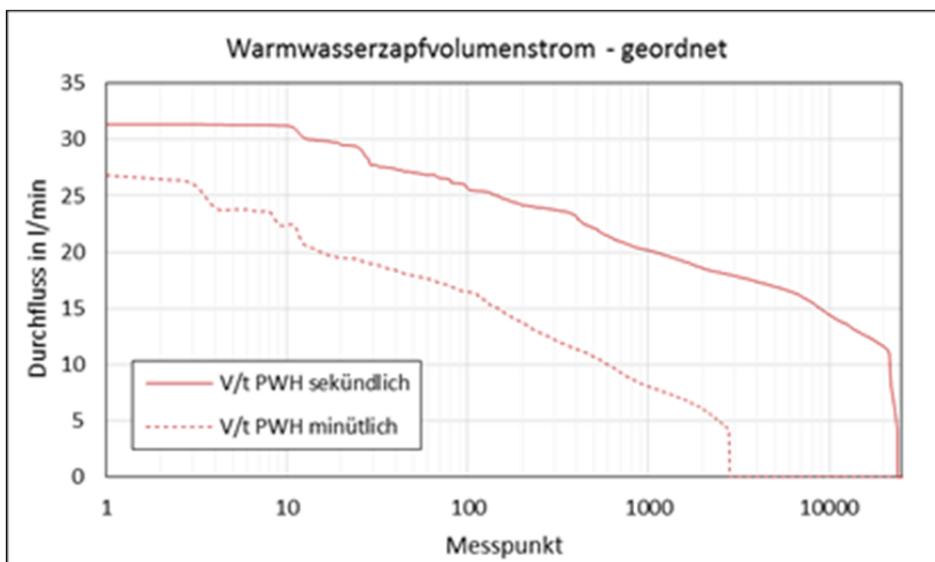


Abbildung 48 geordnete Messwerte Warmwasservolumenstrom, Intervall: Sekunde/Minute

Die Häufigkeit von Zapfspitzen ist in Abbildung 49 dargestellt. Hohe Zapfvolumenströme von größer 20 l/min weisen einen Anteil von nur 0,037 % am Messzeitraum auf, das entspricht ca. 15 Minuten in 28 Tagen.

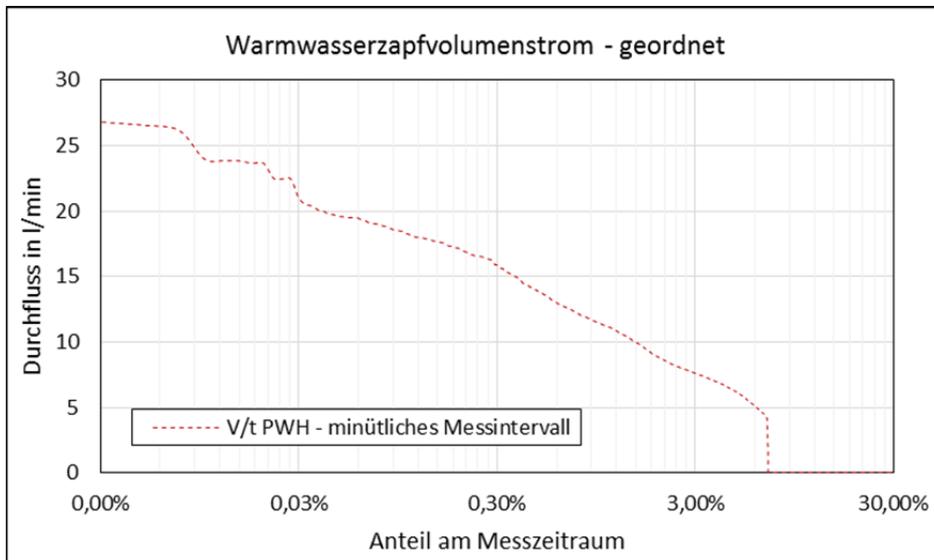


Abbildung 49
geordnete Messwerte
Warmwasservolumen-
strom bezogen auf den
Messzeitraum (100
%=28 Tage)

Zum Vergleich wird der maximale Warmwasservolumenstrom nach DIN 1988 „Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen“ ermittelt. Hiernach ergibt sich ein Spitzendurchfluss von 72 l/min, das entspricht dem 2,3-fachen des Messwertes.

Messergebnisse Zapfprofile

Zapfprofile stellen den Trinkwasserverbrauch in einer Zeitperiode dar und werden für die Auslegung von Speichern und Wärmeerzeugern benötigt. Die folgenden Abbildungen zeigen gemessene Tagesverläufe im 10-Minuten-Intervall. In der Auswertung wird zwischen Wochentagen von Montag bis Freitag und dem Wochenende/Feiertagen unterschieden. Die Verteilung über den Tag verläuft mit Mittags-/Nachmittagsspitze sowie einer Abendspitze recht ähnlich, am Wochenende sind die Spitzenzapfungen nur um 1 bis 2 Stunden verschoben. Auch die maximalen Tageszapfleistungen unterscheiden sich kaum: An einem Werktag beträgt diese 1.141 Liter, an einem Wochenendtag maximal 1.082 Liter.

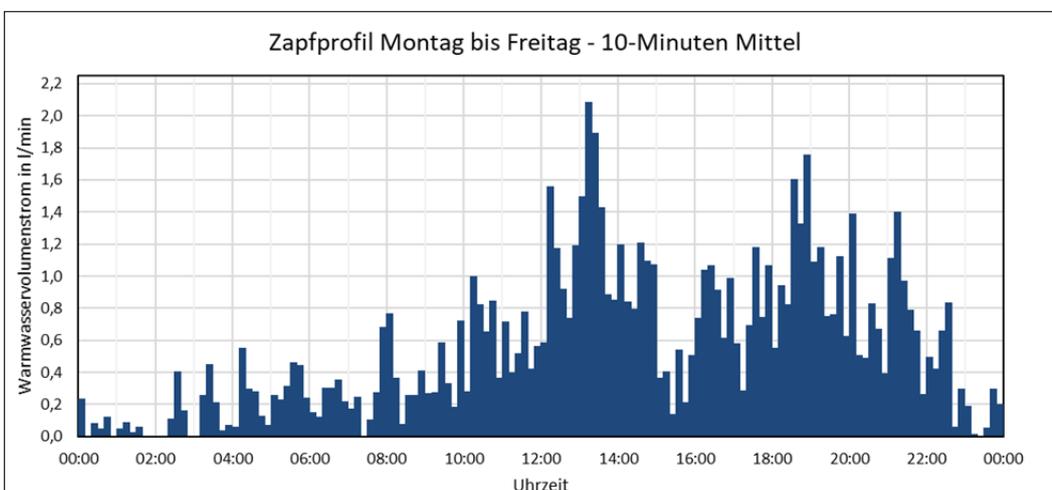


Abbildung 50 Zapfprofil Wochentag (Mo-Fr), 10-Minuten-Mittel

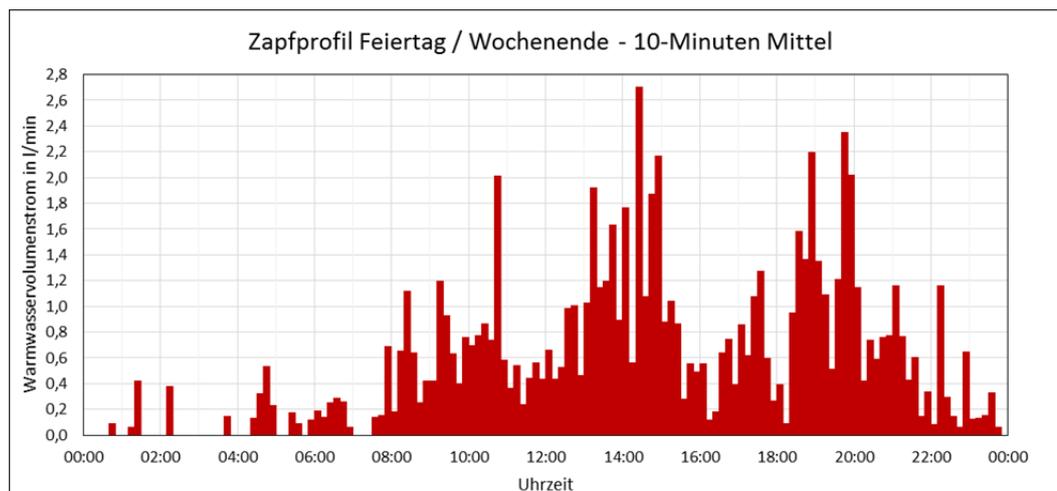


Abbildung 51 Zapfprofil Wochenende/Feiertag, 10-Minuten-Mittel

Die mittlere tägliche Zapfmenge je Person liegt bei 19 Liter pro Person und Tag und damit im üblichen Bereich für einen niedrigen Ausstattungsstandard. Die maximal gemessene Zapfmenge liegt bei 27 Liter pro Person und Tag.

Messergebnisse Kaltwasser-, Warmwasser- und Zirkulationstemperatur

Die gemessenen Trinkwassertemperaturen sind in

Abbildung 52 dargestellt. Auffällig ist die große Schwankungsbreite vor allem der Kaltwassertemperatur. Beim Vergleich der gemessenen Temperaturen mit den erfassten Durchflüssen wird deutlich, dass bei Anlagenstillstand die Kaltwassertemperaturen steigen und die Warmwassertemperaturen sinken. Trotz Dämmung der Rohranlegefühler ist eine Beeinflussung durch die Umgebung gegeben. Eine weitere Erklärung können Rückströmungen bei Anlagenstillstand sein, die zur Anhebung der Kaltwassertemperatur führen. Für die Bestimmung der mittleren Temperaturen von Kalt- und Warmwasser erfolgt daher eine Gewichtung in Abhängigkeit vom Zapfvolumenstrom. Im Mittel beträgt die Kaltwassertemperatur 10,9 °C, während die mittlere Warmwassertemperatur bei 64,6 °C am Speicheraustritt liegt. Die mittlere Zirkulationstemperatur am Speichereintritt beträgt 63,2 °C.

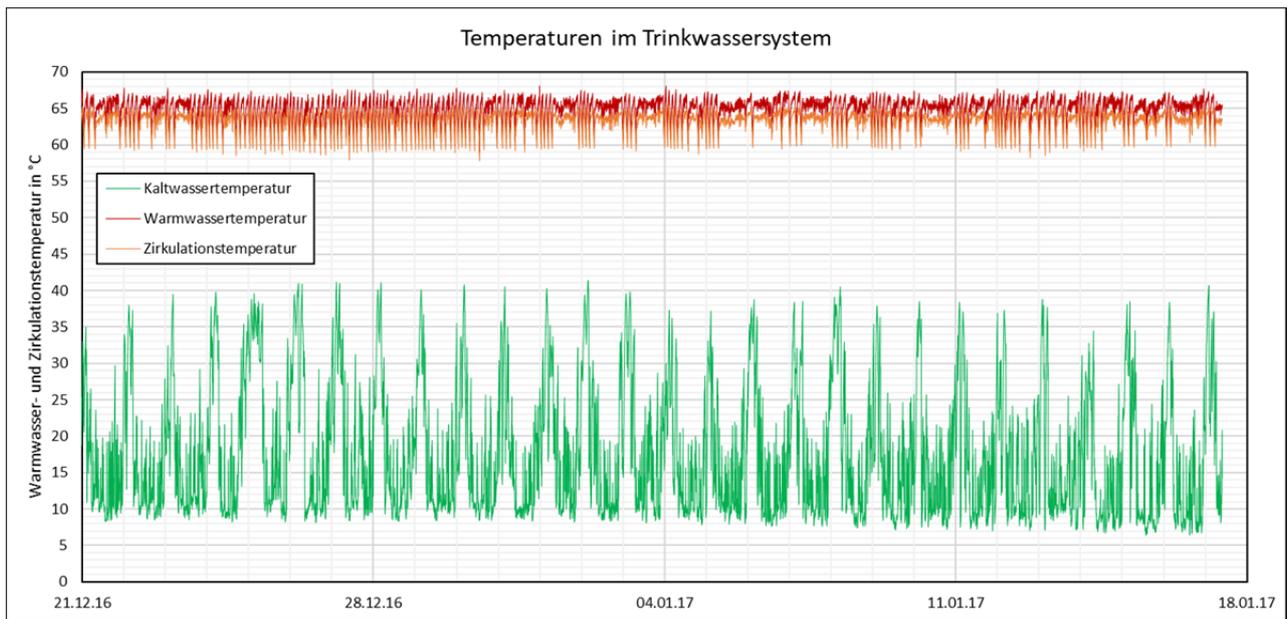


Abbildung 52 Messergebnisse Trinkwassertemperaturen

Zirkulationsvolumenstrom

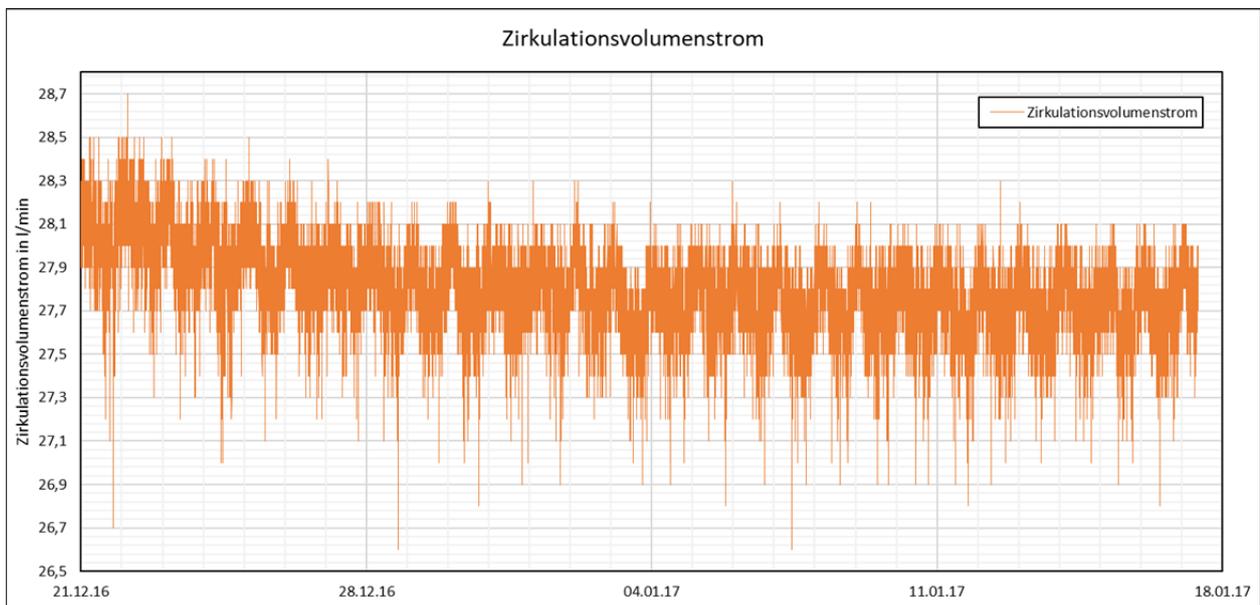


Abbildung 53 Zeitlicher Verlauf Zirkulationsvolumenstrom

Der gemessene Zirkulationsvolumenstrom liegt im Mittel bei 27,8 l/min.

7.2.4.3 Auslegung Trinkwasserbereitung

Systemvariante Frischwasserstation mit Heizungspufferspeicher

In der Frischwasserstation wird das Trinkwasser im Durchfluss durch das Heizungswasser erwärmt. Dieses wird zur Abdeckung von Spitzenlasten im Heizungspufferspeicher bevorratet. Gleichzeitig soll hierdurch ein häufiges Takten des Wärmeerzeugers vermieden werden.

Auslegungsempfehlung Frischwasserstation: Unter der Berücksichtigung der gemessenen Spitzenlasten in Höhe von 31 l/min und einer leerstehenden Wohnung wird ein Auslegungsvolumenstrom der Frischwasserstation von 32 l/min empfohlen. Bei einer Warmwassertemperatur von 60 °C und einer Kaltwassertemperatur von 10 °C entspricht das einer Wärmeleistung von 112 kW.

Auslegung Heizungspufferspeicher: Da von einem Rohrleitungsvolumen größer 3 Liter auszugehen ist, handelt es sich um eine Großanlage. Es müssen dauerhaft (kurzzeitige Unterschreitungen ausgenommen) mindestens 60 °C Trinkwarmwasseraustrittstemperatur bei einer Zirkulationseintrittstemperatur von mindestens 55 °C eingehalten werden.

Die Erfahrungen aus dem Objekt BS-B18-19 mit täglich rund 20 Speicherladezyklen zeigen, dass eine ideale Schichtung nicht zu erwarten ist. Unter der Annahme, dass keine Schichtung des Pufferspeichers möglich ist, ergibt sich die Speichergröße aus der Temperaturdifferenz von maximaler Ladetemperatur und Mindesttemperatur zur Aufrechterhaltung der Trinkwasserhygiene.

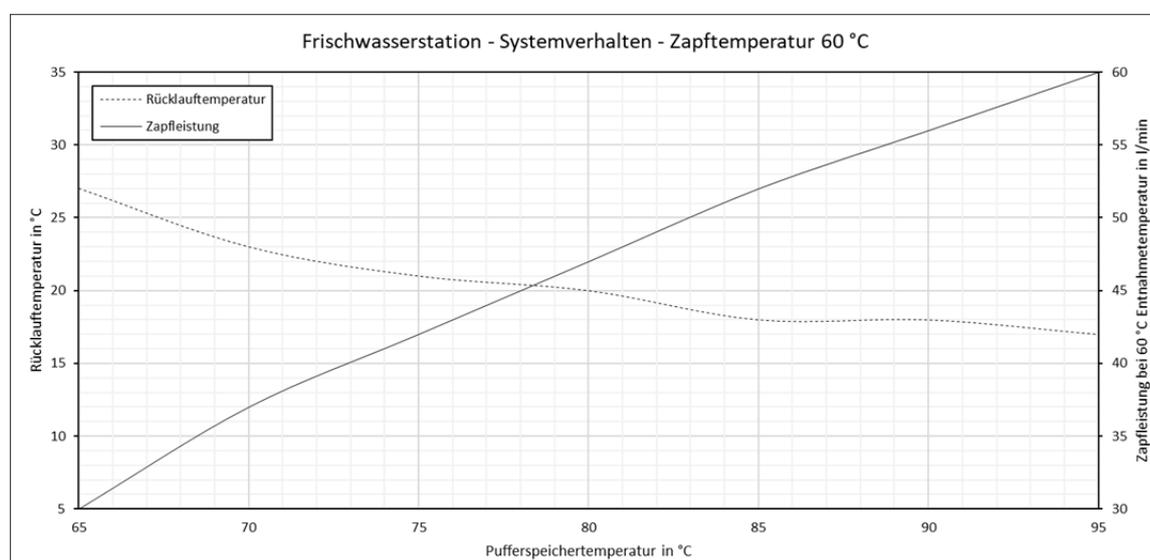


Abbildung 54 Systemverhalten Frischwasserstation Vitotrans 353, Typ PBMA, Nennzapfleistung 48 l/min, Quelle Viessmann

Die maximale Temperatur des Heizwasserpufferspeichers wird mit 90 °C angenommen, da übliche Gasbrennwertkessel und Frischwasserstationen in ihrer Betriebstemperatur auf 95 °C begrenzt sind. Die Mindestpufferspeichertemperatur beträgt 65 °C bei einer gewünschten Trinkwarmwassertemperatur am Austritt der Frischwasserstation von 60 °C. Abbildung 54 zeigt das Systemverhalten: Je höher die Pufferspeichertemperatur und damit die Vorlauftemperatur zur Frischwasserstation desto niedriger wird die Rücklaufftemperatur und desto größer der mögliche Zapfvolumenstrom.

Zur Speicherauslegung wird die durch Messung ermittelte Zapfkennlinie für die Tage Montag bis Freitag verwendet, siehe Abbildung 55.

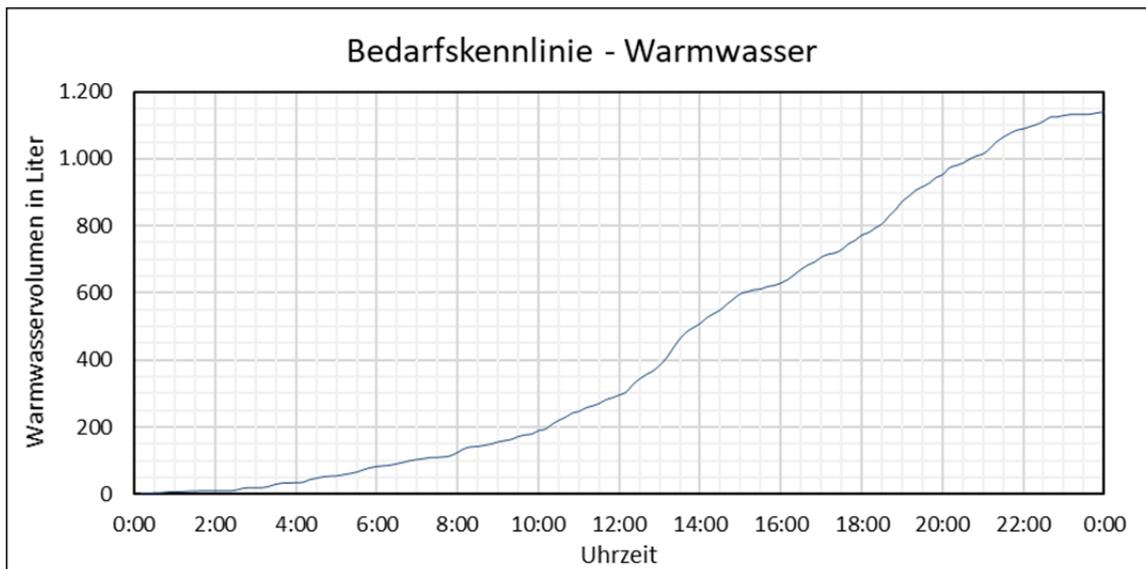


Abbildung 55 Summenlinie Trinkwarmwasserzapfung bezogen auf 60 °C Zapftemperatur

Zusätzlich zum gezapften Trinkwarmwasser muss der Speicher die Zirkulations- und Speicherverluste abdecken:

Gesamtaufwand Trinkwarmwassererwärmung

$$\dot{Q}_{TE} = \dot{Q}_{PWH} + \dot{Q}_{V,PWH-C} + \dot{Q}_{V,PWH-S}$$

mit

\dot{Q}_{TE}	Gesamtaufwand Trinkwarmwassererwärmung in kW
\dot{Q}_{PWH}	Trinkwarmwassernutzen in kW
$\dot{Q}_{V,PWH-C}$	Zirkulationsverlust in kW
$\dot{Q}_{V,PWH-S}$	Speicherverlust inkl. Anschlüsse in kW

- Gemäß EAV beträgt der Gesamtaufwand der Trinkwarmwasserbereitung 7,4 kW. Der Trinkwarmwassernutzen lässt sich aus der gemessenen mittleren täglichen Warmwasserzapfmenge in Höhe von 798 l/d berechnen. Dieser beträgt 2,1 kW.
- Der Zirkulationsverlust wird aus dem gemessenen mittleren Zirkulationsvolumenstrom und der Temperaturdifferenz von Speicherein- und austritt ermittelt und ergibt 3,4 kW.
- Nach Abzug von Trinkwassernutzen und Zirkulationsverlust vom Gesamtaufwand der Trinkwarmwasserbereitung verbleiben rund 1,9 kW für Speicherverluste sowie Rohrleitungs- und Komponentenwärmeverluste.

Der Systemnutzungsgrad der Trinkwarmwasserbereitung liegt bei nur 28 %. Die Zirkulationsverluste sind hoch und übersteigen den Trinkwarmwassernutzen erheblich. Zugängliche Leitungsanlagen sollten geprüft und ggf. ergänzt oder ausgetauscht werden. Es wird davon ausgegangen, dass im Rahmen der Heizungserneuerung im Falle der Beibehaltung einer zentralen Lösung keine nennenswerte Verringerung

möglich ist. Für den Speicheraustausch wird dagegen eine Verringerung auf 1 kW angenommen, vgl. Abbildung 56.

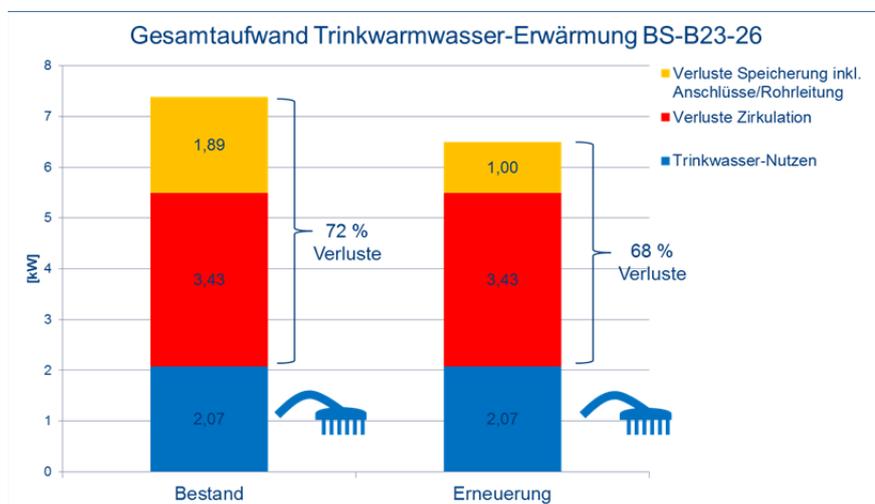


Abbildung 56 Gesamtaufwand Trinkwarmwasser-Erwärmung

Die Konsequenz der hohen Verlustanteile zeigt der Vergleich des Wärmeschaubildes zum Trinkwarmwasser-Nutzen und des Wärmeschaubildes der gesamten Trinkwarmwasser-Erwärmung mit Berücksichtigung aller Verlustanteile.

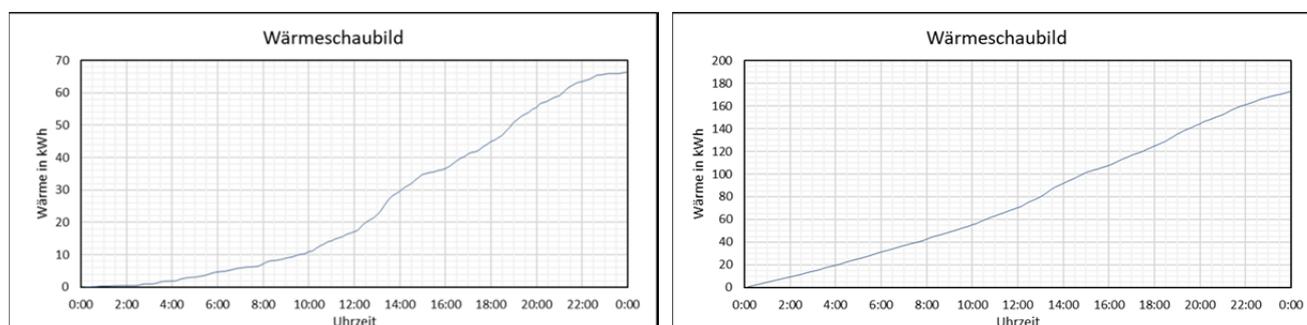


Abbildung 57 Vergleich der Wärmeschaubilder:

links=Trinkwarmwasser-Nutzen ohne Verluste, rechts: Trinkwarmwasser-Aufwand mit Verlusten

Das ursprüngliche Zapfprofil mit deutlich erkennbaren Zapfvorgängen wird in der Darstellung rechts von den Verlusten überlagert. Der Trinkwarmwasser-Aufwand stellt sich als kontinuierliche Nachfrage dar, die durch Zapfvorgänge kaum beeinflusst wird.

Abbildung 58 zeigt die Deckung der Nachfrage mit einem 500-Liter-Pufferspeicher bei Annahme von 70 kW Wärmeerzeugerleistung (Trinkwarmwasservorrangschaltung, für die Speicherbeladung wird die Versorgung der Heizkreise unterbrochen). Die Nachheizung beginnt bei 20 % Füllungsgrad des Speichers, entsprechend einer Speichertemperatur von 70 °C. Der Speicher wird als ideal durchmischter Speicher angenommen und bis circa 90 % Füllungsgrad bei jedem Ladevorgang beladen. Am Tag sind 14 Ladevorgänge mit einer Ladedauer von durchschnittlich 10 Minuten erforderlich. Das Ergebnis korrespondiert mit den am Objekt B-BS18+19 gemessenen Ladevorgängen, vergleiche Kapitel 7.2.3.

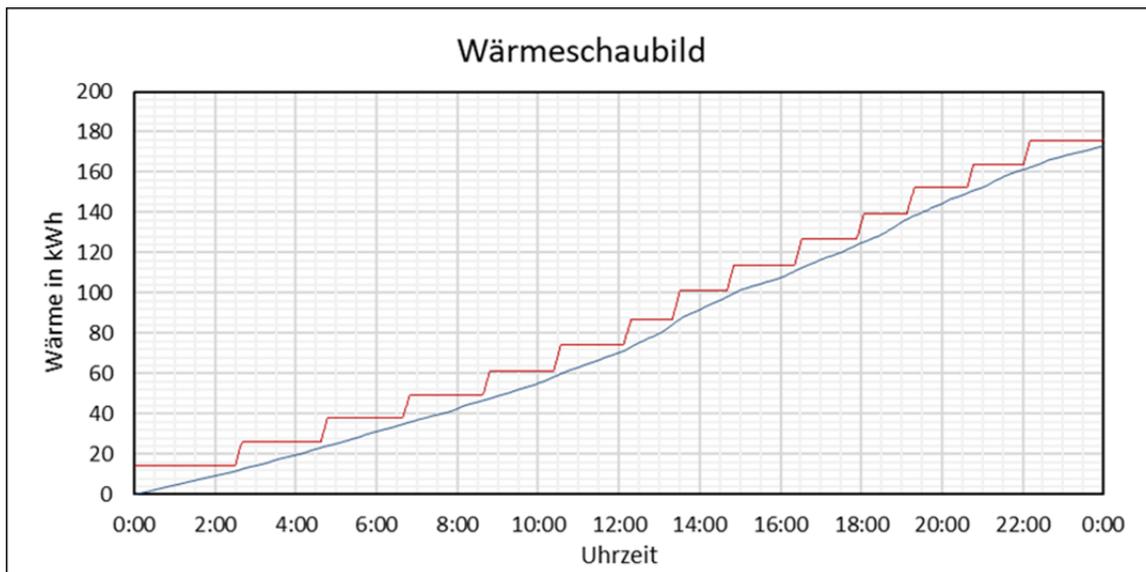


Abbildung 58 Wärmeschaubild mit 500-Liter-Pufferspeicher

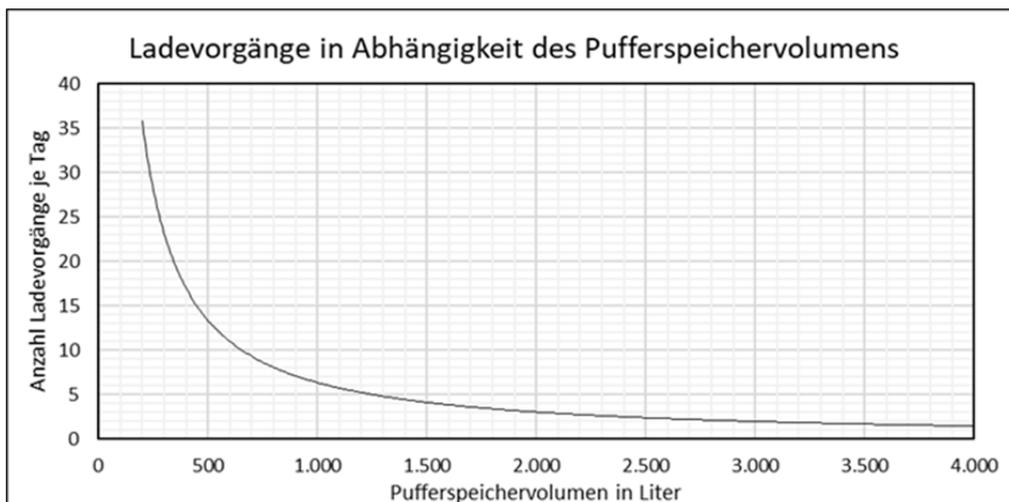


Abbildung 59
Anzahl
Ladevorgänge
/Taktverhalten in
Abhängigkeit
vom
Pufferspeicher-
volumen

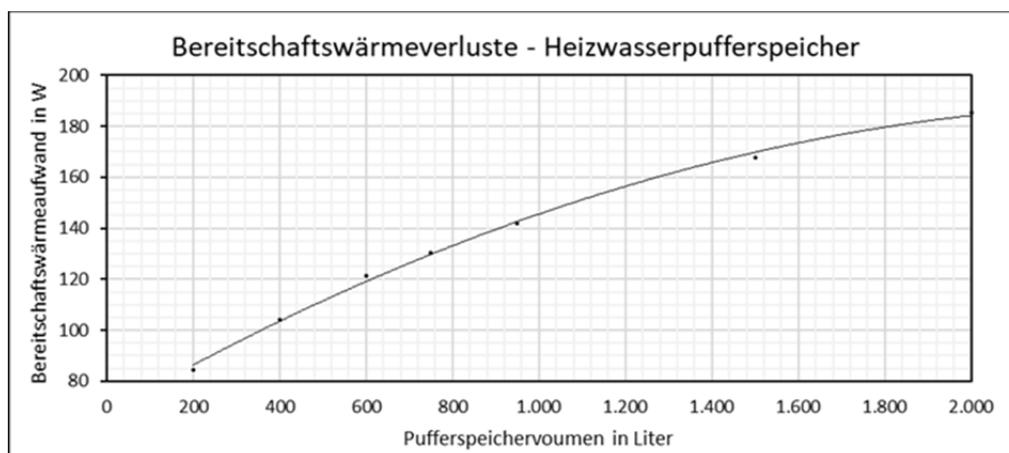


Abbildung 60
Bereitschaftsver-
luste in
Abhängigkeit von
der
Pufferspeicher-
größe, Quelle:
Datenblatt
Viessmann,
Vitocell 100-E

Durch Vergrößerung des Pufferspeichervolumens lässt sich die Anzahl der Ladevorgänge reduzieren, vgl. Abbildung 59. Bis zu einem Volumen von rund 1.000 Liter ist die Anzahl der Ladevorgänge nennenswert beeinflussbar. Die Wärmeverluste steigen bei Vergrößerung des Pufferspeichers von 500 auf 1.000 Liter

um 35 W. Der Einfluss von Anschlüssen, Verschraubungen, Wärmemengenzähler und sonstigen Armaturen, Einbauten und Komponenten ist jedoch deutlich höher einzuschätzen.

Für den Pufferspeicher wird eine Auslegungsempfehlung von 500 bis 750 Liter Nennvolumen gegeben.

Systemvariante Speicherladesystem mit Trinkwarmwasserspeicher

Bei einem Trinkwarmwasserspeicher mit Speicherladesystem ist der Wärmeübertrager zur Warmwasserbereitung extern angeordnet. Der Trinkwarmwasserspeicher wird über eine Schichtladepumpe von oben nach unten „schichtend“ beladen. Das Speicherladesystem bietet den Vorteil niedriger Rücklauftemperaturen sowie einer niedrigeren mittleren Speichertemperatur. Nachteilig ist im Vergleich zu einem System mit Heizwasserpufferspeicher und Frischwasserstation die deutlich größere Menge an gespeichertem Trinkwasser und den resultierenden Nachteilen für die Trinkwasserhygiene.

Abbildung 61 zeigt das Wärmeschaubild für ein 500-Liter-Speicherladesystem bei einer maximalen Ladeleistung von 70 kW. Weitere Berechnungsannahmen sind:

- Speichertemperatur = 65 °C
- Einsetzen der Speicherbeladung bei einem Füllstand von 45 °C
- Speicherbeladung zu 100 %
- Temperatur im unteren Speicherbereich: 25 °C (Bei idealer Schichtung sollte diese der Kaltwassertemperatur entsprechen.)

Die Anzahl der täglichen Ladevorgänge beträgt 11 und liegt damit unter den Ladevorgängen der Systemvariante mit Pufferspeicher und Frischwasserstation, vergleiche Abbildung 62.

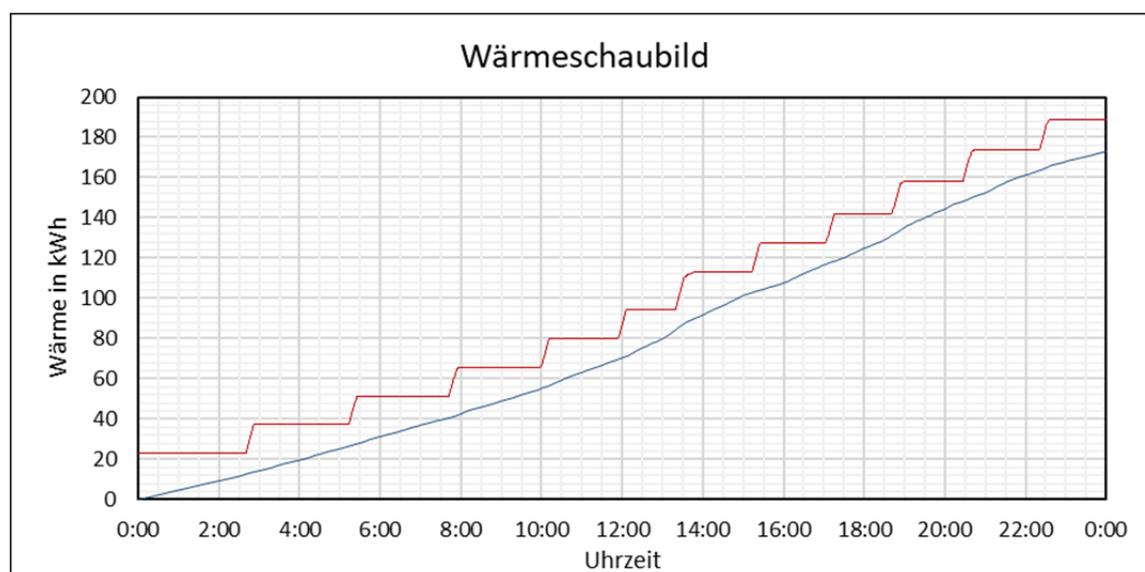


Abbildung 61 Wärmeschaubild mit 500-Liter-Speicherladesystem

Im Bereich geringer Speichervolumina weist das Speicherladesystem Vorteile gegenüber einem System mit Heizwasserpufferspeicher und Frischwasserstation auf, der mit größerem Speichervolumen abnimmt. Auslegungsempfehlung für das Speicherladesystem: Bei einer Übertragungsleistung des Ladesystems von mindestens 70 kW wird ein Speichervolumen von 400 bis 500 Litern empfohlen.

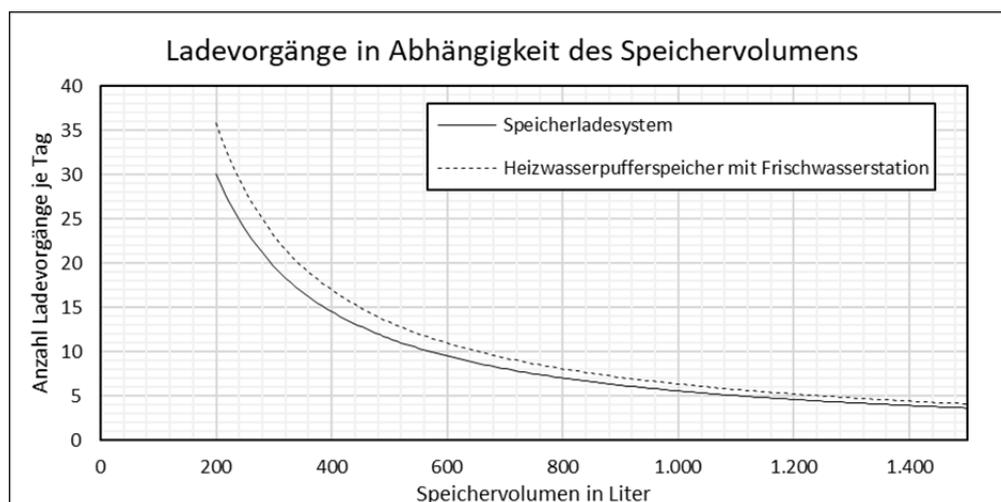


Abbildung 62 Anzahl Ladevorgänge/Taktverhalten in Abhängigkeit vom Speichervolumen

Systemvariante Trinkwarmwasserspeicher mit innenliegendem Wärmeübertrager

Trinkwarmwasserspeicher mit innenliegendem Wärmeübertrager stellen das technisch einfachste System zur Trinkwarmwasserbereitung dar. Die Zerstörung der thermischen Schichtung beim Beladen des Speichers beeinflusst die Erzeugereffizienz negativ. Hinzu kommt das Risiko der Legionellenvermehrung bei der Bevorratung von Trinkwasser. Durch die ungünstigere Mischzonenbildung ist die Gefährdung höher als bei Speicherladesystemen einzustufen. Das System wird daher nicht weiter betrachtet.

Systemvariante PV-Erzeugung auf dem Dach + Elektro-Warmwasserspeicher in jeder Wohnung

Aufgrund des ungünstigen Systemnutzungsgrades der zentralen Trinkwarmwasserbereitung mit hohen Speicher- und Verteilverlusten wird eine Dezentralisierung der Trinkwarmwasserbereitung in Erwägung gezogen. Ein ca. 80 Liter großer Kleinspeicher, beheizt mit elektrischem Heizstab, hätte den Vorteil, dass keine hohen elektrischen Anschlussleistungen benötigt würden. Nach derzeitigem Stand bestünde keine Legionellengefahr. Die Speicherverluste in den Wohnungen werden auf 300 kWh/(Person*a) abgeschätzt. In der Heizperiode sind die Verluste teilweise zur Raumheizung nutzbar. Erträge einer PV-Anlage auf dem Dach könnten den Strombedarf des Heizstabs anteilig abdecken. Der Platzbedarf in den Bädern ist zu prüfen und Erfahrungen zur Mieterakzeptanz wären noch zu sammeln.

7.2.4.4 Auslegung Wärmeerzeuger

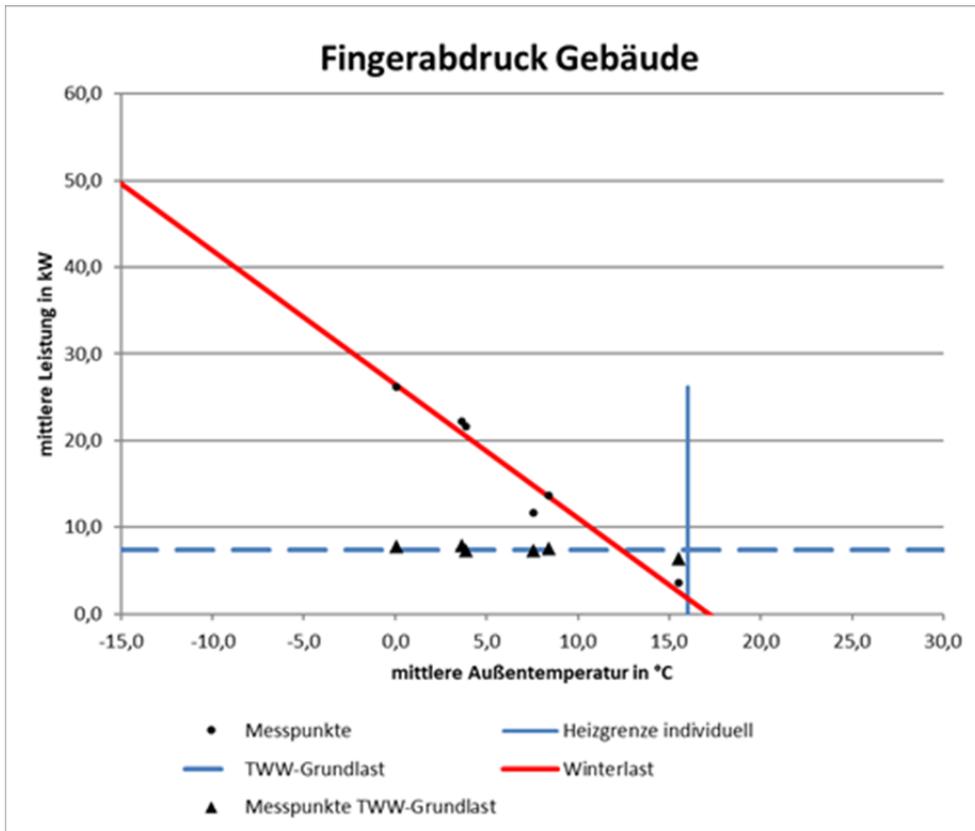


Abbildung 63 Gebäude-EAV Objekt BS-B23-26 von 12/2016 bis 12/2017

Aus der Heizgeraden ergibt sich die Gebäudeheizlast zu 52,5 kW. Verteilverluste sind in diesen Werten bereits enthalten, da sich der Wärmemengenzähler des Heizkreises in der Heizzentrale befindet.

Mit Berücksichtigung einer mittleren Leistung zur Trinkwarmwasserbereitung von 7,4 kW ergibt sich gemäß EAV eine erforderliche Gesamtleistung von 60 kW.

Unter der Berücksichtigung der leerstehenden Wohnung sowie einer geringen Reserve wird eine Kesselnennleistung von 70 kW bezogen auf Auslegungstemperaturen von 80 °C / 60 °C empfohlen. Es sollte ein Wärmeerzeuger ohne Anforderungen an einen Mindestvolumenstrom zum Einsatz kommen.

Bezeichnung	Heizlast	Trinkwarmwasserlast	Gesamtleistung
Normheizlast	52,5 kW	7,39 kW	60 kW
Heizlast (inkl. Gewinne)	46,2 kW	7,39 kW	54 kW
Auslegungsempfehlung Kesselnennleistung:			70 kW

7.2.4.5 Zusammenfassung Auslegungsempfehlungen

Auslegungsempfehlungen für das Objekt BS-B23-26:

Hinweise

- Die Rohrleitungsdämmung ist zu inspizieren und soweit möglich zu vervollständigen und zu verstärken.

Wärmeerzeuger:

- 70 kW Nennleistung, Einsatz eines Wärmeerzeugers ohne Anforderungen an den Mindestvolumenstrom

System der Trinkwarmwasserbereitung

- Variante Heizungspufferspeicher mit Frischwasserstation: 500 bis 750-Liter Pufferspeicher und Frischwasserstation mit Nennvolumenstrom von 32 l/min bei 60 °C
- Variante Speicherladesystem mit Trinkwarmwasserspeicher: 400 bis 500-Liter-Speicher bei einer Wärmeübertragerleistung von 70 kW
- Variante PV-Erzeugung auf dem Dach + Elektro-Trinkwarmwasserspeicher in jeder Wohnung: Die Prüfung dieser Variante der Dezentralisierung wurde auf Basis der gemessenen hohen Verluste der zentralen Trinkwarmwasserbereitung durch die Ostfalia vorgeschlagen. Die hohen Zirkulationsverluste schränken die Auslegungsmöglichkeiten stark ein, Varianten für eine Bevorratung des Tagesbedarfs an Trinkwarmwasser oder als Heizwasser sind nicht sinnvoll möglich. Für die Umsetzung zukünftiger Niedertemperaturanlagen Systeme wie Wärmepumpen sind die hohen, durch die Durchmischung verursachten Speichertemperaturen kontraproduktiv.

7.2.5 Fazit Braunschweig

In Braunschweig zeigen die Detailmessungen zur Trinkwarmwasserbereitung die hohe Bedeutung der Zirkulationsverluste. Der Trinkwarmwasseraufwand stellt sich hierdurch als kontinuierliche, durch Zapfvorgänge kaum beeinflusste Nachfrage dar. Wie in Hannover erscheint die Umstellung auf die Schlüsseltechnologie Wärmepumpen für den nächsten Instandsetzungszyklus des Erzeugers in 20 bis 30 Jahren sinnvoll. Zur Senkung der Systemtemperaturen ist eine Dezentralisierung der Trinkwarmwasserbereitung eine mögliche Variante, die im DBU-Folgeprojekt weiter verfolgt wird.

7.3 gbg: Objekte Hi-E34-42 und D2+4

Die Großsiedlung Hildesheim-Drispstedt entstand zwischen 1959 und 1977 überwiegend als Zeilenbebauung in 3- bis 4-geschossiger Bauweise. Die Energieversorgung Hildesheim (EVI) modernisiert derzeit das bestehende Wärmenetz mit Energiezentrale in der Ehrlicherstr. Im März 2016 wurden die drei Bestands-BHKW-Anlagen durch ein neues gas-betriebenes BHKW mit 2 MW_{th} und 2 MW_{el} ersetzt. Inzwischen ist ein zentraler Kurzzeitwärmespeicher zur Verlängerung der BHKW-Laufzeiten installiert. Die Netztemperaturen wurden inzwischen auf 90 °C Vorlauftemperatur und 70 °C Rücklauftemperatur reduziert. Zukünftig soll verstärkt Solarwärme in das Wärmenetz eingespeist werden. Hier ist eine weitere Absenkung der Netztemperaturen auf ein Temperaturniveau von 70 °C / 40 °C erforderlich.

Neben der sukzessiven Verringerung des Wärmebedarfs der Gebäude müssen die Heizungs- und Trinkwarmwasseranlagen in den Gebäuden mit dem Ziel umgebaut werden, die sekundärseitigen Temperaturen abzusenken. Hierzu werden in den Objekten Hi-E-34-42 und D2+4 fünf verschiedene Ausführungsvarianten umgesetzt. Auf diese Weise sollen Erfahrungen gesammelt werden, zu welchen Gesamtkosten die gebäudeinterne Installation auf Niedertemperaturniveau umgestellt werden kann.

Darüber hinaus werden an den Objekten seit 2014 Komplettmodernisierungen der Gebäudehülle durchgeführt und Lüftungstechnik eingebaut. Nach der Modernisierung erreichen die Objekte den Standard von KfW-Effizienzhäusern 85 und 70 mit den in Abbildung 65 beschriebenen Maßnahmen.

Zum Zeitpunkt der Berichtserstellung ist die Sanierung der Objekte Ehrlicherstr. 34, 36 und 38 weitgehend abgeschlossen, aber die Datenfernauslesung noch nicht möglich, so dass die Auswertung der sanierten Projekte auf das DBU-Folgeprojekt verschoben werden muss.



Abbildung 64 Vor der Modernisierung: Hi-E34-42, D2+4

Hildesheim -Drispenstedt, Modernisierung Hi-E34-42, D 2+4						
Quartier						
Straße	Haus-Nr.	Wohnfläche	Anzahl WE	Effizienzhaus-Standard	Energiesparmaßnahmen Gebäudehülle	Energiesparmaßnahmen Gebäudetechnik
Ehrlicherstr.	34		8	KfW-EH-85	- AW: 12 cm WDVS 032 - DA: 17 cm Vollsparrendämmung 035 - OG: 14 cm 035 - KE: 8 cm PUR von unten - Fe-U-Wert=1,1 W/(m²K)	- zentrale Abluft - TWW=elektrisch - HZG=Fernwärme
	36		8	KfW-EH-70		- zentrale Abluft - TWW-Station - HZG=Fernwärme
	38		8	KfW-EH-70		- LA mit WRG - TWW-Station - HZG=Fernwärme

1.560	24
-------	----

Ehrlicherstr.	40			KfW-EH-70	- AW: 12 cm WDVS 032 - DA: 17 cm Vollsparrendämmung 035 - OG: 14 cm 035 - KE: 8 cm PUR von unten - Fe-U-Wert=1,1 W/(m²K)	- zentrale Abluft - Wohnungsstation - HZG=Fernwärme
	42			KfW-EH-70		- zentrale Abluft - Frischwasserstation + Ultrafiltration - HZG=Fernwärme
Doebnerstr.	2			KfW-EH-70		
	4			KfW-EH-70		

1.988	30
-------	----

Abbildung 65 Energiesparmaßnahmen in Umsetzung, E34 – 42, D2+4

7.3.1 Vorher-Analyse

Vorliegende Verbrauchsdaten: Gasverbräuche und Wärmemengenzählerwerte im wöchentlichen Zeitintervall der beiden Gas-Brennwertkessel in den Heizzentralen Hi-E36 und Hi-E42, die Messperiode umfasst November 2012 bis Juli 2014. Keine Daten liegen zu den Verbräuchen der dezentralen Gasthermen in den Wohnungen vor, die der Trinkwarmwasserbereitung dienen.

Bewertung: Heizgrenzen und h-Werte entsprechen dem üblichen Bereich ungedämmter Bestandsbauten. Im Vergleich zu den untersuchten Bestandsobjekten aus Braunschweig und Hildesheim fallen die Kennwerte jedoch etwas günstiger aus. Ursächlich hierfür sind vermutlich vor allem die Bauweise als Blockrandbebauung, aber auch mögliche interne Wärmegewinne durch Wärmeabgabe der Thermen in den Wohnungen. Die Brennwert-bezogenen Jahresnutzungsgrade der zentralen Erzeuger liegen im ungünstigen Bereich. Eine genauere Analyse ist nicht möglich, da der Austausch bereits erfolgt ist.

Ergebnisse EAV-Analyse Hi-E34-42 und D2+4 vor Modernisierung (ohne TWW)

Objekt	Auswertejahr	beheizte Wohnfläche [m ²]	Heizung	Werte							Bewertung / Bemerkungen
				Q _{E, fossil} kWh/(m ² a)	Q _{WMZ} kWh/(m ² a)	Q _{H+} kWh/(m ² a)	Q _{Sommersockel} kWh/(m ² a)	JNG _{Hs} [.]	h [W/(m ² K)]	Heizgrenze [°C]	
Hi-E34+36+38	11.2012 - 07.2014 (ohne Ablesefehler)	1.560	zentraler Gas-BWK-Kessel (2008) in Nr. 36, dezentrale Gasthermen für TWW	137	112	110	2	0,82	1,93	15,1	schlechte Gebäudeeffizienz, Sommerheizung, schlechte Erzeugereffizienz BWK, dezentraler TWW-Verbrauch in Wohnungen unbekannt
Hi-E40+42 und Hi-D2+4	11.2012 - 07.2014 (ohne Ablesung 13.09.2013 - bis 27.12.2013)	1.988	zentraler Gas-BWK-Kessel (2008) in Nr. 42, dezentrale Gasthermen für TWW	130	96	95	1	0,74	1,82	14,7	schlechte Gebäudeeffizienz, Sommerheizung, sehr schlechte Erzeugereffizienz BWK, dezentraler TWW-Verbrauch in Wohnungen unbekannt
		3.548	133 kWh/(m ² a) mittlerer fossiler Brennstoffeinsatz (Hs) ohne TWW								

Legende:

BWK=Brennwertkessel

JNG=Jahresnutzungsgrad

7.3.2 Detailauswertung Bestand Objekt Hi-E34+36+38

Im Sommer werden rund 3.200 kWh Wärme bzw. 4.200 kWh_{Hs} Erdgas verbraucht. Die Gebäudeheizlast beträgt bei -14 °C Auslegungstemperatur 102 kW.

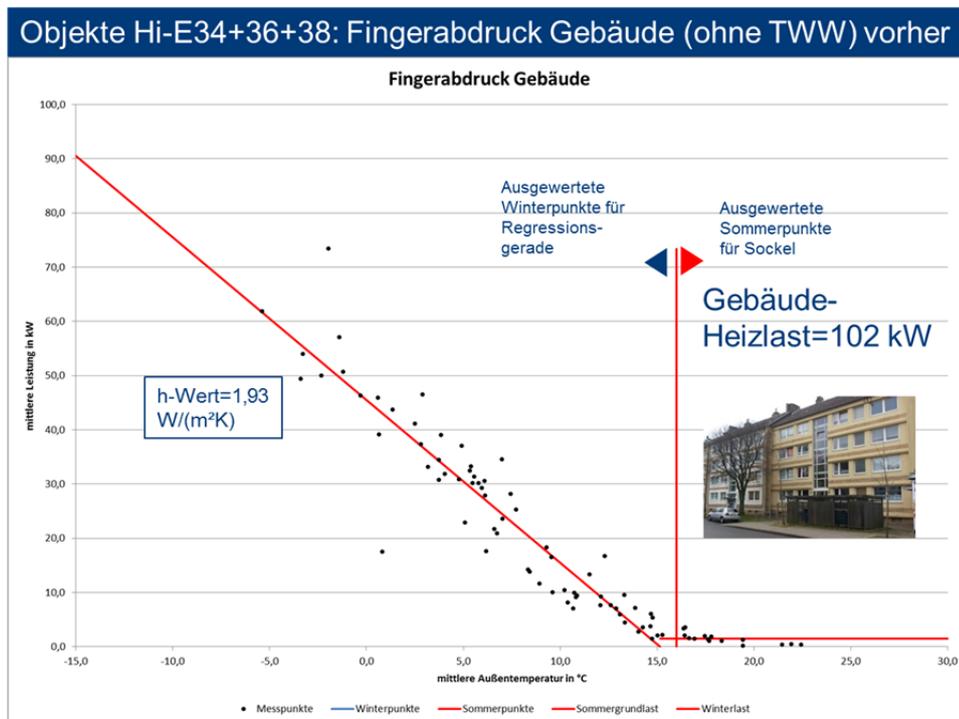


Abbildung 66 Vorher-Gebäude-Fingerabdruck Hi-E34+46+48

Der Bestands-Brennwertkessel Viessmann Vitocrossal 200 aus 2008 mit einer Nennleistung von 125 kW weist geringe Bereitschaftsverluste und einen niedrigen Wirkungsgrad im Realbetrieb auf. Die eingestellte Vorlauftemperatur beträgt 75 °C.

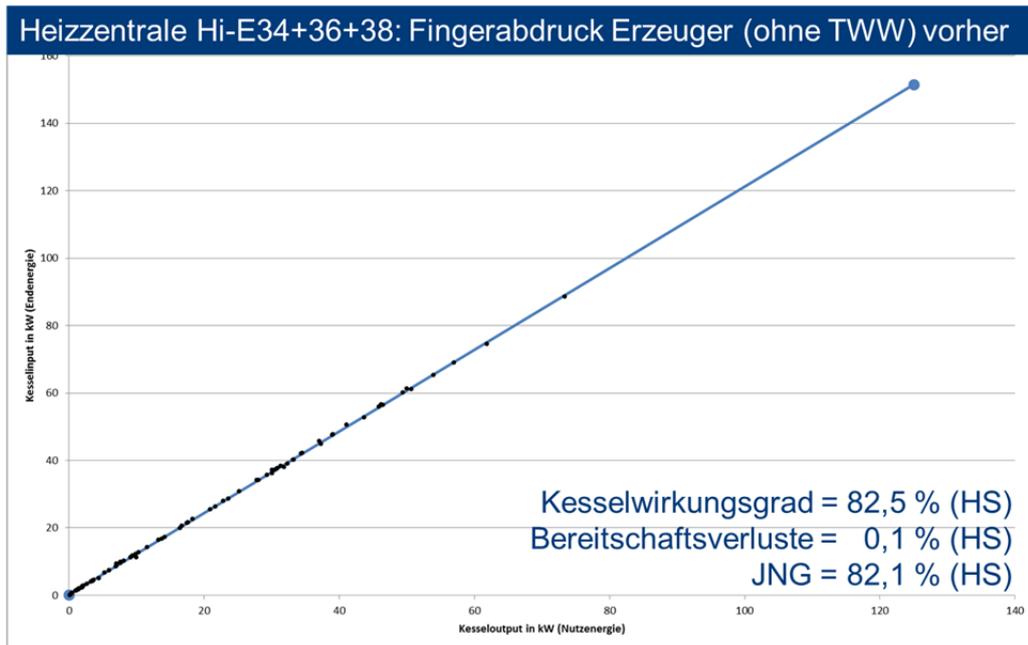


Abbildung 67 Vorher-Erzeuger-Fingerabdruck Hi-E34+46+48

7.3.3 Detailauswertung Bestand Objekt Hi-E40+42,D2+4

Wärmeabnahme bzw. Brennstoffverbrauch im Sommer sind nicht ganz so ausgeprägt wie bei Objekt Hi-E34+36+38, die Sommerheizung liegt bei rund 1.300 kWh Wärme bzw. 2.500 kWh_{HS} Erdgas. Die Gebäudeheizlast beträgt bei -14 °C Auslegungstemperatur 123 kW.

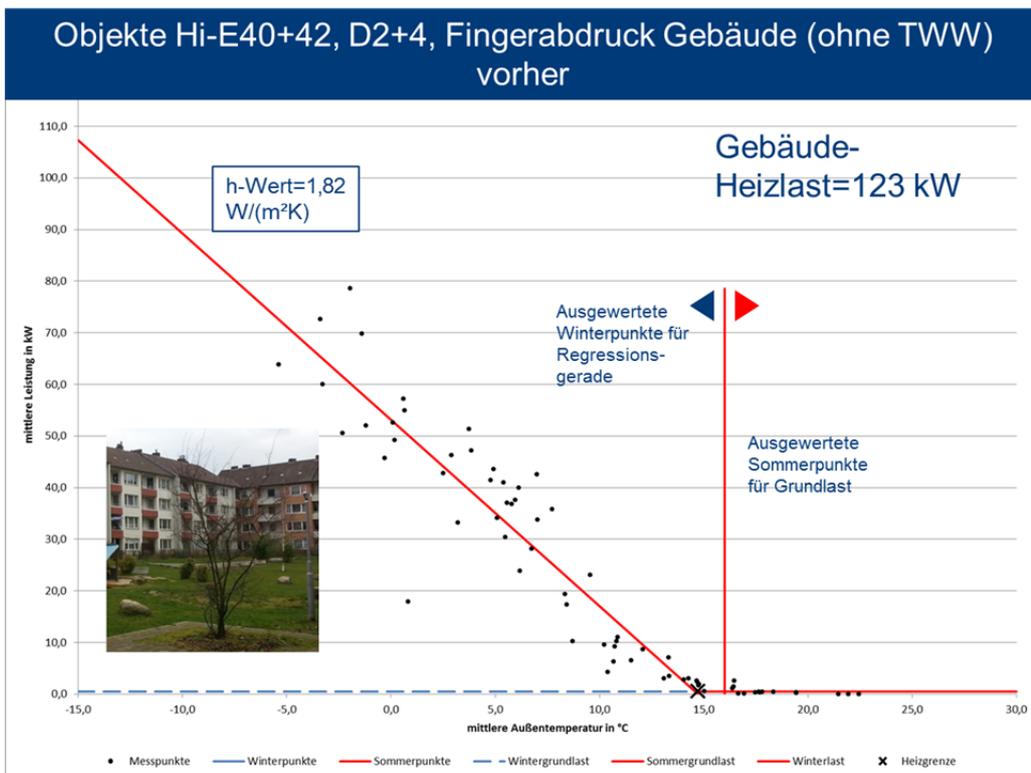


Abbildung 68 Vorher-Gebäude-Fingerabdruck Hi-E40+42,D2+4

Der Bestands-Brennwertkessel Viessmann Vitocrossal 200 aus 2008 mit einer Nennleistung von 170 kW läuft mit einer eingestellten Vorlauftemperatur von 75 °C. Die Auswertung der Messwerte zeigt zunächst einen ungewöhnlichen Erzeuger-Fingerabdruck, siehe Abbildung 69: Im Bereich kleiner Leistungsabnahmen ist der Brennstoffverbrauch ungewöhnlich hoch. Diese Messwerte liegen in der Periode 13.09.2013 bis 27.12.2013. Womöglich lief der Erzeuger einige Zeit mit fehlerhafter Einstellung, die anschließend behoben wurde. Nach Ausschluss dieser Periode ergibt sich eine plausible Regression, siehe Abbildung 70 mit leicht verbessertem Brennwert-bezogenen Jahresnutzungsgrad, der immer noch im sehr ungünstigen Bereich liegt.

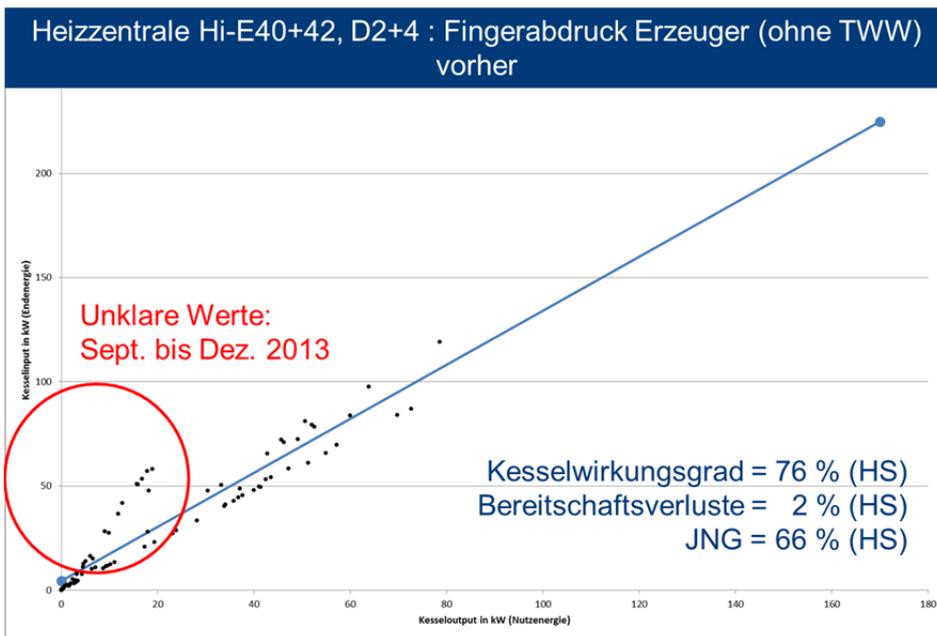


Abbildung 69 Vorher-Erzeuger-Fingerabdruck Hi-E40+42,D2+4

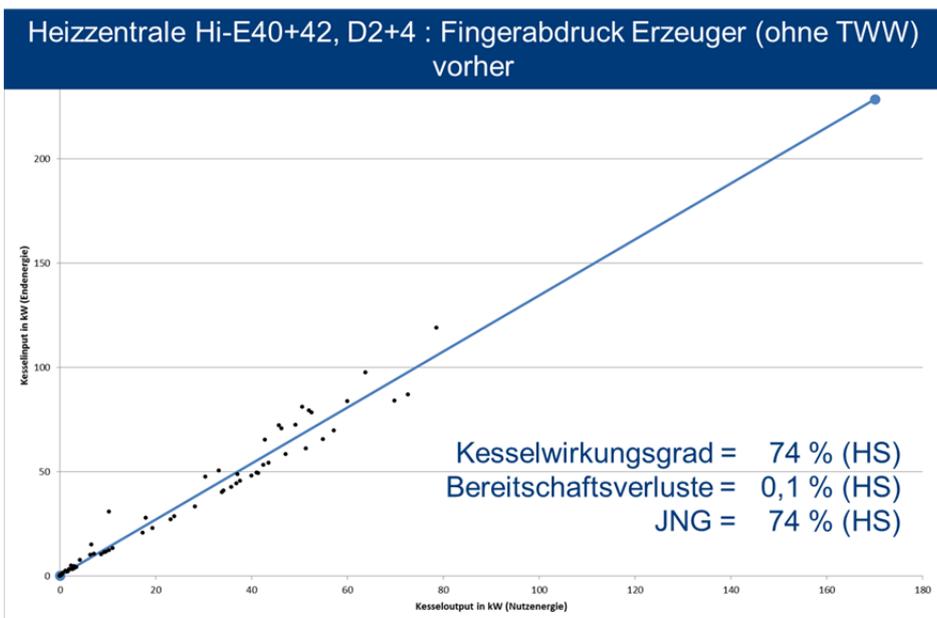


Abbildung 70 Vorher-Erzeuger-Fingerabdruck Hi-E40+42,D2+4, ohne 13.09. bis 27.12.2017

7.3.4 Ausblick Hildesheim

In Hildesheim wird das Monitoring im Rahmen des DBU-Folgeprojektes insbesondere wichtige Erfahrungen zu den umgesetzten Systemen der Trinkwarmwasserbereitung zeigen: Elektronisch geregelte Durchlauferhitzer, Trinkwasserstationen, Wohnungsstationen sowie Ultrafiltration mit Frischwasserstation sind als Systemvarianten in den Objekten umgesetzt. Die Entwicklung der Wärmenachfrage im Quartier sowie die Absenkung der Netztemperaturen wird weiter verfolgt werden.

7.4 GEWOBA Energie GmbH

GEWOBA Energie versorgt als 100%ige Tochter der GEWOBA rund 12.000 Wohnungen mit Energie. Für die Abrechnungsperiode 2015/2016 liegen für 118 Heizungsanlagen jährliche Gas- und Wärmemengenzählerwerte vor, so dass ein guter Gesamteindruck zum Realbetrieb der Anlagen entsteht.

7.4.1 Auswertung Jahresnutzungsgrad Heizungsanlagen

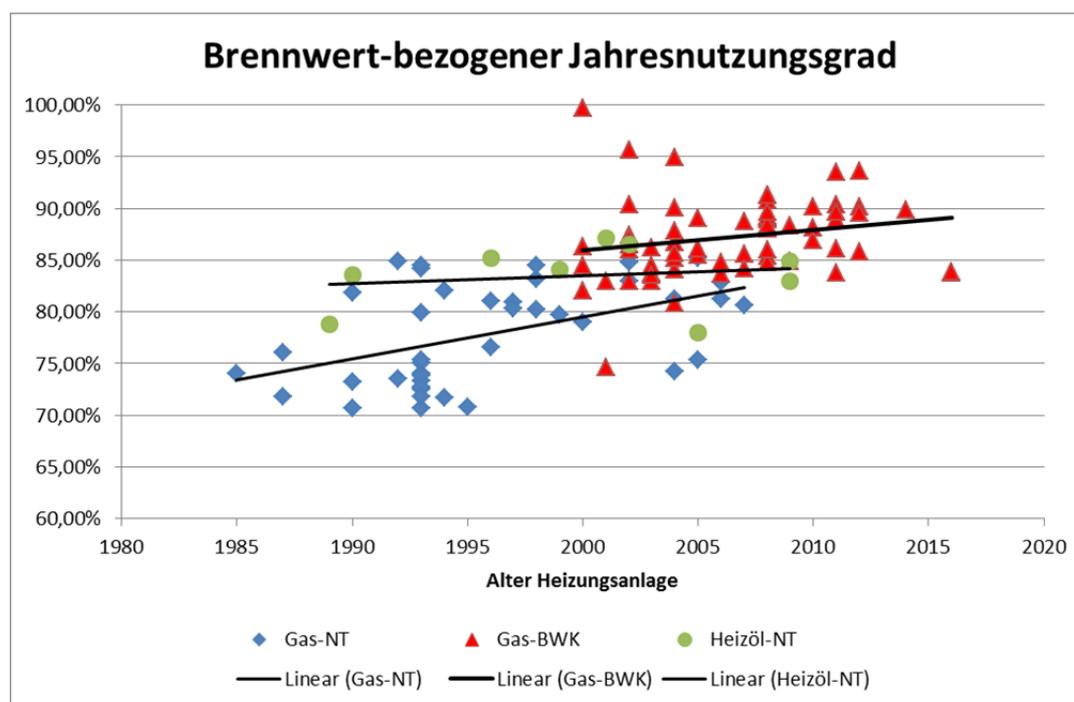


Abbildung 71 Brennwert-bezogener Jahresnutzungsgrad Heizungsanlagen GEWOBA Energie

Abbildung 71 zeigt die Brennwert-bezogenen Jahresnutzungsgrade von 115 Heizungsanlagen der GEWOBA-Energie, aufgetragen über das Heizungsalter. Die Heizungsanlagen versorgen Liegenschaften mit einer Wohnfläche von 200 bis 43.000 m², die durchschnittlich versorgte Fläche beträgt 4.300 m².

Die Kennwerte sind aus 2015/2016 gemessenen Wärmemengen und Brennstoff-Verbräuchen ermittelt:

- 41 Gas-Niedertemperatur-Anlagen: Das Alter der Erzeuger beträgt durchschnittlich 22 Jahre. Der Jahresnutzungsgrad der Anlagen liegt bei starker Streuung der Werte **im Mittel bei 80 %**. Zwischen 1985 und 2007 zeigt die Trendlinie einen Anstieg des JNG von 73 % auf 83 %.
- 9 Heizöl-Niedertemperaturanlagen: Das Alter der Erzeuger beträgt durchschnittlich 18 Jahre. Der Jahresnutzungsgrad der Anlagen liegt bei starker Streuung der Werte **im Mittel bei 82 %**. Zwischen 1989 und 2009 zeigt die Trendlinie einen Anstieg des JNG von 83 % auf 84 %.
- 65 Gas-Brennwertkessel-Anlagen: Das Alter der Erzeuger beträgt durchschnittlich 11 Jahre. Der Jahresnutzungsgrad der Anlagen liegt bei starker Streuung der Werte **im Mittel bei 87 %**. Zwischen 2000 und 2016 zeigt die Trendlinie einen Anstieg des JNG von 86 % auf 89 %. Die leichte Verbesserung des Brennwertnutzens ist vermutlich auf verbesserte Gerätequalitäten und/oder Ausführungsstandards zurückzuführen. Die Auswertung von gemessenen Kondensatmengen im Rahmen der Aktion Brennwertcheck der Verbraucherzentrale zeigen eine ähnliche Richtung [29], siehe Abbildung 72.

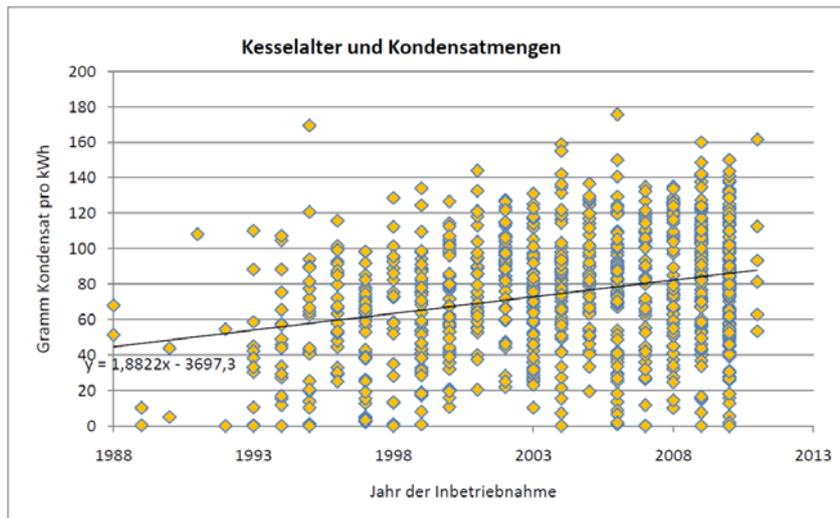


Abbildung 72 Kesselalter und Kondensatmenge, Messergebnis Aktion Brennwertcheck der Verbraucherzentrale, Juli 2011 [29]

Im Vergleich zu den Ergebnissen des „Gutachten zur Ermittlung von anerkannten Pauschalwerten für den Jahresnutzungsgrad von Heizungsanlagen“ vom Institut „Energiefragen der Immobilienwirtschaft“ der EBZ Business School [9] schneiden die Anlagen von GEWOBA Energie im Durchschnitt deutlich besser ab. Das EBZ hat für 2.847 wohnwirtschaftliche Heizungsanlagen und 403 Contractoren-Anlagen die heizwertbezogenen Jahresnutzungsgrade publiziert: Ab 1995 installierte Brennwert-Anlagen zur Heizung und Warmwasserbereitung in der Leistungsklasse 100 bis 150 kW erreichen einen heizwertbezogenen Jahresnutzungsgrad von nur 82,3 % siehe Abbildung 73. Bei Annahme eines Umrechnungsfaktors von 1,11 ergibt sich ein brennwertbezogener Jahresnutzungsgrad von 74,1 %, das sind rund 13 Prozentpunkte niedriger als die Anlagen von GEWOBA Energie.

Angesichts der starken Streuung der im Feld ermittelten Jahresnutzungsgrade ist von einer Anwendung der Pauschalwerte nach [9] zur Modernisierungsplanung von Heizungsanlagen abzuraten.

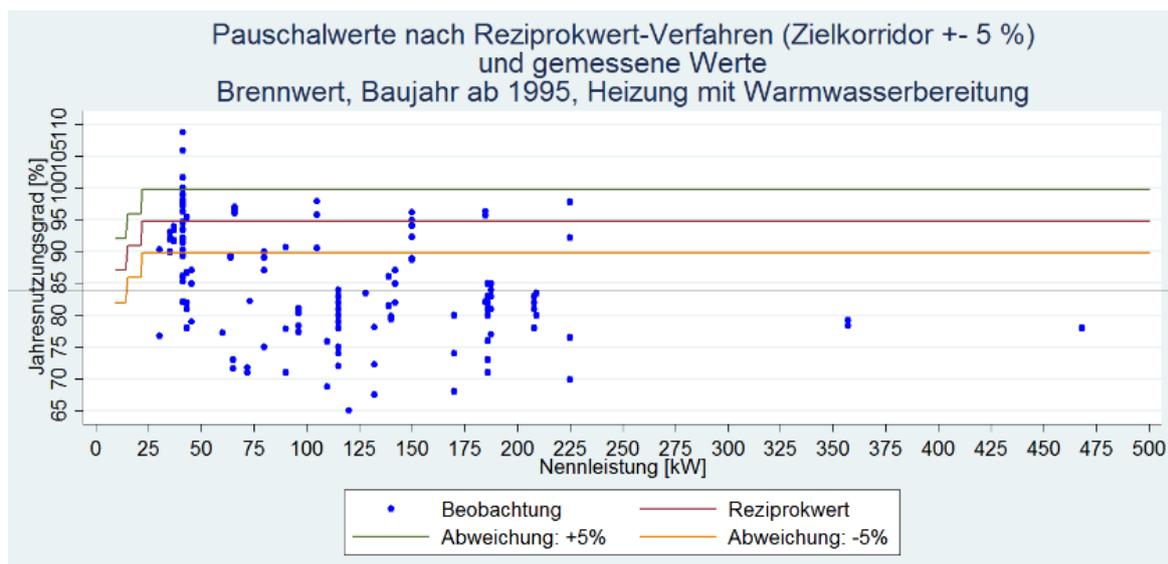


Abbildung 73 heizwertbezogener Jahresnutzungsgrad, Ergebnisse für Brennwertkessel ab 1995, Heizungsanlagen mit Warmwasserbereitung, EBZ School Bochum[9]

Sowohl das EBZ-Gutachten [9] als auch die Ergebnisse der Aktion Brennwertcheck [29] lassen bei zunehmenden Volllaststunden eine Verschlechterung des Jahresnutzungsgrads bzw. der gemessenen Kondensatmengen erkennen, siehe Abbildung 74. In beiden Untersuchungen sind die Volllaststunden aus der Brennstoffmenge bezogen auf die Kesselleistung abgeleitet. Bei korrekter Ermittlung der Volllaststunden aus der Wärmeabgabe lässt sich eine negative Beeinflussung des Jahresnutzungsgrads durch die Volllaststunden nicht bestätigen, vergleiche Abbildung 75 und Abbildung 76.

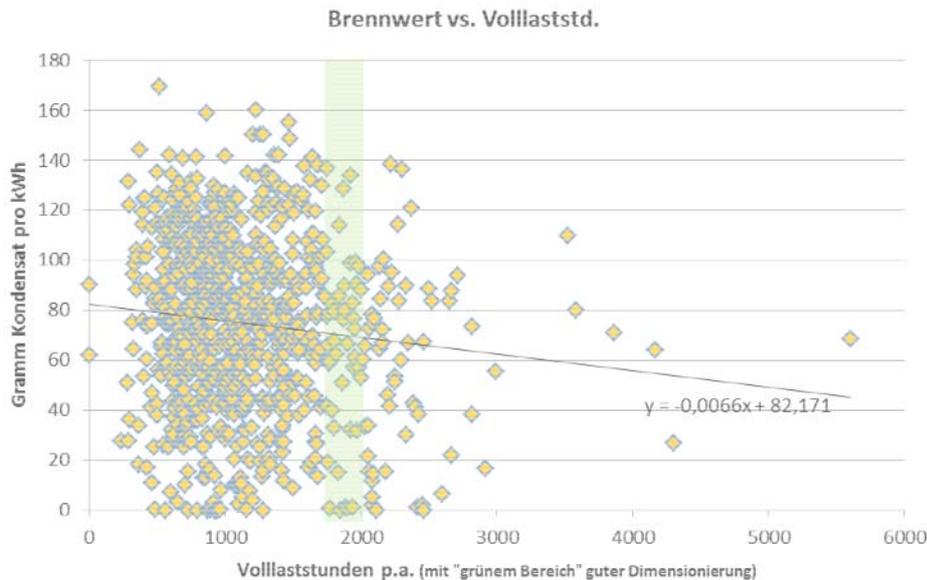


Abbildung 74 Kondensatmenge in Abhängigkeit von den Volllaststunden, Messergebnis Aktion Brennwertcheck der Verbraucherzentrale, Juli 2011 [29]

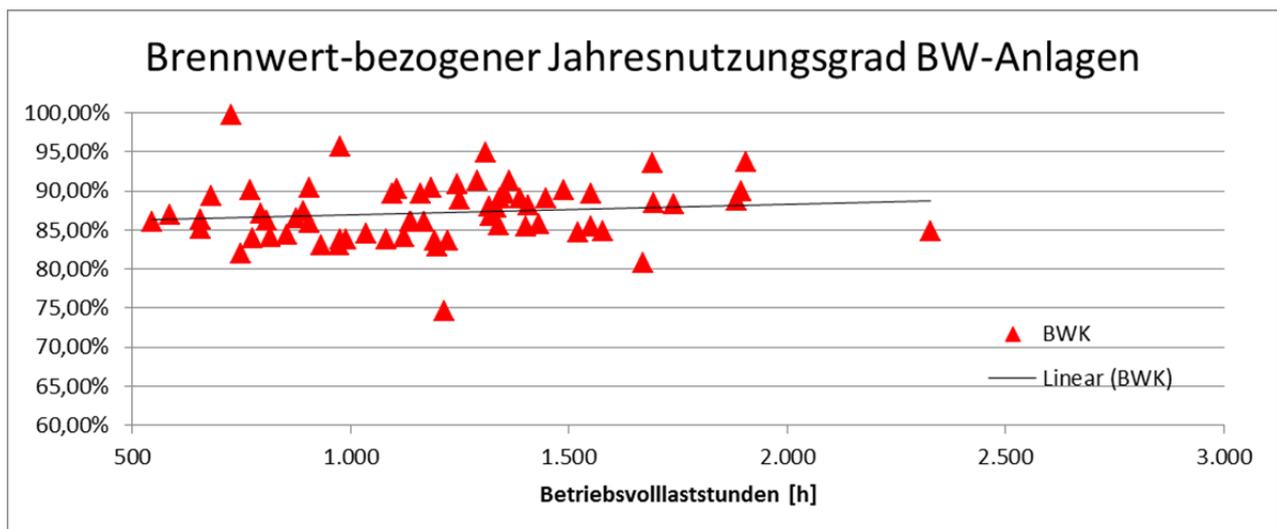


Abbildung 75 brennwertbezogener Jahresnutzungsgrad Brennwert-Heizungen Gewoba Energie

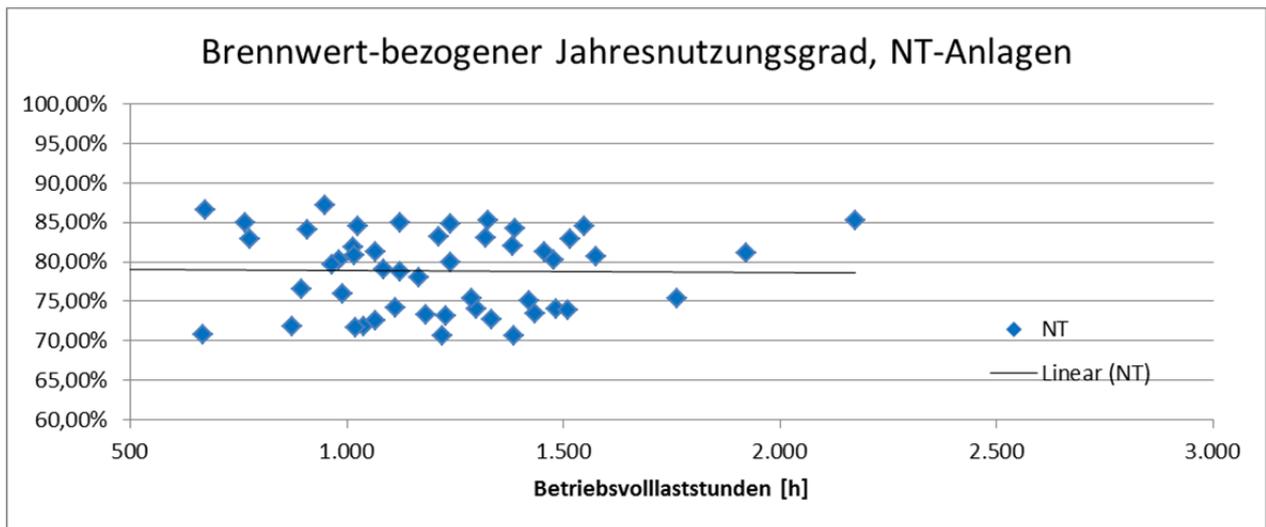


Abbildung 76 brennwertbezogener Jahresnutzungsgrad NT-Heizungen Gewoba Energie

Für Prognosen der Erzeugerverluste kann Abbildung 77 herangezogen werden. In Abhängigkeit vom spezifischen Wärmeverbrauch der Objekte lassen sich die Erzeugerverluste abschätzen.

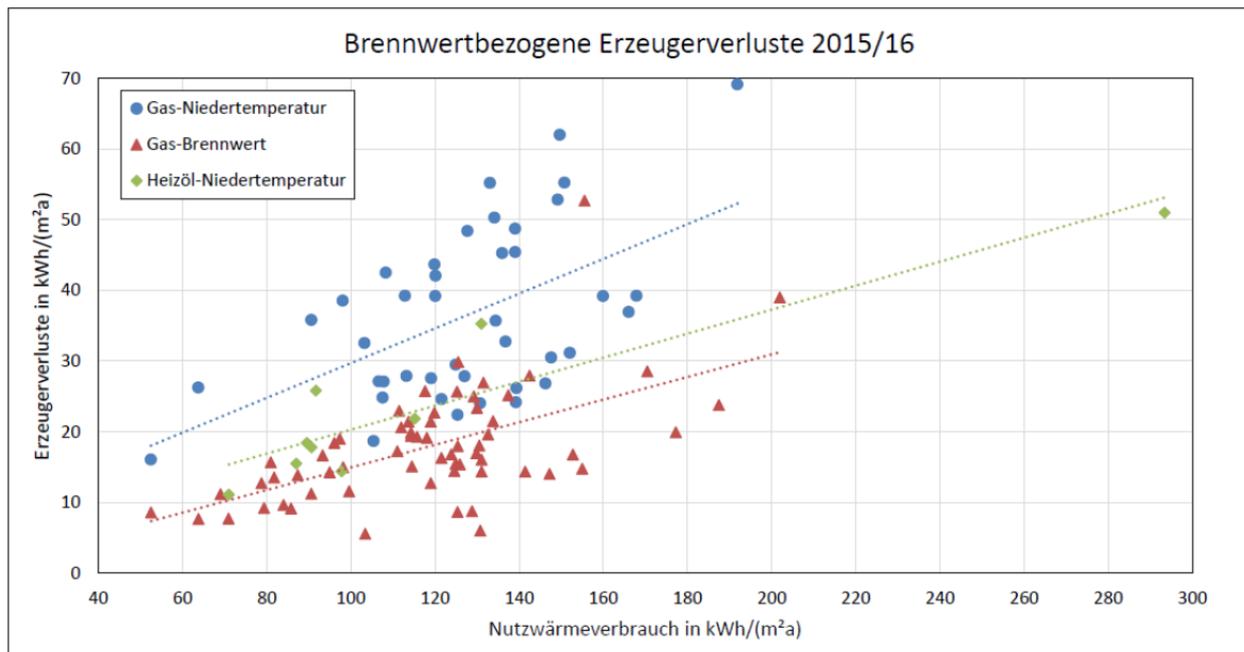


Abbildung 77 Erzeugerverluste in Abhängigkeit vom Wärmeverbrauch

7.4.2 Stichproben-Begehung einzelner Heizzentralen

Um die Ergebnisse der Jahresnutzungsgrade einzelner Erzeuger besser einschätzen zu können, wurden am 31.03.2017 drei Heizzentralen (Objekte B-B14-18, B-R21-25-M145-147, H-HB24) besichtigt, von denen die ersten beiden einen guten und die Heizzentrale von Objekt H-HB24 einen ungünstigen Jahresnutzungsgrad aufweist. Darüber hinaus wurde auf Wunsch von GEWOBA Energie anstelle der ursprünglich geplanten BHKW-Untersuchung ein neues Objekt B-T14-18 aufgenommen, das im Anlagenbetrieb Probleme bereitet. Am 2.06.2017 erfolgte eine erste Bestandsaufnahme vor Ort.

7.4.2.1 Gute Erzeugereffizienz: Objekt B-B14-18



Objekt B-B14-18 ist ein 4-geschossiges Mehrfamilienhaus mit drei Hauseingängen. Im Gebäude befinden sich 24 Wohnungen mit durchschnittlich 52 m² Wohnfläche, in Summe beträgt die Wohnfläche 1.243 m². Es handelt sich um einen sehr kompakten Gebäudetyp, der vermutlich in den 50ziger Jahren errichtet wurde. Die Fassade ist nachträglich mit einem Wärmedämm-Verbundsystem versehen und die Kellerdecke von unten gedämmt.

Abbildung 78 Objekt B-B14-18

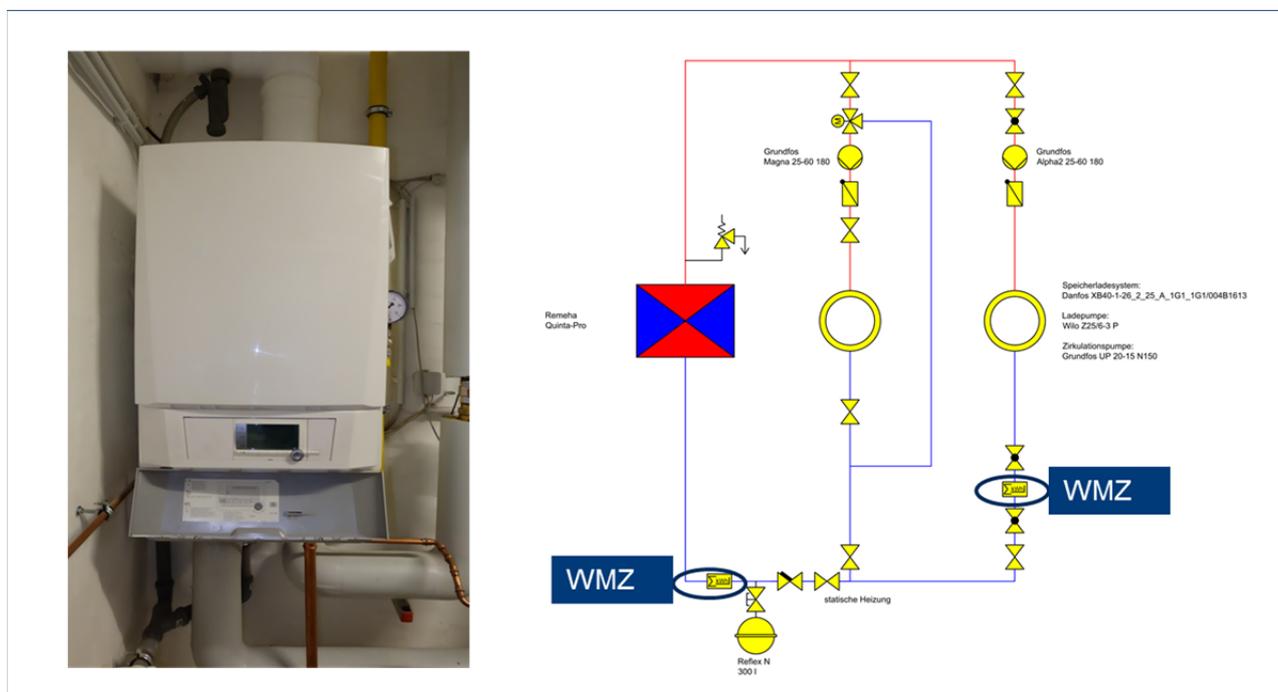


Abbildung 79 Gas-Brennwerttherme und Heizungsschema B-B14-18

Als Wärmeerzeuger ist in der Heizzentrale eine Gas-Brennwerttherme vom Typ „Remeha Quinta Pro 90 kW“ mit einem Modulationsbereich von 16 % bis 100 % installiert. Die Anlage aus dem Jahr 2011 dient sowohl der Raumheizung als auch der Trinkwarmwasserbereitung.

In der Abrechnungsperiode 2015/2016 erreichte Kennwerte:

- Jahresgas-Verbrauch (2015/2016)=95 kWh/(m²a)
- WMZ(Gesamt)-Verbrauch (2015/2016)=85 kWh/(m²a)
- JNG = 90 % brennwertbezogen

Die Erzeugereffizienz liegt im günstigen Bereich. Obwohl die Dämmung der Verteilungen in insgesamt guter Qualität umgesetzt ist, ist das Temperaturniveau in der Heizzentrale vergleichsweise hoch, weil an der Rohrleitung zum Druckausdehnungsgefäß eine hohe Wärmeabgabe festzustellen ist. Eine Recherche zu Herstellerunterlagen von Rohrdämmungen ergab, dass die Ausführungsempfehlungen noch optimierbar

sind. Ähnlich wie bei der Gebäudedämmung könnten herstellerseitig Standarddetails oder gute Beispiele entwickelt werden.



Abbildung 80 Wärmebrückeneffekt am Abweig zum Ausdehnungsgefäß: Zur Vermeidung von Wärmeabgabe wäre eine flankierende Dämmung sinnvoll.

7.4.2.2 Gute Erzeugereffizienz: Objekt B-R21-25-M145-147

Objekt B-R21-25-M145-147 ist eine 4-geschossige kompakte Blockeckbebauung mit Innenhof. Im Gebäude befinden sich 30 Wohnungen und zwei Gewerbeeinheiten, in Summe beträgt die Wohn- und Gewerbefläche 2.368 m². Fassaden und Kellerdecke sind ungedämmt, das Gebäudealter ist nicht bekannt.



Abbildung 81 B-R21-25-M145-147

Als Wärmeerzeuger ist in der Heizzentrale ein Gas-Brennwertkessel vom Typ „Remeha Gas 210 Eco Pro 160“ mit einem Modulationsbereich von 29 bis 166 kW installiert. Die Anlage aus dem Jahr 2012 dient sowohl der Raumheizung als auch der Trinkwarmwasserbereitung.

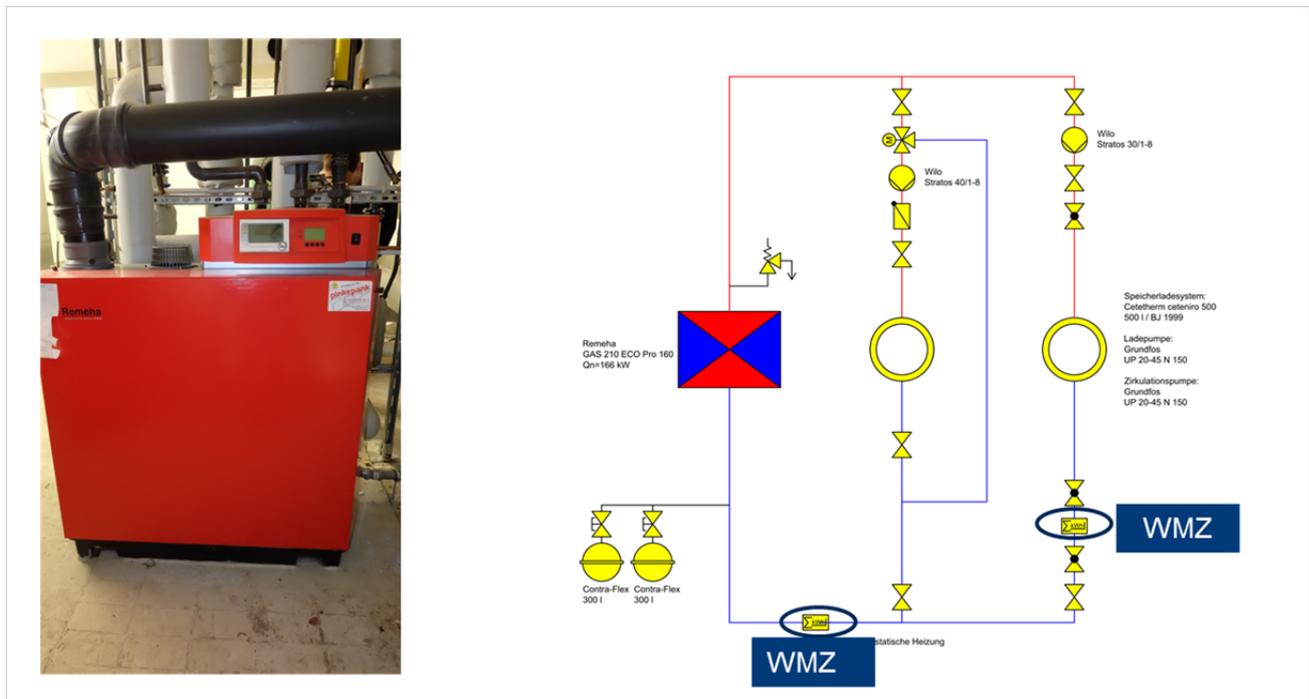


Abbildung 82 Gas-Brennwertkessel und Heizungsschema B-R21-25-M145-147

In der Abrechnungsperiode 2015/2016 erreichte Kennwerte:

- Jahresgas-Verbrauch (2015/2016)=138 kWh/(m²a)
- WMZ(Gesamt)-Verbrauch (2015/2016)=129 kWh/(m²a)
- JNG = 94 % brennwert-bezogen

Auch die zweite Stichprobe einer Anlage mit guter bis sehr guter Erzeugereffizienz zeigt eine einfache Systemkonstellation. Die niedrigen Verbrauchskennwerte trotz fehlender Dämmung sind vermutlich auf die sehr hohe Kompaktheit des Gebäudes zurückzuführen.

7.4.2.3 Schlechte Erzeugereffizienz: Objekt B-HB24



Objekt B-HB24 ist ein 2011 errichteter Neubau mit drei Vollgeschossen und zurückgesetztem Staffelgeschoss. Im Gebäude befinden sich 7 Wohnungen mit 603 m² Wohnfläche.

Abbildung 83 Objekt B-HB 24

Die Heizungsanlage besteht aus einem Gas-Brennwertkessel und thermischer Solaranlage zur Trinkwarmwasserbereitung und Raumheizungsunterstützung. Abbildung 85 zeigt das zugehörige Anlagenschema.

Auf dem Flachdach befinden sich aufgeständerte Flachkollektoren unbekannter Größe. Die solaren Erträge erwärmen einen Pufferspeicher mit integriertem Wärmeübertrager und geschätzten 750 bis 1.000 Liter Speichervolumen. Die Gas-Brennwerttherme vom Typ „Buderus Logamax Plus GB 162-35 G25“ mit einem Modulationsbereich von 6 bis 33 kW ist durch eine hydraulische Weiche entkoppelt.

Der Heizkreis wird direkt von der Gas-Brennwerttherme oder bei ausreichender solarer Erwärmung durch den Pufferspeicher versorgt. Trinkwarmwasser wird über einen 300-Liter-Speicher bereitgestellt, der durch den Pufferspeicher oder direkt von der Therme erwärmt wird.

Im Objekt B-HB24 wurden auch bei vollem Sonnenschein um die Mittagszeit keine Solar-Erträge erzielt und es fand keine Speicherbeladung statt. Die Pufferspeichertemperatur betrug während der Besichtigung am 31.03.2017 konstant 20 °C. Die Kesseltemperatur lag durchgehend bei 84 °C.

In der Abrechnungsperiode 2015/2016 erreichte Kennwerte:

- Jahresgas-Verbrauch (2015/2016)=97 kWh/(m²a)
- WMZ(Gesamt)-Verbrauch (2015/2016)=81 kWh/(m²a)
- JNG = 84 % brennwert-bezogen

Zum Zeitpunkt der Berichterstellung lagen noch keine vollständigen Messdaten und Planungsunterlagen zu dem Projekt vor. Im Folgeprojekt sollen eine genauere Messdatenanalyse und die Klärung der Fehlfunktion erfolgen.



Abbildung 84 Heizzentrale Objekt H-HB24

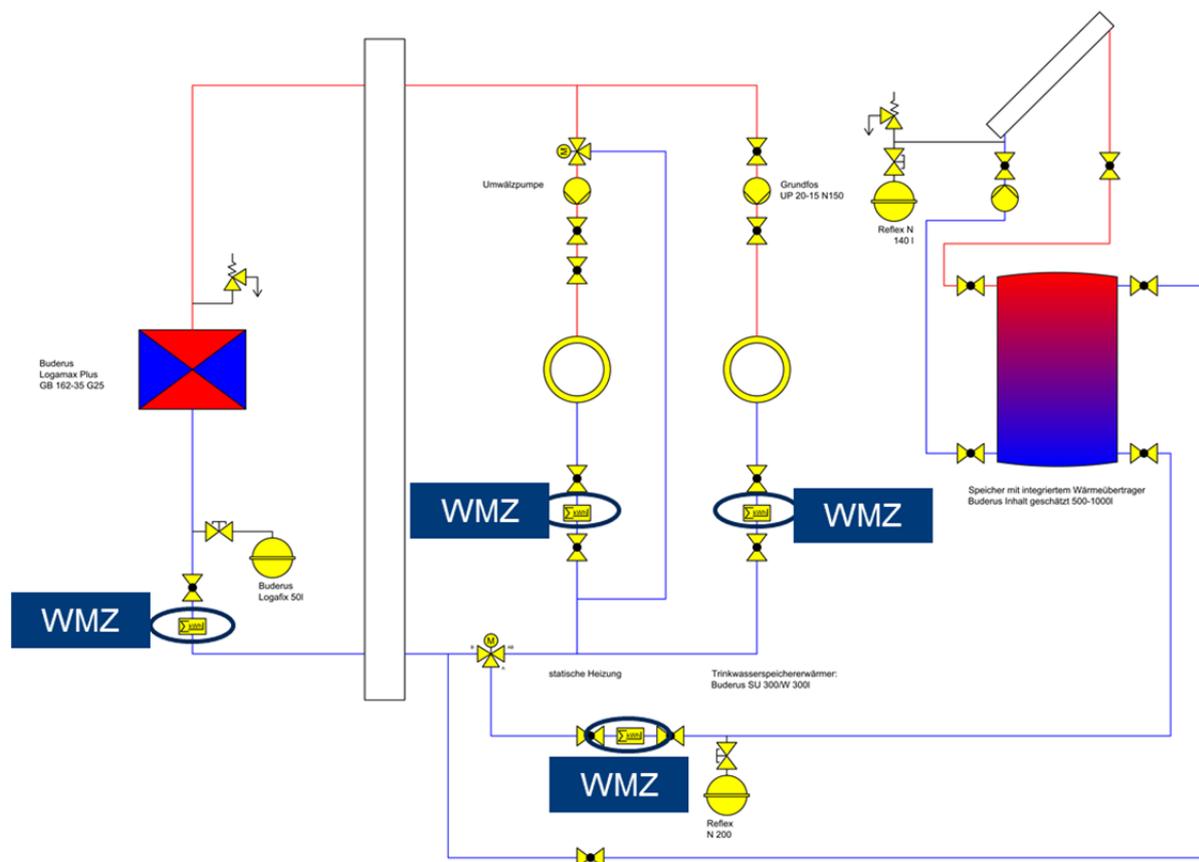


Abbildung 85 Heizungsschema B-HB24

7.4.2.4 Objekt B-T14-18

Objekt B-T14-18 ist ein nach KfW-Effizienzhaus-Standard errichteter Neubau in zentraler Lage.

Die Heizzentrale der Wärmeversorgungsanlage befindet sich im Kellergeschoss. Aufgrund beengter Platzverhältnisse ist die Gasbrennwerttherme in einem Abstellraum neben der Tiefgarage ausgelagert. Realisiert ist eine Anlagenkombination aus Gasbrennwerttherme, zwei Luft-Wasser-Wärmepumpen sowie einer thermischen Solaranlage mit neun Vakuumröhrenkollektoren, von denen jeweils drei in Serie geschaltet sind. Die Trinkwarmwasserbereitung erfolgt zentral über eine im Untergeschoss der Liegenschaft angeordnete Frischwasserstation; die Raumheizung über eine Flächenheizung.

Im Anlagenmonitoring der GEWOBA Energie fiel die Anlage durch ungünstige Anlageneffizienz auf. Im ersten Schritt der Ursachenanalyse wurde am 02.06.2017 eine Aufnahme der Anlagenhydraulik durchgeführt. Hierbei wurden sämtliche Wärmeerzeuger sowie die zentrale Technik besichtigt.

Die Luft-Wasser-Wärmepumpen sind ebenso wie die Solarthermieanlage auf dem Flachdach installiert und wurden zwischen 10:00 Uhr und 11:00 Uhr besichtigt. Trotz vollständig klarem Himmel und Lufttemperaturen in Höhe von $23\text{ }^{\circ}\text{C}^2$ waren zum Zeitpunkt der Dachbegehung sowohl die Wärmepumpenanlage als auch der Gasbrennwertkessel in Betrieb. Aufgrund der Witterung ist davon auszugehen, dass auch die Solarthermieanlage in Betrieb war. Drei verschiedene Wärmeerzeuger versorgten zu diesem Zeitpunkt die Liegenschaft.

² Deutscher Wetterdienst, Station Bremen

Im Rahmen der Aufnahme der Anlagenhydraulik waren im solarthermischen Stromkreis Luftgeräusche zu hören. Eine ungenügende Entlüftung der Anlage könnte eine Teilerklärung niedriger Anlageneffizienzen darstellen.

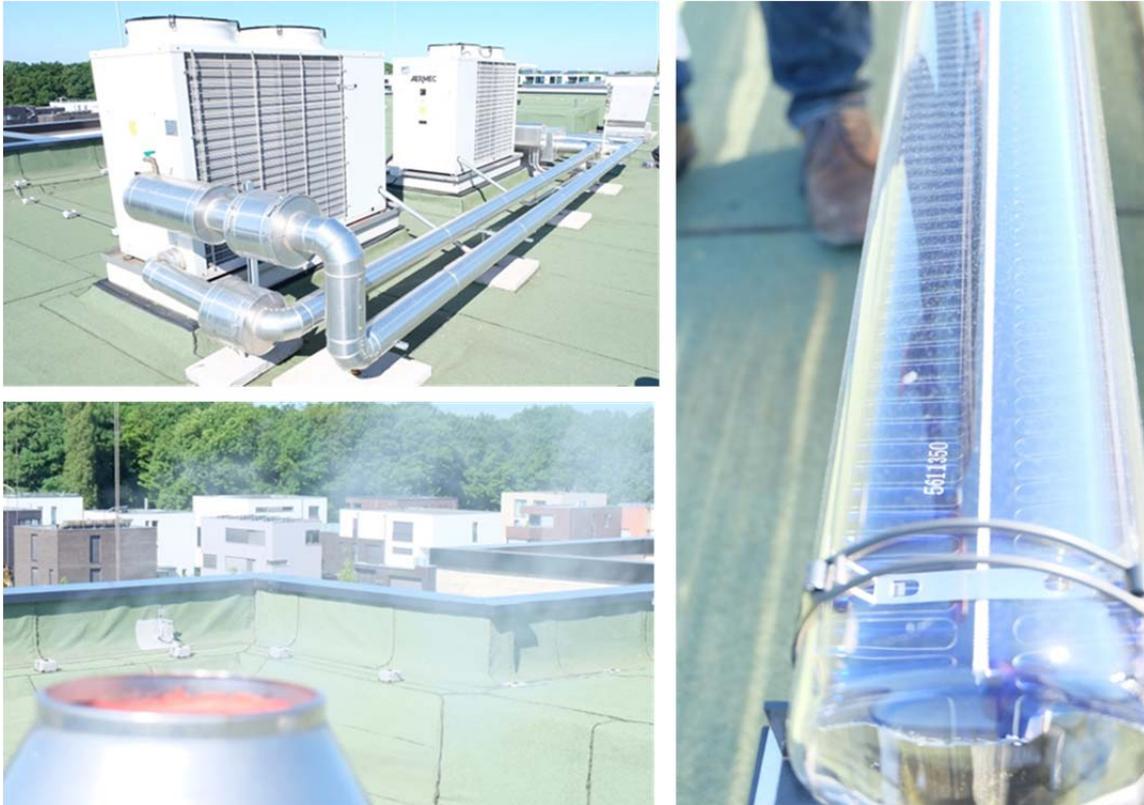


Abbildung 86 Auf dem Dach: Foto links unten: Abgase steigen aus dem Schornstein auf, Therme ist in Betrieb, Foto rechts: Aperturfläche der Vakuumkollektoren ist waagrecht ausgerichtet, Abgleich mit Planung erforderlich, Foto rechts oben: Wärmepumpen

Das Anlagenschema zeigt drei abgrenzbare Bereiche siehe Abbildung 87:

- I. Wärmeerzeugung
 - a. Gasbrennwerttherme
 - b. Solarthermieanlage
 - c. Luft- / Wasser-Wärmepumpensystem
- II. Energiespeicherung
 - a. 2 Energiespeicher
 - b. 1 Heizwasserpufferspeicher (Frischwasserstation)
- III. Energieverbraucher
 - a. Fußbodenheizkreis
 - b. Frischwasserstation

Die Anlage verfügt insgesamt über drei Heizwasserpufferspeicher. Zwei Pufferspeicher sind vor Ort als Energiespeicher deklariert und werden unter anderem durch die Solarthermieanlage beladen. Der dritte Speicher dient augenscheinlich der Versorgung der Frischwasserstation und wird von dem mit einer 30 m langen Fernleitung verbundenen Gasbrennwertkessel versorgt. Die dem Gasbrennwertkessel zugeordnete hydraulische Weiche ist in unmittelbarer Nähe zu diesem angeordnet. Auch die Beladung des der Frischwasserstation zugeordneten Heizwasserpufferspeichers erscheint über die Energiespeicher der Solarthermieanlage möglich. Hierzu wird die hydraulische Weiche durch einen Massenstrom aus dem

Energiespeicher durchströmt. Durch die langen Leitungswege entstehen hohe Leitungswärmeverluste, Aufwendungen für den Antrieb der Pumpen sowie regelungstechnisch kritisch zu bewertende Totzeiten.

Die Regelstrategie ist aus der Dokumentation nicht erkennbar, eine Analyse ist auf der vorhandenen Informationsbasis nicht möglich. Jedoch kann festgestellt werden, dass durch zahlreiche Umschalt- (vier Umschaltventile als Drei-Wege-Ventil) und Regelventile (ein Drei-Wege-Regelventil und zwei Zwei-Wege-Regelventile) sowie insgesamt neun Umwälzpumpen (zzgl. einer Zirkulationspumpe im Trinkwasserbereich) die Auslegung der Regelventile und sonstigen aktiven Komponenten durch die zahlreichen möglichen Betriebszustände mit Schwierigkeiten verbunden ist. Weiterhin müssen aufgrund der hohen Anzahl an Betriebszuständen eine entsprechende Anzahl an Eingangsdaten (z.B. Außentemperatur, Solargewinn, Speichertemperaturen, benötigte Vorlauftemperaturen) ausgewertet werden und in einer Regelstrategie münden. Eine schlüssige Regel- und Anlagenplanung liegt bisher nicht vor. Das Beispiel verdeutlicht, dass hochkomplexe Anlagenkonstellationen im Realbetrieb häufig Probleme bereiten.

Im Rahmen des DBU-Folgeprojektes sollen auf Basis der Messdaten der installierten Wärmemengenzähler die Hauptverbraucher und –wärmeerzeuger identifiziert werden und das gesamte Energiekonzept auf Möglichkeiten der Systemvereinfachung untersucht werden. Darüber hinaus ist vorgesehen, ähnlich den Leitlinien für wirtschaftliches Bauen der Stadt Frankfurt Planungsstandards zu erarbeiten [25]. Zur Begrenzung des Betreuungsaufwands in der Betriebsphase ist die Vermeidung komplexer multivalenter Systeme zu prüfen.

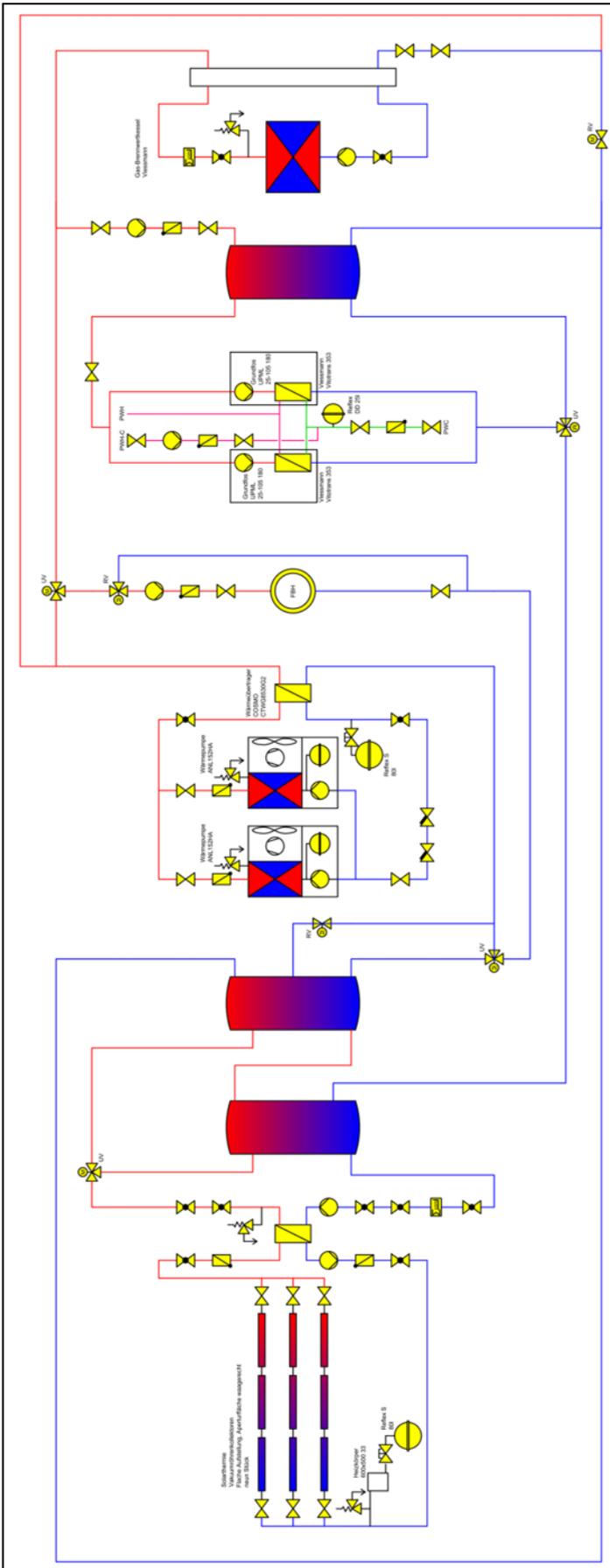


Abbildung 87 Anlagenschema B-T14-18

8 Netto-Vollkosten umgesetzter Energiesparmaßnahmen

HANOVA, gbg und Nibelungen haben Schlussrechnungen zu umgesetzten Energiesparmaßnahmen eingereicht, deren Netto-Vollkosten gegliedert nach Energiesparmaßnahmen in den folgenden Unterkapiteln dargestellt sind. Als Vergleichsmaßstab werden die spezifischen Vollkosten der IWU-Kostenstudie aus 2015 herangezogen [12][1].

Beim Vergleich gleicher Energiesparmaßnahmen mit unterschiedlichen Ausführungszeiträumen sind diese einheitlich über den Baupreisindex auf das 1. Quartal 2017 umgerechnet worden. Abbildung 88 zeigt die Entwicklung des Baupreisindex seit 2010.

Nach den Auswertungen der Baukostensenkungskommission haben sich die Baupreise in der Kostengruppe 300 – Baukonstruktion ähnlich wie der Verbraucherpreisindex entwickelt, während die Kostengruppe 400 – Technische Anlagen deutlich überproportionale Preisanstiege zu verzeichnen hat (+ 46 % zwischen 1999 und 2013) [6]. Eine Differenzierung zwischen Gebäudetechnik und Komponenten der Gebäudehülle wird bei der Preisbereinigung nicht durchgeführt.

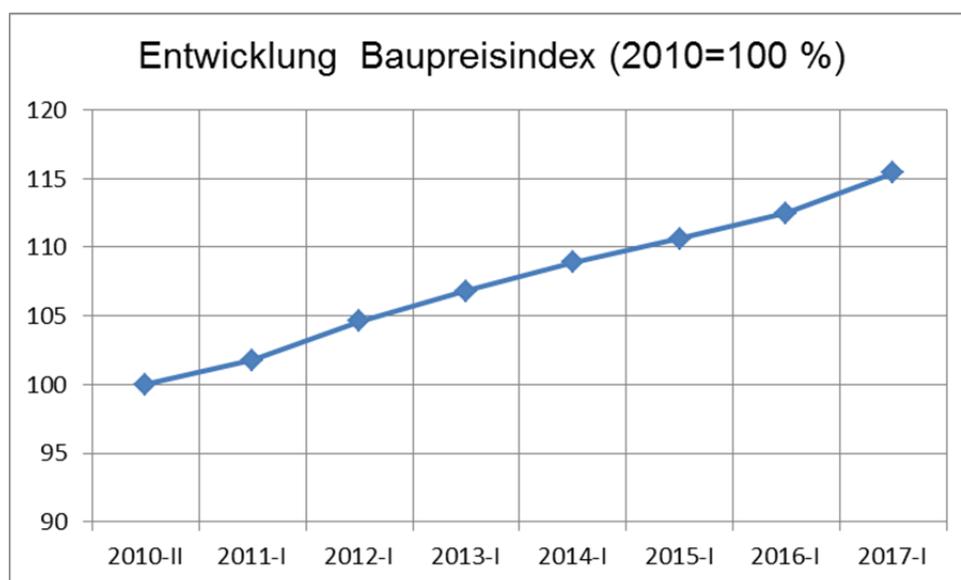


Abbildung 88 Entwicklung Baupreisindex seit 2010, Quelle: Destatis

8.1 Dämmung der Außenwand von außen

Es liegen für 5 Objekte Schlussrechnungen über das Anbringen von Wärmedämmverbundsystemen vor. Bezogen auf die Bauteilfläche (entspricht der Fläche in der Energiebilanzberechnung) betragen die spezifischen Vollkosten zwischen 120 bis 174 €/m². Die ausgeführten Dämmstandards liegen bei 14 bis 16 cm Stärke in den Wärmeleitstufen 032 bzw. 035 und damit über dem geforderten Anforderungsniveau der Energieeinsparverordnung (U-Wert-Anforderung 0,24 W/(m²K). Nach [1] hat die Dämmdicke einen geringen Einfluss auf die Kosten. Die Mehrkosten für einen zusätzlichen Zentimeter Wärmedämmverbundsystem betragen rund 2 €/m². 2 von 3 Unternehmen nehmen KfW-Förderung und/oder regionale Förderzuschüsse in Anspruch.

Die im Vergleich zum IWU-Durchschnittswert höheren Baukosten sind zurückzuführen auf:

- Die Mehrkosten für die Verwendung von Mineralfaser anstelle von Polystyrol betragen 14 € je m² Dämmfläche.
- Bei den Objekten Hi-E34-38 kostet die Fassadenumgestaltung mit vorstehenden und versenkten Fensterrahmen rund 40 € je m² Außenwandfläche.

Alle Wohnungsunternehmen verbinden die Energiesparmaßnahme „Außenwanddämmung“ mit einer gestalterischen Aufwertung der Fassade.

Objekt	Re-Dat.	Ausführung	Dämmfläche	Bauteilfläche	Spez. Vollkosten netto	Spez. Vollkosten netto Bezug 1. Quartal 2017
			[m ²]	[m ² BT]	[€/m ² BT-Fläche]	[€/m ² BT-Fläche]
H-H9	25.09.2014	WDVS aus Mineralfaser: 16 cm WLS 035	2.113	1.944	144	152
BS-B18	5.11.2015	WDVS aus 14 cm Polystyrol, inkl. Balkonsanierung	945	869	116	120
Hi-E34	26.08.2015	WDVS aus Mineralfaser: 14 cm WLS 035, inkl. Abbruch altes WDVS, inkl. Perimeterdämmung	655	602	131	135
Hi-E36	30.12.2016	WDVS aus Mineralfaser: 14 cm WLS 032, inkl. Perimeter + 16.600 € Fassadenumgestaltung	450	414	172	174
Hi-E38	30.12.2016	WDVS aus Mineralfaser: 14 cm WLS 032, inkl. Perimeter + 13.500 € Fassadenumgestaltung	417	384	167	169
IWU-Kostenstudie nach [12]					117	122

Abbildung 89 Vollkosten-WDVS ohne Gerüst in €/m² BT-Fläche

Die Vollkosten lassen sich nach [12] in Instandsetzungs- und Modernisierungskosten aufteilen: Rund 22 % entfallen auf Instandsetzungsarbeiten wie z.B. Anstriche, 45 % auf die energetische Modernisierung und 33 % sind Putz- und Armierungsarbeiten, die je nach Bestandssituation als Instandsetzung oder Modernisierung einzustufen sind.

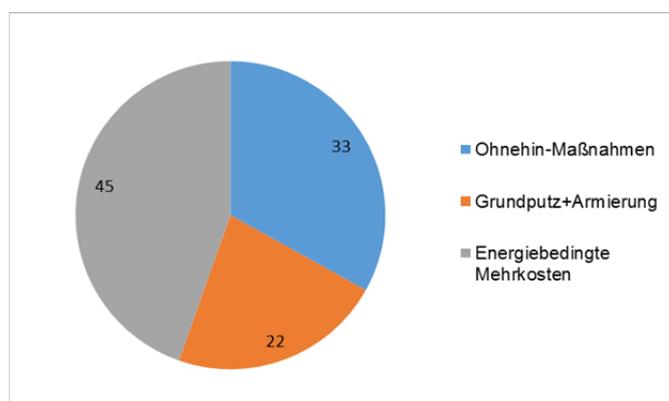


Abbildung 90 Prozentuale Verteilung der Vollkosten eines WDVS nach [1]

8.2 Dämmung der obersten Geschossdecke von oben

Bei vier Objekten wurden die obersten Geschossdecken zu Preisen zwischen 39 bis 45 €/m² nachträglich gedämmt. Die Ausführungsart ist eine schwimmende Verlegung mit 14 bis 16 cm Polystyrol-Dämmung und oberseitiger Spanplatte. Flankierende Dämmung an aufgehenden Bauteilen und der Traufe ist bei allen besichtigten Objekten vorhanden. In Hildesheim wurde das Dach komplett neu eingedeckt und mit einer Unterspannbahn versehen. Diese Arbeiten wurden als Instandsetzungsarbeiten gewertet. Alle Wohnungsunternehmen haben die Dämmung der obersten Geschossdecke günstiger als nach der IWU-Kostenstudie durchgeführt.

Objekt	Re-Dat.	Ausführung	Dämm-/Bauteil-Fläche	Spez. Vollkosten netto	Spez. Vollkosten netto, Bezug 1. Quartal 2017
			[m ² BT]	[€/m ² BT-Fläche]	[€/m ² BT-Fläche]
H-H9	16.08.2013	16 cm PS, WLS 035 mit oberseitiger Spanplatte	634	37	39
Hi-E34	04.08.2015	14 cm EPS WLS 035 mit oberseitiger Spanplatte inkl. Randdämmstreifen	171	40	42
Hi-E36	29.01.2015	14 cm EPS WLS 035 mit oberseitiger Spanplatte inkl. Randdämmstreifen	149	43	45
Hi-E38	22.08.2016	14 cm EPS WLS 035 mit oberseitiger Spanplatte inkl. Randdämmstreifen	132	44	45
IWU-Kostenstudie nach [12]		14 cm nachträgliche Dämmung oberste Geschossdecke begehbar		44	46

Abbildung 91 Vollkosten Dämmung der obersten Geschossdecke von oben in €/m² BT-Fläche

8.3 Fenstererneuerung

Für vier Objekte liegen Schlussrechnungen zu Fenstermodernisierungen vor, die mit Netto-Vollkosten von 212 bis 288 €/m² deutlich unter den Werten der IWU-Kostenstudie für Fenster mit 3-Scheiben-Verglasungen in Mehrfamilienhäusern liegen. Diese günstigen Werte ergeben sich vermutlich aus der Kopplung der Fenstererneuerung mit der Außenwanddämmung und einfachen Fensterformaten.

Objekt	Re-Dat.	Ausführung	Fensterfläche	Spez. Vollkosten netto	Spez. Vollkosten netto, Bezug 1. Quartal 2017
			[m ² BT]	[€/m ² BT-Fläche]	[€/m ² BT-Fläche]
H-H9	20.11.2013	Kunststoff-Fenster, Uw=1,0 W/(m ² K)	351	270	288
Hi-E34	07.04.2015	Kunststoff-Fenster 5-Kammer-Profil mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung, U-Wert Fenster lt. EnEV-Nachweis 1,1 W/(m ² K)	115	204	212
Hi-E36	07.04.2015	siehe Hi-E34	108	204	212
Hi-E38	15.09.2016	siehe Hi-E34	112	210	213
IWU-Kostenstudie nach [12]		Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in Mehrfamilienhäusern, durchschnittliche Fenstergröße 2,5 m ²		313	327

Abbildung 92 Vollkosten Fenstererneuerung

8.4 Dämmung der Kellerdecke von unten



Abbildung 93 Dämmung der Kellerdecke von unten in Stöcken, unterseitig Gipsfaser-Bekleidung, Foto: Unverzagt

Bei vier Objekten wurden die Kellerdecke von unten zu Preisen zwischen 23 bis 26 €/m² gedämmt. Als Dämmstoff sind 6 bis 8 cm expandiertes Polystyrol eingesetzt, das in Stöcken zum mechanischen Schutz mit einer Gipsfaserplatte bekleidet ist. Flankierende Dämmung ist im Keller nicht vorhanden. Alle Wohnungsunternehmen haben die unterseitige Kellerdeckendämmung günstiger als nach der IWU-Kostenstudie durchgeführt. Zurückzuführen ist die kostengünstige Ausführung auf:

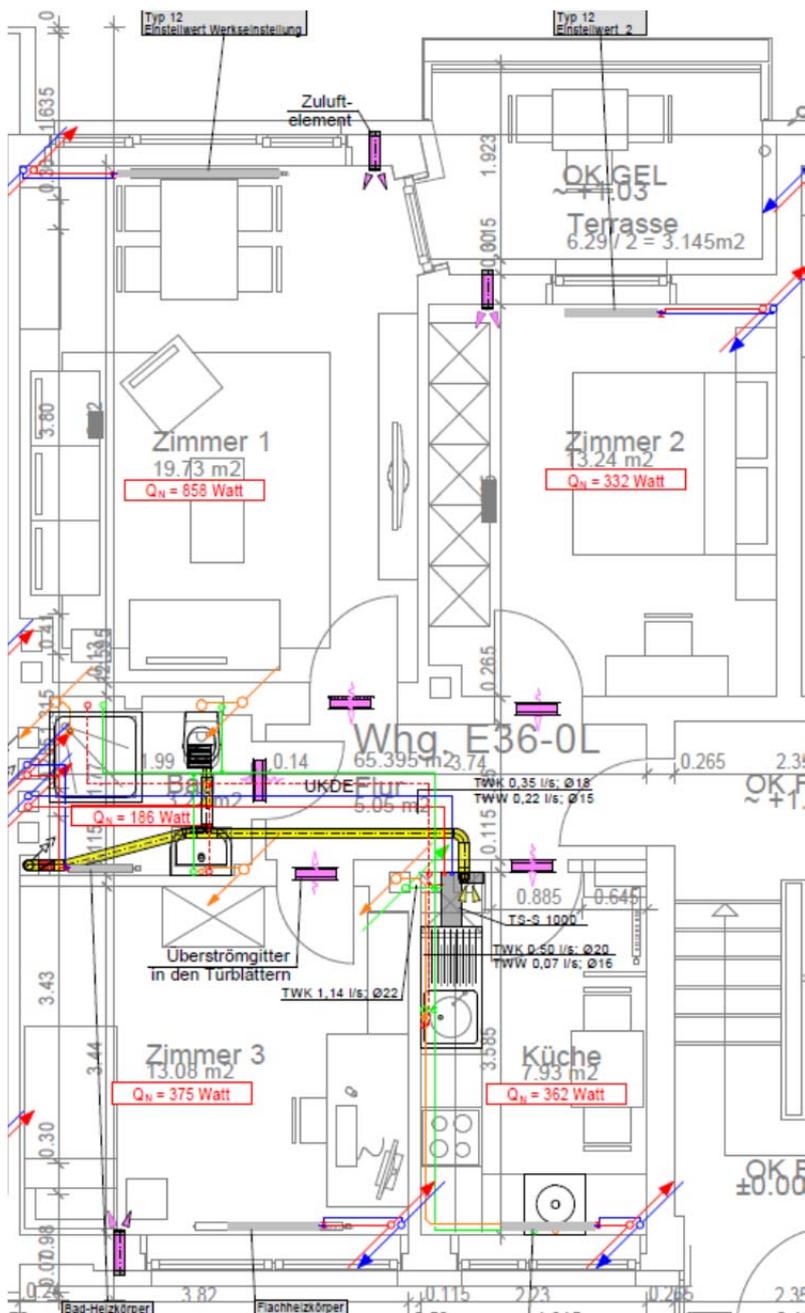
- Die Kellerdeckendämmung wurde in allen Fällen von Firmen ausgeführt, die gleichzeitig mit einer anderen Energiesparmaßnahme (Außenwanddämmung oder Dämmung der obersten Geschossdecke) beauftragt wurden.
- Die Vergaben erfolgten in Hildesheim und Hannover-Stöcken für mehrere Objekte.
- Die Gebäudegeometrien sind vergleichsweise einfach.

Objekt	Re-Dat.	Ausführung	Dämmfläche	Spez. Vollkosten netto	Spez. Vollkosten netto, Bezug 1. Quartal 2017
			[m ² Dämmfläche]	[€/m ² Dämmfläche]	[€/m ² Dämmfläche]
H-H9	16.08.2013	Dämmung der Kellerdecke von unten mit 6 cm EPS, WLS 035 + 1 cm Gipsfaserplatte, anschließend weißer Anstrich	532	21	23
Hi-E34	26.08.2015	Dämmung der Kellerdecke mit 8 cm EPS von unten, WLS 035	99	25	26
Hi-E36	30.12.2016	Dämmung der Kellerdecke mit 8 cm EPS von unten, WLS 035	137	26	26
Hi-E38	30.12.2016	Dämmung der Kellerdecke mit 8 cm EPS von unten, WLS 035	137	26	26
IWU-Kostenstudie nach [12]		8 cm Dämmung von unten, ohne Bekleidung		34	36

Abbildung 94 Dämmung der Kellerdecke von unten

8.5 Vergleich Abluftanlage – Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

In den Objekten der gbg in Hildesheim werden zwei unterschiedliche Lüftungskonzepte exemplarisch verglichen: Hi-E38 wurde mit einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ausgestattet, alle anderen Objekte mit einer Abluftanlage.



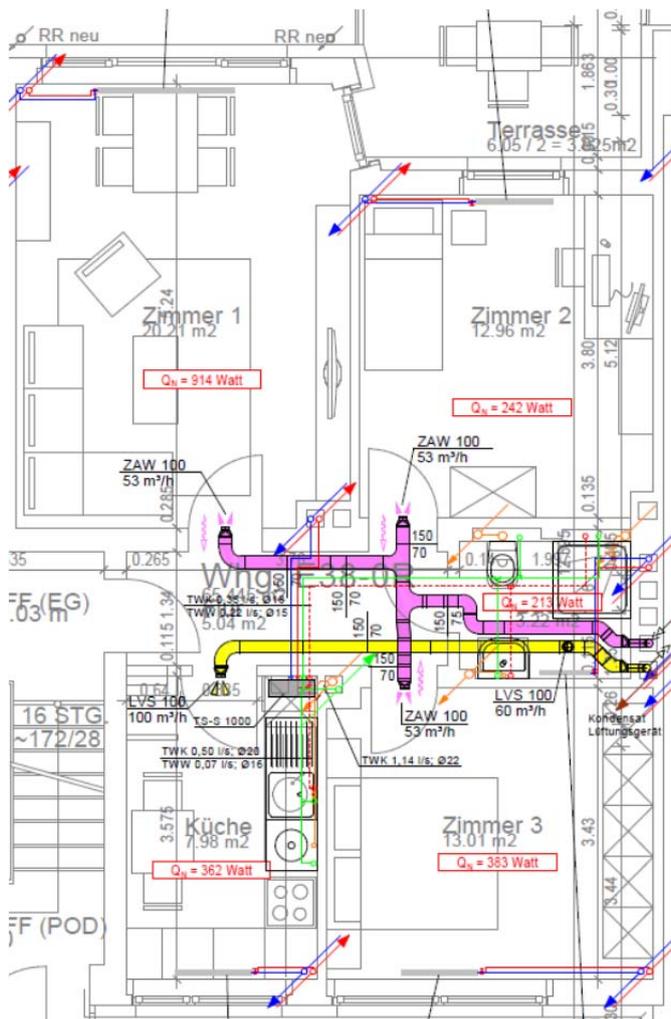
Konzept Abluft nach[15] :

In Küche und Bad sind Abluftventilatoren installiert, die die verbrauchte Luft aus den Räumen in einem Kanalnetz im Flur zu einem Schacht führen. Alle einzelnen Abluftrohre werden im Schacht zum Dachgeschoss geführt, dort zusammengefasst und die Fortluft über das Dach ausgeblasen. Im Bereich der Deckendurchdringung ist eine Brandschutzabsperrvorrichtung als Schottlösung ausgeführt. Die Frischluft strömt über Außenwand-Durchlässe in Schlaf-, Wohn- und Kinderzimmer. Zur Durchströmung der gesamten Wohnung sind die Innentüren mit Überstromöffnungen versehen.

Zur Gewährleistung des Feuchteschutzes werden die Abluftventilatoren ganztägig mit einer Grundlast von 30 m³/h betrieben. Im Flur schalten die Präsenzmelder bei Anwesenheit auf Nennlüftung von 100 m³/h. Das Zeitintervall, in dem die Anlage auf Nennlüftung betrieben wird, ist frei wählbar.



Abbildung 95 Grundriss Wohnung Hi-E36 mit Abluftanlage. Foto unten: Fortluftführung im DG



Konzept LA mit Wärmerückgewinnung nach [15]:

Jede Wohnung erhält ein eigenes Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung, das aus Platzgründen in einer neu errichteten Technikzentrale im DG untergebracht ist. In den Wohnungen sind die Kanalnetze für Zu- und Abluft in den abgehängten Flurdecken installiert. Zur Durchströmung der gesamten Wohnung sind die Innentüren mit Überstromöffnungen versehen.

Im Bereich der Deckendurchdringung der obersten Geschossdecke sind Brandschutzklappen für Zu- und Abluft als Schottlösung ausgeführt.

Zur Gewährleistung des Feuchteschutzes wird die Anlage ganztägig mit einer Grundlast von 30 m³/h betrieben. Im Flur schalten die Präsenzmelder bei Anwesenheit auf Nennlüftung von 100 m³/h. Das Zeitintervall, in dem die Anlage auf Nennlüftung betrieben wird, ist frei wählbar.

Sommerbetrieb: manuelle Umstellung mittels Bypass-Klappe



Abbildung 96 Wohnung Hi-E38 mit Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Foto links: Lüftungsgerät in der Dachzentrale, Brandschutzklappen in der Dachzentrale



Abbildung 97 Wohnung Hi-E38, neu erstellte Lüftungszentrale im DG, Foto Unverzagt

Die Mehrkosten der umgesetzten Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung betragen im Vergleich zur Abluftanlage rund 2.600 € je Wohnung. Davon entfallen 1.200 €/WE auf das Kanalnetz und die erhöhten Brandschutzanforderungen, 1.000 €/WE auf das Lüftungsgerät sowie 400 €/WE auf den Trockenbau.

Objekt Hi-E36, Abluftanlage

Kleinlüfter 40/60 m ³ /h	615 €/WE
Zubehör: Außenluftdurchlass, Brandschutzabsperrvorrichtung, Dachentlüftung	361 €/WE
Kanalnetz, DN 100-125, Wickelfalzrohr	227 €/WE
Bögen, Abzweigstücke, Reduzierstücke	131 €/WE
Wärmedämmung für Außen-/Fortluft	45 €/WE
Revisionszeichnung	3 €/WE
Kernbohrung	149 €/WE
Trockenbau: Abkofferung in Bad und Flur + Lüftungszentrale im DG	598 €/WE
Vollkosten Lüftungstechnik inkl. Installation und Trockenbau	2.129 €/WE

Objekt Hi-E38, Lüftungsanlage mit WRG

Lüftungsgerät mit WRG	1.609 €/WE
Zubehör: Schalldämpfer, Brandschutzklappe, Ventile	689 €/WE
Kanalnetz, DN 100-125, Wickelfalzrohr	631 €/WE
Bögen, Abzweigstücke, Reduzierstücke	647 €/WE
Wärmedämmung für Außen-/Fortluft	106 €/WE
Revisionszeichnung	3 €/WE
Trockenbau: Abkofferung in Bad und Flur + Lüftungszentrale im DG	1.046 €/WE
Vollkosten Lüftungstechnik inkl. Installation und Trockenbau	4.732 €/WE

Abbildung 98 Kostenvergleich Abluftanlage und Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

Die abgerechneten Kosten liegen in ähnlicher Größenordnung wie vom Büro inPlan in [24] publiziert.

8.6 Erneuerung Heizsystem

8.6.1 Heizungszentralisierung und Trinkwarmwasserbereitung

Die folgenden Modernisierungsarbeiten sind in den Objekten in Hildesheim durchgeführt:

- Demontage der bestehenden Wärmeversorgung mittels Gasetagenheizung
- Anschluss der Objekte Hi-E34-42 an das Fernwärmenetz der EVI. Die Übergabestation befindet sich in Hi-E42.
- Kompletterneuerung des Heizverteilsnetzes und der Heizkörper in Hi-E34-42
- Hydraulischer Abgleich der Heizkörper

- Erneuerung der Trinkwarmwasserbereitung: In Hi-E34 werden elektronisch geregelte Durchlauferhitzer sowie Untertischgeräte installiert. In Hi-E36 und Hi-E38 kommen Wohnungsstationen zur Trinkwarmwasserbereitung zum Einsatz.

Für Hi-E34,36,38 liegen Schlussrechnungen vor, die für die folgenden Auswertungen herangezogen wurden.

Abbildung 100 zeigt exemplarisch die abgerechneten Netto-Vollkosten der Heizungserneuerung in den Objekten Hi-E34+36. Das Heizsystem in der Hi-E38 ist identisch zur Hi-E36 und wird nicht weiter betrachtet.

Hi-E34: Fernwärme + elektrische TWW-Bereitung

In Hi-E34 kosten die Demontage der bestehenden Gasetagenheizungen, das neue Heizverteilnetz, neue Heizkörper in allen Wohnungen sowie die dezentrale direktelektrische Warmwasserbereitung rund 4.000 € pro Wohnung. Eine Neuinstallation von Gasetagenheizungen mit neuen Heizkörpern hätte höhere Investitionskosten von geschätzt 5.500 € bis 7.000 € verursacht. Die Zentralisierung der Raumheizung und Dezentralisierung der Warmwasserbereitung sind am untersuchten Beispiel auch deshalb kostengünstig umsetzbar, weil keine Verstärkung des Elektro-Hausanschlusses erforderlich ist.

Hi-E36: Fernwärme + Wohnungsstationen zur TWW-Bereitung



In Hi-E36 sind wie in der Hi-E34 neue Steigstränge und Verteilleitungen zur Anbindung an die Fernwärme sowie neue Heizkörper in den Wohnungen installiert. Die Trinkwarmwasserbereitung erfolgt mittels Wohnungsstationen, die über die Steigleitung mit Heizwasser versorgt werden. Über einen Wärmeübertrager wird das Kaltwasser im Durchflussprinzip auf 45 °C Nutztemperatur erwärmt. Bei Warmwasserzapfung regelt ein Proportionalmengenregler die Netzwassermenge. Zusätzlich sorgt ein thermostatischer Temperaturregler für ein gleichmäßiges Halten der Warmwassertemperatur. Die Wohnungsstationen sind in Aufputzschränken in den Bädern untergebracht.

**Abbildung 99 Grundstation
Trinkwasserstation TS S1000-01, Quelle Delta
Systemtechnik**

Objekt Hi-E34, Fernwärme+EDE

Entleeren und Befüllen Heizung, Demontage Heizkörper/Heizverteilsystem/Armaturen, Demontage Gasleitung/Gaszähler	562 €/WE
neue Heizverteilung inkl. Zubehör	1.312 €/WE
40 neue Heizkörper inkl. hydraul. Abgleich	1.393 €/WE
21-kW-Durchlauferhitzer	584 €/WE
5-Liter-Untertischgerät	120 €/WE

Netto-Vollkosten Heizungstechnik inkl. Installation (ohne Übergabestation)	3.971 €/WE
davon elektrische TWW-Bereitung	704 €/WE

Objekt Hi-E36, Fernwärme+Wohnungsstation TWW

Entleeren und Befüllen Heizung, Demontage Heizkörper/Heizverteilsystem/Armaturen, Demontage Gasleitung/Gaszähler	611 €/WE
neue Heizverteilung inkl. Zubehör	1.999 €/WE
40 neue Heizkörper inkl. hydraul. Abgleich	1.285 €/WE
Wohnungsstation	699 €/WE
Thermostatischer Temperaturregler	74 €/WE
Differenzdruckregler im primären Heizungseingang	142 €/WE
Passstücke und Entleerungsset	135 €/WE
Aufputzschrank	264 €/WE

Netto-Vollkosten Heizungstechnik inkl. Installation (ohne Übergabestation)	5.207 €/WE
davon TWW-Bereitung über Wohnungsstationen	1.314 €/WE

Abbildung 100 Kostenvergleich Heizsystem Hi-E34 und Hi-E36

Die Netto-Vollkosten der Heizungstechnik liegen in Hi-E36 um rund 1.200 € je Wohnung über den Kosten von Hi-E34, davon entfallen rund 600 €/WE auf höhere Kosten für die Heizverteilung (zwei Steigestränge mehr in Nr. 36) und 600 €/WE auf die Mehrkosten der Trinkwasserstationen im Vergleich zur direktelektrischen Warmwasserbereitung.

8.6.2 Heizungserneuerung mit Gas-Brennwertgeräten, Frischwasserstationen und Pufferspeicher in Braunschweig

Es liegen zwei Schlussrechnungen für die Heizungserneuerung in Braunschweig vor. In beiden Fällen handelt es sich um Zentralheizungsanlagen zur Heizung und Warmwasserbereitung.

Die Rechnungen enthalten folgende Positionen: Demontagekosten, Lieferung und Montage von Erzeuger, Abgassystem, Speicher, Frischwasserstation, Ausdehnungsgefäß, Heizungs- und Kondensatpumpen, Schlammabscheider, Rohrleitungen inkl. Dämmung, Wärmemengenzähler, Elektroarbeiten sowie Kosten für die Spülung des Rohrsystems, den hydraulischem Abgleich und die Inbetriebnahme der Heizungsanlage.

Die Kostenfunktion der IWU-Kostenstudie [12] enthält für Gas-Brennwertheizungsanlagen eine Kostenfunktion in Abhängigkeit von der Wohnfläche:

Vollkosten neue Gasbrennwertheizungsanlage [€/m²] = $905,26 \cdot x^{-0,518}$, x=Wohnfläche [m²]

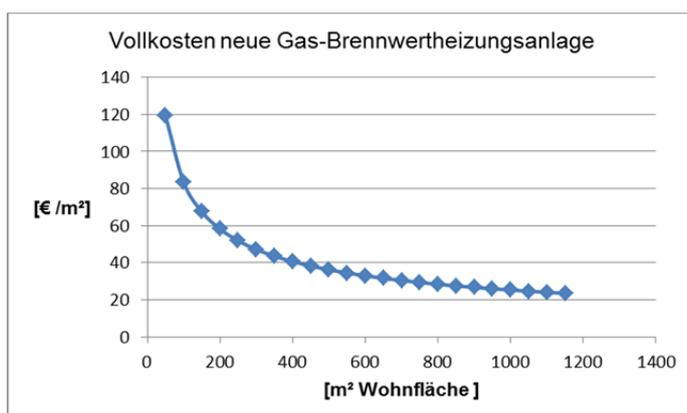


Abbildung 101 Vollkosten neue Gas-Brennwertheizungsanlage nach [12]

Mit zunehmender Wohnfläche sinken die spezifischen Vollkosten der Heizungsanlage. Aus den ausgewerteten Schlussrechnungen ergibt sich eine hohe Übereinstimmung mit den Werten der IWU-Kostenstudie [1].

Objekt	Re-Dat.	Ausführung	Wohnfläche	Vollkosten netto	Spez. Vollkosten netto, Bezug 1. Quartal 2017	Vergleichswert IWU-Kostenstudie
			[m ² Wfl.]	[€]	[€/m ² Wfl.]	[€/m ² Wfl.]
BS-B18-19	16.08.2013	Gas-BWK Viessmann Vitocrossal 300 12 bis 60 kW + 750-l-Pufferspeicher + Frischwasserstation mit 68 Liter/min maximalem Volumenstrom	900	22.533	26	23
BS-B20-22	26.08.2015	2 Gas-BWK in Kaskade: Junkers Cerapur 4,9 bis 40 kW + 2,8 bis 30 kW in Kaskade + 750-l-Pufferspeicher + Frischwasserstation mit 40 Liter/min maximalem Volumenstrom + Herstellung Abgasanlage	1.226	22.108	18	20

Abbildung 102 Kostenauswertung Heizungserneuerung

9 Einsparprognosen, Erfolgsnachweis und Wirtschaftlichkeit

Anhand umgesetzter energetischer Modernisierungen der beteiligten Wohnungsunternehmen werden EAV-basierte Einsparprognosen sowie Erfolgskontrollen der durchgeführten Energiesparmaßnahmen durchgeführt. Die Wirtschaftlichkeit der erreichten Energieeinsparungen wird aus der Perspektive von Wohnungsunternehmen und Mietern bewertet.

9.1 BS-B18+19: Außenwanddämmung und Heizungserneuerung

Für das Objekt BS-B18+19 liegen Gebäude- und Erzeuger-EAVs vor und nach der Modernisierung sowie abgerechnete Kosten für die umgesetzte Außenwanddämmung und Heizungserneuerung vor. Hieraus werden sowohl die Einsparprognose vor der Modernisierung sowie der Erfolgsnachweis und die Wirtschaftlichkeitsbewertung abgeleitet.

9.1.1 Einsparprognose

Abbildung 103 zeigt die auf Grundlage der Gebäude- und Erzeuger-EAV erstellte Einsparprognose für die Außenwanddämmung und die Heizungserneuerung.

Die Bauteilfläche der Außenwand sowie der U-Wert des Bestandsmauerwerks werden dem EnEV-Nachweis entnommen. Die energetische Verbesserung der Außenwand ergibt nach der Modernisierung einen U-Wert von $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und daraus resultierend eine Verringerung der wohnflächenbezogenen Heizsteigung um $0,48 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ von $1,98 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ auf $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Die Einsparprognose für die Wärmemengenreduzierung des Heizkreises beträgt $31 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Zusammen mit der Heizungserneuerung wird bei einem geschätzten Brennwert-bezogenen Jahresnutzungsgrad von 90 % eine Brennstoffeinsparung von $88 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ prognostiziert.

Messwerte vor der Modernisierung				
Dauer Heizperiode (15-Jahres-Mittel)	mittl. Außentemp. Heizperiode	Messperiode	h-Wert [W/(m²K)]	
285	Tage/Jahr	7,1 °C	12.2013 - 08.2015	1,98
	Heizgrenztemperatur	16 °C		
			[kWh/a]	[kWh/(m²a)]
gemessener Wärmeverbrauch Raumheizung vor der Modernisierung			108.481	121
gemessener Sockelverbrauch vor der Modernisierung			45.000	50
				[%]
Jahresnutzungsgrad Erzeugung, Brennwert-bezogen	Bestandserzeuger NT-Kessel			70
			[kWh/a]	[kWh/(m²a)]
Brennstoffverbrauch vor der Modernisierung			219.259	244
Einsparprognose				
Bauteil	Fläche	U-Wert	Faktor	h-Wert
	[m²]	[W/(m²K)]	[-]	[W/K]
AW Bestand gem. EnEV-NW	613	0,910	1	558
AW nach der Modernisierung	613	0,200	1	123
				[W/(m²K)]
		Einsparprognose über U-Wert-Verbesserung		0,48
		Prognose h-Wert nach der Modernisierung		1,50
Dauer Heizperiode (15-Jahres-Mittel)	mittl. Außentemp. Heizperiode			
288	Tage/Jahr	7,3 °C		
	Heizgrenztemperatur	16 °C		
			[kWh/a]	[kWh/(m²a)]
Prognose Wärmeverbrauch Raumheizung nach Modernisierung			80.987	90
Einsparprognose Wärmeverbrauch Raumheizung nach Modernisierung			27.494	31
Prognose Sockelverbrauch			45.000	50
				[%]
Jahresnutzungsgrad Erzeugung, Brennwert-bezogen	Schätzwert neuer BWK-Kessel			90
			[kWh/a]	[kWh/(m²a)]
Brennstoffprognose nach Modernisierung			139.986	156

Abbildung 103 Einsparprognose BS-B18+19, Außenwanddämmung und Heizungserneuerung

9.1.2 Erfolgsnachweis

Nach der Modernisierung wird der Einsparerfolg überprüft: Die Maßnahmenüberprüfung zeigt für die Außenwanddämmung eine Wärmeeinsparung von 34 kWh/(m²a), die die Erwartungen leicht übertrifft. Vermutlich wurde der U-Wert für das Bestandsmauerwerk in der EnEV-Bilanz mit 0,91 W/(m²K) etwas zu gering eingeschätzt. Aufgrund der ungünstigen Erzeugereffizienz von rund 80 % erfüllt die Heizungserneuerung zunächst nicht die Erwartungen, der Brennstoffverbrauch liegt um 17 kWh/(m²a) über der Prognose.

Erfolgsnachweis: Messwerte nach der Modernisierung			
Dauer Heizperiode (15-Jahres-Mittel)	mittl. Außentemp. Heizperiode	Messperiode	h-Wert [W/(m²K)]
297 Tage/Jahr	7,5	09.2015 - 07.2016	1,33
	Heizgrenztemperatur		[W/(m²K)]
	16,7 °C		0,65
	tatsächliche Verbesserung h-Wert		
		[kWh/a]	[kWh/(m²a)]
gemessener Wärmeverbrauch Raumheizung nach der Modernisierung		78.496	87
gemessener Sockelverbrauch nach der Modernisierung		45.900	51
			[%]
Jahresnutzungsgrad Erzeugung, Brennwert-bezogen	Ist-Wert neuer Gas-BWK		80
		[kWh/a]	[kWh/(m²a)]
Brennstoffverbrauch nach der Modernisierung		155.495	173
gemessene Einsparung Brennstoffverbrauch		63.763	71

Abbildung 104 Erfolgsnachweis BS-B18+19, Außenwanddämmung und Heizungserneuerung

Erst nach Umsetzung der im Kapitel 7.2.3 beschriebenen Betriebsoptimierungen wird die Einsparprognose für den Brennstoffverbrauch sogar leicht übertroffen.

Erfolgsnachweis: Messwerte nach der Optimierung			
Dauer Heizperiode (15-Jahres-Mittel)	mittl. Außentemp. Heizperiode	Messperiode	[W/(m²K)]
278 Tage/Jahr	7	28-10-2016 - 12.06.2017	1,35
	Heizgrenztemperatur		[W/(m²K)]
	15,5 °C		
		[kWh/a]	[kWh/(m²a)]
gemessener Wärmeverbrauch Raumheizung nach der Modernisierung		68.400	76
gemessener Sockelverbrauch vor der Modernisierung		52.200	58
			[%]
Jahresnutzungsgrad Erzeugung, Brennwert-bezogen	Ist-Wert neuer Gas-BWK		87
		[kWh/a]	[kWh/(m²a)]
Brennstoffverbrauch nach der Modernisierung		138.621	154

Abbildung 105 Erfolgsnachweis BS-B18+19 nach Betriebsoptimierung Heizung

9.1.3 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit wird akteursbezogen aus der Perspektive von Mieter und Vermieter betrachtet. Für die Mieterseite wird untersucht, welche Erhöhung der Kaltmiete auf Basis der eingesparten Brennstoffkosten möglich wäre, während für die Vermieterseite geprüft wird, ob die energetisch bedingten Kapitalkosten aus einer warmmietenneutralen Mieterhöhung finanzierbar sind.

Wirtschaftlichkeit aus Mieterperspektive

Perspektive Mieter					
Randbedingungen	Bestand	Einsparprognose vor Modernisierung	Einsparerfolg, Stand Sommer 2016	Einsparerfolg, Stand Mai 2017	
beheizte Wohnfläche	900	900	900	900	m ²
JNG_Brennwert	0,70	0,90	0,82	0,87	
Heizenergiebedarf WMZ	170	140	142	134	kWh/(m ² a)
fossiler Brennstoffeinsatz	243	156	173	154	kWh/(m ² a)
Gaspreis	0,060	0,060	0,060	0,060	€/kWh
Bruttomiete					
	Bestand	Einsparprognose vor Modernisierung	Modernisiert	Modernisiert mit JNG_Brennwert	
Kaltmiete	5,00	5,00	5,00	5,00	€/ (m ² Monat)
Brennstoffkosten	1,22	0,78	0,87	0,77	€/ (m ² Monat)
Summe	6,22	5,78	5,87	5,77	€/ (m²Monat)
mögliche Erhöhung Kaltmiete aufgrund Brennstoffkosteneinsparung		0,44	0,35	0,45	€/ (m ² Monat)

Abbildung 106 Warmmietenneutralität Mieter, BS-B18+19

Die Warmmietenneutralität für die Mieter bleibt nach Prognose bis zur möglichen Kaltmietenerhöhung von 0,44 €/ (m²Monat) gewahrt. Nach Umsetzung der Betriebsoptimierung wird die Brennstoffkosteneinsparung mit 0,45 €/ (m²Monat) leicht übertroffen.

Wirtschaftlichkeit aus Perspektive des Wohnungsunternehmens

Aus den Mehreinnahmen der warmmietenneutralen Erhöhung der Kaltmiete refinanziert das Wohnungsunternehmen die energetisch bedingten Modernisierungskosten der Außenwanddämmung und die Heizungserneuerung. Bei Annahme einer mittleren Nutzungsdauer von 25 Jahren, 2 % Kalkulationszins sowie eines Anstrichs als Ohnehin-Maßnahme liegen die annuitätischen Kapitalkosten leicht unter den Mehreinnahmen der möglichen Kaltmietenerhöhung. Eine Nutzung der zinsvergünstigten Darlehen des KfW-Programmes „Effizient sanieren“ würde die Wirtschaftlichkeit verbessern. Hierbei können Tilgungszuschüsse von 12,5 % für die Heizungserneuerung und 7,5 % für die Außenwanddämmung in Anspruch genommen werden, in Summe sind das rund 12.000 €. Zu berücksichtigen sind zusätzliche Kosten für eine Begleitung und Prüfung durch einen KfW-Sachverständigen.

Perspektive Wohnungsunternehmen					
Randbedingungen	Bestand	Einsparprognose vor Modernisierung	Einsparerfolg, Stand Sommer 2016	Einsparerfolg, Stand Mai 2017	
Kaltmiete	5,00	5,00	5,00	5,00	€/m ² Monat
Potenzial Mieterhöhung		0,44	0,35	0,45	€/m ² Monat
beheizte Wohnfläche	900	900	900	900	m ²
Investitionskosten Sanierung		140.962	140.962	140.962	€
Zuschüsse		0	0	0	€
Sowieso-Kosten Instandsetzung		38.067	38.067	38.067	€
Betrachtungszeitraum		25	25	25	Jahre
Kalkulatorischer Zinssatz		0,02	0,02	0,02	-
Annuitätsfaktor		0,051	0,051	0,051	-
Einnahmen-/Ausgabenrechnung Wohnungsunternehmen					
Einnahmen	Bestand	Modernisiert	Modernisiert	Modernisiert	
Einnahme Kaltmiete	54.000	54.000	54.000	54.000	€/a
Mehreinnahme wärmietenneutrale Mieterhöhung	0	4.752	3.780	4.860	€/a
Ausgaben					
energetisch bedingte Kapitalkosten abzl. Zuschüsse	0	5.270	5.270	5.270	€/a
Überschuss	54.000	53.482	52.510	53.590	€/a

Abbildung 107 Wirtschaftlichkeit aus Sicht des Wohnungsunternehmens, BS-B18+19

Bewertung Wirtschaftlichkeit

Auch bei den aktuell niedrigen Erdgaspreisen ist das Maßnahmenpaket „Außenwanddämmung und Heizungserneuerung“ am Bestandsobjekt mit schlechter Gebäude- und Erzeugereffizienz sowohl für Mieter als auch für Vermieter annähernd wirtschaftlich umsetzbar. Zur Gewährleistung eines effizienten Betriebs der Heizungsanlage ist eine Nachverfolgung erforderlich.

9.2 BS-B20-22: Außenwanddämmung und Heizungserneuerung

Für das Objekt BS-B20+22 liegen Gebäude- und Erzeuger-EAVs vor und nach der Modernisierung vor. Hieraus werden sowohl die Einsparprognose vor der Modernisierung sowie der Erfolgsnachweis aus den Verbrauchsdaten nach Modernisierung abgeleitet. Da die Schlussrechnung für die Heizungserneuerung zum Zeitpunkt der Berichtserstellung noch nicht vorlag, ist noch keine Wirtschaftlichkeitsbewertung nach Umsetzung möglich. Aufgrund der ähnlichen Ausgangslage ist aber ein ähnliches Ergebnis wie im Beispiel 9.1 zu erwarten.

9.2.1 Einsparprognose

Für die Gebäude-EAV werden getrennt nach Trinkwarmwasser und Heizkreis ausgewertete monatliche Wärmemengenzähler-Werte und Brennstoffverbräuche genutzt.

Die Erstellung der Einsparprognose für die Außenwanddämmung erfolgt auf Basis der U-Wert-Verbesserung. Dabei wird für das Bestandsmauerwerk eine U-Wert Bandbreite von 1 bis 1,5 W/(m²K) angenommen. Die resultierende Verbesserung des h-Wertes wird auf 0,52 bis 0,84 abgeschätzt. Die Einsparprognose für die Wärmemengenreduzierung des Heizkreises beträgt 50 bis 69 kWh/(m²a). Der brennwertbezogene Jahresnutzungsgrad wird aufgrund der Ausführung der Heizungsanlage mit hydraulischer Weiche vorsichtig auf 85 % geschätzt. Daraus ergibt sich eine prognostizierte Brennstoffeinsparung von 103 bis 126 kWh/(m²a), siehe Abbildung 108.

Messwerte vor der Modernisierung

Dauer Heizperiode (15-Jahres-Mittel)	mittl. Außentemp. Heizperiode	Messperiode	h-Wert [W/(m ² K)]
311 Tage/Jahr	8,1 °C	12.2013 - 07.2015	1,81
	Heizgrenztemperatur		
	17,5 °C		
		[kWh/a]	[kWh/(m ² a)]
gemessener Wärmeverbrauch Raumheizung vor der Modernisierung		155.693	127
gemessener Sockelverbrauch vor der Modernisierung		45.362	37
			[%]
Jahresnutzungsgrad Erzeugung, Brennwert-bezogen	Bestandserzeuger NT-Kessel		69
		[kWh/a]	[kWh/(m ² a)]
Brennstoffverbrauch vor der Modernisierung		291.384	238

Einsparprognose

Bauteil	Fläche [m ²]	U-Wert [W/(m ² K)]	Faktor [-]	h-Wert [W/K]	h-Wert [W/(m ² K)]
AW Bestand U-Wert 1,5	800	1,500	1	1.200	0,98
AW Bestand U-Wert 1,0	800	1,000	1	800	0,65
AW-1,5 nach Modernisierung	800	0,210	1	168	0,14
AW-1,0 nach Modernisierung	800	0,200	1	160	0,13
					[W/(m ² K)]
				Einsparprognose 1,5 über U-Wert-Verbesserung	0,84
				Einsparprognose 1,0 über U-Wert-Verbesserung	0,52
				geschätzte Bandbreite h-Wert nach der Modernisierung	0,97
				geschätzte Bandbreite h-Wert nach der Modernisierung	1,29

Dauer Heizperiode (15-Jahres-Mittel)	mittl. Außentemp. Heizperiode		
288 Tage/Jahr	7,3 °C		
	Heizgrenztemperatur		
	16 °C		
		[kWh/a]	[kWh/(m ² a)]
Prognose Wärmeverbrauch Raumheizung nach Modernisierung min.		71.383	58
Prognose Wärmeverbrauch Raumheizung nach Modernisierung max.		94.956	77
Einsparprognose Wärmeverbrauch Raumheizung nach Modernisierung max.		84.310	69
Einsparprognose Wärmeverbrauch Raumheizung nach Modernisierung min.		60.737	50
Prognose Sockelverbrauch		45.362	37
			[%]
Jahresnutzungsgrad Erzeugung, Brennwert-bezogen	2 neue Gas-BW-Thermen		85
		[kWh/a]	[kWh/(m ² a)]
Brennstoffprognose nach Modernisierung min.		137.347	112
Brennstoffprognose nach Modernisierung max.		165.080	135
Einsparprognose Brennstoffverbrauch max.		154.037	126
Einsparprognose Brennstoffverbrauch min.		126.304	103

Abbildung 108 Einsparprognose BS-B20-22, Außenwanddämmung und Heizungserneuerung

9.2.2 Erfolgsnachweis

Nach der Modernisierung wird der Einsparerfolg überprüft: Die gemessene Einsparung von 115 kWh/(m²a) liegt im Rahmen der prognostizierten Bandbreite. Der gemessene h-Wert von 1,13 W/(m²K) liegt im Bereich der prognostizierten Bandbreite von 1 bis 1,3 W/(m²K). Die Erzeugereffizienz von 84 % liegt leicht unter den Erwartungen.

Erfolgsnachweis: Messwerte nach der Modernisierung

Dauer Heizperiode (15-Jahres-Mittel)	mittl. Außentemp. Heizperiode	Messperiode	h-Wert [W/(m ² K)]
288 Tage/Jahr	7,3	28-10-2016 - 12.06.2017	1,13
	Heizgrenztemperatur		
	16 °C		
	tatsächliche Verbesserung h-Wert		0,68
		[kWh/a]	[kWh/(m ² a)]
gemessener Wärmeverbrauch Raumheizung nach der Modernisierung		83.309	68
gemessener Sockelverbrauch nach der Modernisierung		42.910	35
			[%]
Jahresnutzungsgrad Erzeugung, Brennwert-bezogen	2 neue Gas-BW-Thermen		84
		[kWh/a]	[kWh/(m ² a)]
Brennstoffverbrauch nach der Modernisierung		150.261	123
gemessene Einsparung Brennstoffverbrauch		141.123	115

Abbildung 109 Erfolgsnachweis BS-B20-22, Außenwanddämmung und Heizungserneuerung

9.3 Objektbeispiel Komplettmodernisierung Gebäudehülle: H-H9+11

Für das Objekt BS-H-H9+11 liegen Gebäude-EAVs, der Jahresbrennstoffverbrauch vor und nach der Modernisierung sowie abgerechnete Kosten für die umgesetzten Maßnahmen an der Gebäudehülle vor. Hieraus werden sowohl die Einsparprognose vor der Modernisierung sowie der Erfolgsnachweis und die Wirtschaftlichkeitsbewertung aus der Perspektive von Mieter, Vermieter und Wärmelieferant abgeleitet.

9.3.1 Einsparprognose

Beim Objekt H-H9+11 in Hannover-Stöcken wurde die Gebäudehülle komplett modernisiert. Die umgesetzten Energiesparmaßnahmen umfassen das Anbringen eines Wärmedämmverbundsystems, eine Fenstererneuerung, die Dämmung der obersten Geschossdecke von oben sowie eine unterseitige Dämmung der Kellerdecke. Eine Energiebilanz mit Bauteilflächen liegt nicht vor, die Nachweise zur Einhaltung der EnEV wurden über U-Wert Nachweise der modernisierten Bauteile geführt. Auf Basis der Planunterlagen und U-Wert-Berechnungen ist der h-Wert nach der Sanierung grob geschätzt. Für die Lüftung wird ein niedriger stündlicher Luftwechsel von 0,3 in den Wohnungen angesetzt. Messerfahrungen zeigen, dass die Lüftungsrate in Objekten mit Fensterlüftung während der Heizperiode häufig gering ausfällt. Treppenhauslüftung wird vernachlässigt. Die zusätzlichen Wärmeverluste über Wärmebrücken werden hoch eingeschätzt, weil die Dämmung im Keller aufgrund der Höhenverhältnisse teilweise unvollständig ist. Die Prognose geht davon aus, dass die Heizgrenze nach der Sanierung weiterhin hoch bei 16 °C liegt und sich der Jahresnutzungsgrad der atmosphärischen Erzeuger von 75 % auf 70 % verschlechtert.

Messwerte vor der Modernisierung					
Dauer Heizperiode (15-Jahres-Mittel)	302	Tage/Jahr	mittl. Außentemp. Heizperiode	7,8	°C
			Heizgrenztemperatur	16,9	°C
			Messperiode	2012	
					h-Wert [W/(m²K)]
					2,14
				[kWh/a]	[kWh/(m²a)]
gemessener Wärmeverbrauch Raumheizung vor der Modernisierung				118.141	141
gemessener Sockelverbrauch vor der Modernisierung				1.674	2
					[%]
Jahresnutzungsgrad Erzeugung, Brennwert-bezogen			Bestandserzeuger NT-Kessel		75
				[kWh/a]	[kWh/(m²a)]
Brennstoffverbrauch vor der Modernisierung				159.753	191
Einsparprognose					
Schätzwert h-Wert nach der Modernisierung					
Bauteil	Fläche	U-Wert	Faktor	H _T	h _T -Wert
	[m²]	[W/(m²K)]	[-]	[W/K]	[W/(m²K)]
FE	202	1	1	202	0,24
AW	614	0,19	1	117	0,14
OG	358	0,19	1	68	0,08
Treppenaufgang	20	3,6	1	73	0,09
Tür	2	3	1	6	0,01
BO	358	0,46	0,5	82	0,10
Treppenabgang	20	3,5	0,5	36	0,04
Summe Hüllfläche	1.574			584	0,70
Wärmebrückeneinfluss	1.574	0,1		157	0,19
Transmissionswärmeverluste				741	0,89
	Volumen	Luftwechsel	Kapazität	H _V	h _V -Wert
	[m³]	[h-1]	[Wh/(m³K)]	[W/K]	[W/(m²K)]
Lüftung	2.093	0,3	0,34	213	0,26
				955	1,14
					[W/(m²K)]
				Einsparprognose	1,00
Einsparprognose					
Dauer Heizperiode (15-Jahres-Mittel)	288	Tage/Jahr	mittl. Außentemp. Heizperiode	7,3	°C
			Heizgrenztemperatur	16	°C
				[kWh/a]	[kWh/(m²a)]
Prognose Wärmeverbrauch Raumheizung nach Modernisierung				57.401	69
Einsparprognose Wärmeverbrauch Raumheizung nach Modernisierung				62.413	75
Prognose Sockelverbrauch				0	0
					[%]
Jahresnutzungsgrad Erzeugung, Brennwert-bezogen			Bestandserzeuger NT-Kessel		70
				[kWh/a]	[kWh/(m²a)]
Brennstoffprognose nach Modernisierung				82.002	98
Einsparprognose Brennstoffverbrauch				77.751	93

Abbildung 110 Einsparprognose Objekt H-H9+11, Komplettmodernisierung Gebäudehülle

9.3.2 Erfolgsnachweis

Nach der Modernisierung wird der prognostizierte Brennstoffverbrauch um rund 15 kWh/(m²a) überschritten. Hauptursache ist die Verschlechterung der Erzeugereffizienz der alten Bestandsanlagen mit Rücklaufemperaturanhebung, die ungünstiger ausfällt als prognostiziert. Die gemessene Heizsteigung liegt dagegen in der erwarteten Größenordnung und zeigt die Wirksamkeit der Modernisierung der Gebäudehülle.

Erfolgsnachweis: Messwerte nach der Modernisierung			
Dauer Heizperiode (15-Jahres-Mittel)	mittl. Außentemp. Heizperiode	Messperiode	h-Wert [W/(m ² K)]
282 Tage/Jahr	7,2	2015	1,18
	Heizgrenztemperatur		[W/(m ² K)]
	15,8 °C		
	tatsächliche Verbesserung h-Wert		0,96
		[kWh/a]	[kWh/(m ² a)]
gemessener Wärmeverbrauch Raumheizung nach der Modernisierung		57.487	69
gemessener Sockelverbrauch nach der Modernisierung		837	1
			[%]
Jahresnutzungsgrad Erzeugung, Brennwert-bezogen	Bestandserzeuger NT-Kessel		62
		[kWh/a]	[kWh/(m ² a)]
Brennstoffverbrauch nach der Modernisierung		94.070	112
gemessene Einsparung Brennstoffverbrauch		65.682	78

Abbildung 111 Erfolgsnachweis Objekt H-H9+11, Komplettmodernisierung Gebäudehülle

9.3.3 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit wird akteursbezogen aus der Perspektive von Mieter, Vermieter und Wärmelieferant betrachtet. Für die Mieterseite wird untersucht, welche Erhöhung der Kaltmiete auf Basis der eingesparten Wärmekosten möglich wäre, während für die Vermieterseite geprüft wird, ob die energetisch bedingten Kapitalkosten aus einer warmmietenneutralen Mieterhöhung finanzierbar sind. Beim Wärmelieferanten beeinflussen die durchgeführten Energiesparmaßnahmen die Wärmeabnahme, die Brennstoffkosten und die Erzeugereffizienz. Hierdurch verringern sich die Erlöse beim Wärmelieferanten.

Wirtschaftlichkeit aus Mieterperspektive

Die Mieter werden mit Wärme im Contracting-Modell beliefert, die Energiekosten setzen sich aus dem verbrauchs-basierten Arbeitspreis und dem Leistungspreis zusammen. Die Komplettmodernisierung ermöglicht nach Prognose eine warmmietenneutrale Erhöhung der Kaltmiete um 0,63 Cent/(m²Monat). Auf Basis des Einsparerfolgs beträgt die mögliche warmmietenneutrale Erhöhung der Kaltmiete 0,62 Cent/(m²Monat).

Perspektive Mieter

Randbedingungen	Bestand	Einsparprognose vor Modernisierung	Einsparerfolg, Stand 2015	
beheizte Wohnfläche	837	837	837	m ²
Heizenergie WMZ	144	69	70	kWh/(m ² a)
eingestellte Leistung	76	76	76	kW
Arbeitspreis kWh WMZ	0,100	0,100	0,100	€/kWh
Leistungspreis	28	28	28	€/kW

Bruttomiete

	Bestand	Einsparprognose vor Modernisierung	Modernisiert	
Kaltmiete	5,00	5,00	5,00	€/(m ² Monat)
Wärmekosten	1,41	0,79	0,80	€/(m ² Monat)
Summe	6,41	5,79	5,80	€/(m²Monat)
mögliche Erhöhung Kaltmiete aufgrund Wärmekosteneinsparung		0,63	0,62	€/(m ² Monat)

Abbildung 112 Warmmietenneutralität Mieter, Objekt H-H9+11

Wirtschaftlichkeit aus Perspektive des Wohnungsunternehmens

Aus den Mehreinnahmen der warmmietenneutralen Erhöhung der Kaltmiete refinanziert das Wohnungsunternehmen energetisch bedingten Modernisierungskosten der Gebäudehülle. Bei Annahme einer mittleren Nutzungsdauer von 30 Jahren für Fenstererneuerung und Dämmmaßnahmen, 2 % Kalkulationszins und Annahme eines Anstrichs als Ohnehin-Maßnahme liegen die annuitätischen Kapitalkosten unter den Mehreinnahmen der möglichen Kaltmietenerhöhung. In der Berechnung sind für die Außenwanddämmung und Fenstererneuerung 7,5 % KfW-Tilgungszuschüsse aus dem KfW-Programm „Effizient sanieren“ berücksichtigt. Die Umsetzung eines KfW-Effizienzhaustandards mit gleichzeitiger Heizungserneuerung wäre aufgrund der erhöhten Tilgungszuschüsse wirtschaftlich attraktiver. Der erreichbare Standard hängt ab vom gewählten Heizsystem. Inzwischen ist eine Heizungserneuerung mit Gas-Brennwertkessel erfolgt. Das Einhalten des KfW-115 Standards erscheint möglich, wenn die energetischen Dämm- und Fensterstandards der Außenbauteile sowie die Wärmebrückenanschlüsse die EnEV-Referenzausführung übertreffen.

Perspektive Wohnungsunternehmen

Randbedingungen	Bestand	Einsparprognose vor Modernisierung	Einsparerfolg, Stand Mai 2017	
Kaltmiete brutto	5,00	5,00	5,00	€/m ² Monat
Potenzial Mieterhöhung		0,63	0,62	€/m ² Monat
beheizte Wohnfläche	837	837	837	m ²
Investitionskosten Sanierung brutto		246.363	246.363	€
Zuschüsse		16.934	16.934	€
Sowieso-Kosten Instandsetzung		55.924	55.924	€
Betrachtungszeitraum		30	30	Jahre
Kalkulatorischer Zinssatz		0,02	0,02	-
Annuitätsfaktor		0,045	0,045	-

Einnahmen-/Ausgabenrechnung Wohnungsunternehmen

Einnahmen	Bestand	Modernisiert	Modernisiert	
Einnahme Kaltmiete	50.220	50.220	50.220	€/a
Mehreinnahme wärmietenneutrale Mieterhöhung	0	6.328	6.227	€/a
Ausgaben				
energetisch bedingte Kapitalkosten abzl. Zuschüsse	0	7.747	7.747	€/a
Überschuss	50.220	48.801	48.700	€/a

Abbildung 113 Wirtschaftlichkeit aus Sicht des Wohnungsunternehmens, Objekt H-Ho9+11

Wirtschaftlichkeit aus Perspektive des Wärmelieferanten

Beim betrachteten Objekt reduzieren sich die jährlichen Überschüsse um rund 2.200 €. Zwar ergibt sich eine deutliche Einsparung beim Brennstoffeinkauf, aber die reduzierten Wärmekosten und die Verminderung der Erzeugereffizienz wirken sich negativ auf die Erlöse aus. Im Kapitel 5.2.3 wurde der Nachteil von fehlenden Anreizen für eine Verringerung der Wärmeabnahme bei Wärmelieferung und die Möglichkeit der Etablierung von Einspar-Contracting bei Wärmelieferanten und Nutzern diskutiert.

Perspektive Wärmelieferant

Randbedingungen	Bestand	Einsparprognose vor Modernisierung	Einsparerfolg, Stand Mai 2017	
Mindereinnahme Wärmelieferung		0,63	0,62	€/m ² Monat
beheizte Wohnfläche	837	837	837	m ²
eingestellte Leistung	76	76	76	kW
Heizenergie WMZ	144	69	70	kWh/(m ² a)
Arbeitspreis kWh WMZ	0,100	0,100	0,100	€/kWh
Leistungspreis	28	28	28	€/kW
JNG_Brennwert	0,75	0,70	0,62	
fossiler Brennstoffeinsatz	192	99	113	kWh/(m ² a)
Gaspreis	0,060	0,060	0,060	€/kWh

Einnahmen-/Ausgabenrechnung Wärmelieferant

Einnahmen	Bestand	Modernisiert	Modernisiert	
Einnahme Wärmelieferung	14.181	7.903	7.987	€/a
Ausgaben				
Brennstoffkosten	9.642	4.950	5.670	€/a
Überschuss	4.539	2.953	2.317	€/a

Abbildung 114 Wirtschaftlichkeit aus Sicht des Wärmelieferanten, Objekt H-H9+11

9.4 Objektbeispiel Kompettmodernisierung Gebäudehülle: Hi-E34

Für das Objekt Hi-E34 liegen die Gebäude- und Erzeuger-EAVs vor der Modernisierung vor, die aus dem Wärmemengenzählerwert und Brennstoffeinsatz für die Objekte Hi-E34-36-38 des zentralen Erzeugers zur Raumheizung abgeleitet wurden. Für das Objekt Hi-E34 wird die Wärmeinsparung zur Raumheizung prognostiziert. Der Stromverbrauch der neu installierten elektrischen Durchlauferhitzer zur Trinkwarmwasserbereitung wird messtechnisch erfasst. Da die Datenfernauslesung derzeit noch nicht möglich ist, erfolgt die Überprüfung des Modernisierungserfolgs im DBU-Folgeprojekt.

9.4.1 Einsparprognose Wärmeverbrauch Raumheizung Objekt Hi-E34

Das Objekt EH-34 erreicht nach der Modernisierung den KfW-85-Standard. Die Gebäudehülle wurde komplett modernisiert, in den Wohnungen Abluftanlagen installiert, Kombithermen zur Trinkwarmwasserbereitung demontiert und durch elektrische Durchlauferhitzer ersetzt. Die gesamte Liegenschaft wird an das von der EVI betriebene Fernwärmenetz angeschlossen, der zentrale Gas-Brennwertkessel demontiert.

Auf Basis der EnEV-Berechnung des Sachverständigenbüro Hans Westfeld vom 11.08.2014 wird eine Erfolgsprognose zur Einsparung des Heizwärmeverbrauchs erstellt. Flächen, U-Werte und Wärmebrückenansätze werden aus der EnEV-Bilanz übernommen, für die Lüftung ist unter Berücksichtigung der Auslegungen des Ingenieurbüro Blank ein stündlicher Luftwechsel von 0,4 in den Wohnungen abgeschätzt. Damit ergibt sich ein Wohnflächen-bezogener h-Wert von 0,9 W/(m²Wfl.K). Dieser Wert fällt um 0,2 W/(m²Wfl.K) niedriger als beim Objekt aus Stöcken aus, weil es sich um eine Blockrandbebauung mit einem günstigeren Verhältnis von wärmeabgebenden Flächen zur Wohnfläche handelt.

Bei unveränderter Heizgrenze und Vermeidung von Sommerheizung wird ein Wärmeverbrauch von nur noch 48 kWh/(m²a) prognostiziert.

Messwerte vor der Modernisierung (WMZ Hzg für Haus-Nr. 34+36+38)					
Dauer Heizperiode (15-Jahres-Mittel)	mittl. Außentemp. Heizperiode	Messperiode			[W/(m²K)]
272	Tage/Jahr	6,8 °C	11/2012 bis 7/2014		1,93
	Heizgrenztemperatur	15,1 °C			
			[kWh/a]		[kWh/(m²a)]
gemessener Wärmeverbrauch Raumheizung vorher ohne Sockel			57.619		105
gemessener Sockelverbrauch vorher (nur Hzg)			4.408		8
					[%]
Jahresnutzungsgrad Erzeugung, Brennwert-bezogen	Bestandserzeuger Gas-Brennwertkessel				82
			[kWh/a]		[kWh/(m²a)]
Brennstoffverbrauch vor der Modernisierung			75.643		137
Einsparprognose					
Schätzwert h-Wert nach der Modernisierung					
Bauteil	Fläche	U-Wert	Faktor		
	[m²]	[W/(m²K)]	[-]	[WK]	[W/(m²K)]
FE	124,87	1,1	1	137	0,25
AW	290,57	0,23	1	67	0,12
AW-KE	3,39	0,23	0,6	0	0,00
OG	161,59	0,23	0,8	30	0,05
DA-TH	12,47	0,23	1	3	0,01
IW	51,77	0,23	0,5	6	0,01
IT	5,05	1,5	0,5	4	0,01
BO	154,44	0,26	0,65	26	0,05
BO-TH	16,53	0,38	0,4	3	0,00
Summe Hüllfläche	821			276	0,50
Wärmebrückeneinfluss	821	0,025		21	0,04
Transmissionswärmeverluste				296	0,54
	Volumen	Luftwechsel	Kapazität		
	[m³]	[h-1]	[Wh/(m³K)]	[WK]	[WK]
Lüftung	1.378	0,4	0,34	187	0,34
				483	0,88
					[W/(m²K)]
				Einsparprognose	1,05
Dauer Heizperiode (15-Jahres-Mittel)	mittl. Außentemp. Heizperiode				
272	Tage/Jahr	6,8 °C			
	Heizgrenztemperatur	15,1 °C			
			[kWh/a]		[kWh/(m²a)]
Prognose Wärmeverbrauch Raumheizung nach Modernisierung			26.195		48
Einsparprognose Wärmeverbrauch Raumheizung nach Modernisierung			35.832		65
Prognose Sockelverbrauch			0		0

Abbildung 115 Einsparprognose Objekt Hi-E34, Komplettmodernisierung Gebäudehülle

9.4.2 Wirtschaftlichkeitsvergleich Lüftung

Auf Grundlage der abgerechneten Investitionskosten der gbg für die Objekte E34, E36 und E38 wird ein Vollkostenvergleich der Varianten Fensterlüftung, Abluftanlage und mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung durchgeführt siehe Abbildung 116. Fensterlüftung ist in der Liegenschaft nicht umgesetzt, alle Objekte sind mindestens mit einer Abluftanlage ausgestattet.

Nach [26] werden für die Fensterlüftung durchschnittliche jährliche Schimmelbeseitigungskosten von 125 € je Wohnung angesetzt. In der Diplomarbeit aus Österreich wurde die Wahrscheinlichkeit von lüftungsrelevanten Kondensationsschäden untersucht und die durchschnittlichen Sanierungskosten ermittelt. Nach Installation von mechanischen Lüftungsanlagen wird von einer vernachlässigbaren Auftretswahrscheinlichkeit für Schimmelschäden ausgegangen und keine Kosten für deren Beseitigung angesetzt.

Wirtschaftlichkeit aus Perspektive des Wohnungsunternehmens

Bei Umlage der Investitionskosten auf 25 Jahre Nutzungsdauer und bei Zugrundelegung eines Zinssatz von 2 % entstehen jährliche Kapitalkosten von 130 € je Wohnung für die Abluftanlage und 288 € für die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Die Kapitalkosten der Abluftanlage bewegen sich damit auf dem Niveau durchschnittlicher Schimmelbeseitigungskosten. Die Installation von Abluftanlagen stellt aus Sicht des Wohnungsunternehmens eine annähernd wirtschaftliche Strategie zur Vermeidung von Schimmelpilz dar. Der Einbau von Lüftungstechnik mit Wärmerückgewinnung verursacht mehr als doppelt so hohe Kapitalkosten, die sich im vorliegenden Fall nicht durch vermiedene Wärmeeinsparung in Höhe von rund 100 € jährlich refinanzieren lassen.

Wirtschaftlichkeit aus Mieterperspektive

Aus Mieterperspektive ist die verbesserte Raumlufthygiene durch kontinuierlichen Luftaustausch mit zusätzlichen Wartungs- und Hilfsstromkosten verbunden. Die Wartung von Lüftungsanlagen umfasst Filterwechsel sowie die Inspektion der Anlage und Brandschutzeinrichtungen. Bei Einsatz von Lüftungstechnik mit Wärmerückgewinnung profitieren die Mieter von vermiedenen Wärmekosten, wenn auf ausgiebige Fensterlüftung während der Heizperiode verzichtet wird.

Die Wartungskosten werden auf jährlich 480 € im Falle von Abluftanlagen und 600 € für Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung geschätzt. Im Falle der Abluftanlage entstehen für den Mieter geschätzte Wartungs- und Hilfsstromkosten von monatlich rund 5 €. Bei Einsatz von Lüftungstechnik mit Wärmerückgewinnung steigen die Wartungs- und Hilfsstromkosten auf rund 7 € monatlich, während die Wärmekosteneinsparung monatlich rund 8 € beträgt.

Fazit

Die hohen Investitionskosten der Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung im Vergleich zur Abluftanlage lassen sich nicht durch Wärmeeinsparungen refinanzieren. Im Geschosswohnungsbau sind kostenreduzierte Komplettlösungen ein notwendiger Entwicklungsschritt für den Einsatz von Lüftungstechnik. Bei kleinen Wohnungen können Einzelraumgeräte mit fassadenintegrierten Lüftern einen Lösungsansatz darstellen, um die Kanalnetz- und Trockenbaukosten sowie den Platzbedarf zu reduzieren, vgl. [1].

Wirtschaftlichkeitsvergleich Lüftung

Projektname	gbg, Vergleich Lüftungssysteme, Objekt E36			
Varianten:	Fenster- lüftung	Abluft	Lüftung mit WRG	
Gebäudedaten				
NGF	m ²	506	506	506
Anlagen-LW	h-1		0,3	0,3
lichte Raumhöhe	m	2,5	2,5	2,5
Anzahl Wohnungen	Stück	8,0	8,0	8,0
Gebäudetechnik				
volumenstrombezogene Leistungsaufnahme	Wh/m ³		0,3	0,5
durchschnittlicher Volumenstrom je Whg	m ³ /h		47	47
Wärmebereitstellungsgrad	%			75
Energiepreise				
Brutto-Arbeitspreis Wärme	€/kWh	0,10000	0,10000	0,10000
Brutto-Arbeitspreis Hilfsstrom	€/kWh	0,30000	0,30000	0,30000
Energiebilanz				
Hilfsstrombedarf (Ann.: ganzjähriger Betrieb)	€/(Whg*a)		104	187
Wärmeeinsparung	€/(Whg*a)			974
Investkosten				
reine Baukosten, ohne Planungskosten	€/Whg		2.534	5.631
Annuitäten				
Betrachtungszeitraum T		25	25	25
Zinsfaktor q		1,02	1,02	1,02
Annuitätsfaktor		0,0512	0,0512	0,0512
Jährliche Gesamtkosten je Wohnung				
Schätzwert Schimmelbeseitigungskosten	€/(Whg*a)	125		
Kapitalkosten	€/(Whg*a)		130	288
Betriebskosten	€/(Whg*a)		60	75
Vermiedene Wärmekosten	€/(Whg*a)		0	-97
Hilfsstrom	€/(Whg*a)		5	10
SUMME Kosten	€/(Whg*a)	125	195	276

Abbildung 116 Vollkostenvergleich Lüftungsanlagen, Objekte gbg Hildesheim

9.5 Erfahrung zur Erstellung von EAV-basierten Einsparprognosen und Erfolgsnachweisen

Die Erstellung von EAV-basierten Einsparprognosen ist mit deutlich weniger Aufwand durchführbar als herkömmliche bedarfsbasierte Verfahren mit nachträglicher Verbrauchskorrektur. In der Überprüfung durch die bisher erstellten Erfolgsnachweise ergibt sich eine hohe Treffsicherheit. Im DBU-Folgeprojekt ist eine Weiterentwicklung für den Einsatz in der Energieberatung geplant.

10 Fazit und Ausblick auf das DBU-Folgeprojekt

Aus den bisher erfolgten Untersuchungen können Erfahrungen und weiterer Forschungsbedarf abgeleitet werden:

Erfahrungen zu den Vertragsmodellen der Energieversorgung

- Im Falle von Wärmeliefer-Contracting kann die Verbesserung des Gesamtsystems Heizungsanlage aus dem Blick geraten, weil die Verantwortung des Contractors am Wärmemengenzähler endet. Die Schnittstelle soll im DBU-Folgeprojekt auf Verbesserungsmöglichkeiten untersucht werden.
- Der Eigenbetrieb von Heizungsanlagen erfordert gezielten Kompetenzaufbau und Bereitstellung von Arbeitskapazitäten im Wohnungsunternehmen. Im DBU-Folgeprojekt sollen qualitätssichernde Leistungen beschrieben werden, die u. a. Mindestleistungen zu Heizungsoptimierungen, die Einbindung der EAV in Wartungsverträge sowie das Vorgehen bei Qualitätsdefiziten betreffen.

Erfahrungen zu anlagentechnischen Konstellationen

- Die Die DBU-Projekte OPTIMUS [35] und die Brennwertkesselstudie [36] zeigten vor mehr als 10 Jahren, wie sich die Jahresnutzungsgrade von Heizungsanlagen erfolgreich verbessern lassen. Die in diesem Projekt gemessenen Erzeugereffizienzen liegen in der Breite immer noch viel zu ungünstig und verdeutlichen den Handlungsbedarf, von Prüfstandwerten zu Messwerten im Realbetrieb überzugehen.
- In Bestandsgebäuden mit zentraler Trinkwarmwasserbereitung ist die Grundlast hoch und kann Werte zwischen 30 bis 70 kWh/(m²a) erreichen. Der Trinkwarmwassernutzen liegt typisch bei 12 bis 18 kWh/(m²a), also weit weniger als die Hälfte des benötigten Aufwands. Die Verminderung der gebäudeinternen Verteilverluste muss in den kommenden Jahren weiter forciert werden. Zur Auswirkung von Dezentralisierung auf wohnungsweise elektrische Warmwasserbereitung besteht noch Forschungsbedarf, inwieweit der Heizwärmeverbrauch hierdurch ansteigt und die gezapfte Trinkwarmwassermenge beeinflusst wird.
- In Bestandsgebäuden liegen die eingestellten Vorlauftemperaturen nach energetischer Verbesserung der Gebäudehülle häufig noch bei 75 °C. Die Absenkung der Systemtemperaturen und Durchführung des hydraulischen Abgleichs in bestehenden Heizungsanlagen ist Gegenstand weiterer Untersuchungen im DBU-Folgeprojekt.
- Zu komplexe hybride Heizungsanlagen versagen häufig im Betrieb. Im DBU-Folgeprojekt sollen daher gezielt Standardkonzepte für die Heizungstechnik erarbeitet und qualitätssichernde Leistungen beschrieben werden.

Erfahrungen zu Effizienzverbesserungen an der Gebäudehülle

- Effizienzverbesserungen an der Gebäudehülle gelingen und bewähren sich im Betrieb. Sollte die Heizsteigung unerwartet hoch liegen, ist ein ungünstiger Nutzereinfluss wahrscheinlich.

Anwendung EAV

- Die EAV-Analyse bewährt sich und wird als Auswertetool für die Wohnungswirtschaft weiter entwickelt. Erste Software-Anbieter integrieren die EAV-Methodik in ihre Programme [2].
- EAV-basierte Erfolgsnachweise und Wirtschaftlichkeitsberechnungen werden in den umgesetzten und noch anstehenden Modernisierungen fortgesetzt.

11 Literatur

- [1] Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase V: 2010-2015: Kostengünstige Lüftungslösungen im Wohnungsbau – Systeme mit Wärmerückgewinnung, Herausgeber: Wolfgang Feist, Passivhausinstitut Darmstadt und Universität Innsbruck, Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften, Darmstadt September 2015
- [2] Eva Augsten: Wärme simulieren, Zeitschrift Sonne Wind Wärme 07+08 2017
- [3] BBU Verband Berlin-Brandenburgischer Wohnungsunternehmen e.V.: Leitfaden zur Einführung der gewerblichen Wärmeversorgung in der Wohnungswirtschaft, Berlin April 2015
- [4] BDEW: Heizungsmarkt Wohnungswirtschaft, Befragung zum Thema Heizung und Energie in der Wohnungswirtschaft, Oktober 2016
- [5] BSW Solar: Informationspapier des Bundesverband Solarwirtschaft e. V., Merkblatt EEG-Mieterstromförderung, Juni 2017
- [6] Bündnis für bezahlbares Wohnen und Bauen: Bericht der Baukostensenkungskommission, Endbericht November 2015
- [7] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Zahlen und Fakten Energiedaten – Nationale und Internationale Entwicklung; letzte Aktualisierung 05.05.2017
- [8] Fraunhofer IWES et al.: Interaktion EE-Strom, Wärme und Verkehr, September 2015
- [9] Grinewitschus, Victor; Lepper, Katja: Gutachten zur Ermittlung von anerkannten Pauschalwerten für den Jahresnutzungsgrad (JNG) von Heizungsanlagen, Institut für Energiefragen der Immobilienwirtschaft der EBZ Business School, Bochum
- [10] Grove-Smith, Jessica, Passivhausinstitut, Feist, Wolfgang, Universität Innsbruck: Zukunftsfähig: Passivhäuser und Erneuerbare Primärenergie, Holzbau 1/2016
- [11] Heidemann, A.: Kooperative Bauabwicklung im Bauwesen unter Berücksichtigung von LEAN-Prinzipien, Karlsruher Institut für Technologie, 2011
- [12] Hinz, Eberhard: Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Altbauten, IWU 2015
- [13] IFEU et al: 100 % Wärme aus erneuerbaren Energien? Auf dem Weg vom Niedrigstenergiehaus im Bestand, Szenarien und Perspektiven des Gebäudebestands, 2014
- [14] IWU: Akteursbezogene Wirtschaftlichkeitsberechnungen von Energieeffizienzmaßnahmen im Bestand, Darmstadt 31.07.2013
- [15] Ingenieurbüro Blank: Anlagenbeschreibung Objekte E34-38, D2-4, Stand 03.05.2016
- [16] IWU: Gradtagszahlen Deutschland
- [17] IWU: Marc Großklos, Magrit Schaede, Ulrike Hacke: Möglichkeiten der Wohnungswirtschaft zum Einstieg in die Erzeugung und Vermarktung elektrischer Energie, Darmstadt 11.12.2015
- [18] Institut Wohnen und Umwelt: Ergebnisse der Modernisierung von sieben Mehrfamilienhäusern auf Passivhaus-Standard, Beitrag zur Internationalen Passivhaustagung in Frankfurt, 2013
- [19] Rehberg, S.: CO₂-Monitoring in der Berliner Wohnungswirtschaft; Vortrag auf den Berliner Energietagen 2016
- [20] Schünemann, A. et. al.: Zurück zum gesunden Menschenverstand, GEB – Gebäude Energieberater 09.2016, Gentner Verlag GmbH
- [21] Schünemann, Adrian; Jagnow, Kati; Wolff, Dieter: Es würde auch einfacher gehen! – Vorschläge für das GEG 2019; TGA-Fachplaner; 08.2017; Gentner Verlag GmbH
- [22] Schünemann, A et.al.: CO₂-Bewertung statt Primärenergiebezug! – Vorschläge für eine EnEV-EEWärmeG-Novelle; TGA-Fachplaner; 12.2014; Gentner Verlag GmbH
- [23] Statistisches Bundesamt: Bautätigkeit und Wohnungen – Bestand an Wohnungen; Fachserie 5, Reihe 3; Wiesbaden; 2016
- [24] Norbert Stärz, Büro inPlan: Erfahrungen mit Planung und Ausführung von Wohnungslüftungsanlagen, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 50, Darmstadt 2015
- [25] Stadt Frankfurt: Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen der Stadt Frankfurt, Stand 22.11.2016
- [26] Thaler, Andreas: Lebenszykluskosten von Wohnraumlüftungsanlagen im mehrgeschossigen Wohnbau, Diplomarbeit 2010, Fachhochschule Kufstein-Tirol, Facility- und Immobilienmanagement

-
- [27] Verband für Wärmelieferung e.V.: Leitfaden für die Ausschreibung von Energieliefer-Contracting, Stand April 2012
- [28] Verband für Wärmelieferung e.V.: <https://www.energiecontracting.de/6-verband/wir-ueber-uns/vfw-in-zahlen.php>, Abruf-Datum 7.09.2017
- [29] Verbraucherzentrale: Auswertung Aktion Brennwertcheck, Juli 2011
- [30] Wolff, D.: Erfolgskontrolle sollte Pflicht sein. TGA-Fachplaner 09-2011
- [31] Wolff, D.: Vor der Wärmelieferung: Schätzen oder Messen. TGA-Fachplaner 03-2016
- [32] Wolff, D., Unverzagt, A.: Studie zur Wirkungsanalyse von Sanierungsmaßnahmen, Abschlussbericht Klimaschutzkampagne Sanierungswirkung 8.04.2016
- [33] Wolff, D., Eikenloff, G., Wähning, Kerstin, Brandes, Jörn: Zwischenbericht DBU-Projekt Energiekonzepte mit Erfolgsnachweis, November 2014
- [34] Wolff, D.; Jagnow, Kati, Deidert, Jörn: Integration von Heizkesseln in Wärmeverbundsysteme mit großen Solaranlagen; Forschungsprojekt BMU; Teil 1: Auswertung von Feldanlagen, Wolfenbüttel 2012
- [35] Wolff, D. und Jagnow, K.: Optimus-Abschlussbericht zum DBU-Projekt – Technischer Teil; Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; Wolfenbüttel 2005, https://www.delta-q.de/cms/de/projekte/dbu_optimus.html
- [36] Wolff, D., Teuber, P., Jagnow, K., Budde, J.: Felduntersuchung zu Heizungsanlagen mit Gas-Brennwertkesseln, DBU-Abschlussbericht, April 2004
- [37] Wolff, D.: Notwendige gesellschaftliche, politische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen für das Gelingen der Energiewende (bisher unveröffentlicht – kann auf Wunsch angefordert werden: d.wolff@ostfalia.de)