



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

DBU-Projekt "EAV-Anwendung in der Wohnungswirtschaft"

Bericht 6: Gemeinnützige Baugesellschaft zu Hildesheim (gbg)

Monitoring Ehrlicherstr.

Stand: 18.06.2020



Gefördert von:



Inhalt

1	Abbildungsverzeichnis	4
2	Abkürzungsverzeichnis	6
3	Aufgabenstellung und Zusammenfassung der Ergebnisse	7
4	Projektbeschreibung	10
4.1	Beschreibung Liegenschaften	10
4.2	Messkonzept	11
4.2.1	Wärmezentrale im Haus E42	12
4.2.2	Haus E34	13
4.2.3	Haus E36 und E38	14
4.2.4	Haus E40	14
4.2.5	Haus E42, D2, D4	15
4.2.6	Erfahrungsbericht Messkonzept und Verlässlichkeit Datenauslesung	15
5	Monitoring-Ergebnisse	16
5.1	Monitoring-Ergebnisse gezapfte Nutzwärme Trinkwarmwasser	16
5.2	Monitoring-Ergebnisse Wärmezentrale	17
5.3	Monitoring-Ergebnisse Einzelgebäude	21
5.3.1	Monitoring-Ergebnisse E34	21
5.3.2	Monitoring-Ergebnisse E36	23
5.3.3	Monitoring-Ergebnisse E38	24
5.3.4	Monitoring-Ergebnisse E40	26
5.3.5	Monitoring-Ergebnisse E42	28
5.3.6	Monitoring Ergebnisse Einzelgebäude Überblick	29
5.4	Monitoring Hilfsstromeinsatz Lüftungsanlagen	31
5.4.1	Monitoring Hilfsstromeinsatz Abluftanlagen (E34, E36, E40)	31
5.4.2	Monitoring Hilfsstromeinsatz Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (E38)	32
6	Ergebnisse Wirtschaftlichkeit	33
6.1	Ergebnisse Netto-Investitionskosten Heizsysteme	33
6.2	Ergebnisse Netto-Investitionskosten Lüftungssysteme	34
6.3	Wirtschaftlichkeitsvergleich	35
6.3.1	Rahmenbedingungen der Wirtschaftlichkeitsberechnung	35
6.3.2	Ergebnisse Wirtschaftlichkeit Heizsystem	37

6.3.3	Ergebnisse Wirtschaftlichkeit Heizsystem ohne Erneuerung Verteilsystem	38
6.3.4	Ergebnisse Wirtschaftlichkeit Lüftungssystem	40
7	Stärken-Schwächen-Analyse Trinkwarmwassersystem	42
8	Quellen	45
9	Anhang	46
9.1	Investitionskosten	46
9.2	Kapitalkosten mit Restwertermittlung	48

1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Abkürzungsverzeichnis.....	6
Abbildung 2	Soll-Wert-Empfehlungen für Monitoring in der Ehrlicherstr.	8
Abbildung 3	Während der Modernisierung: Hi-E34-42, D2-3, Foto: Unverzagt	10
Abbildung 4	Umgesetzte Energiesparmaßnahmen Quartier Ehrlicherstr.	11
Abbildung 5	Schema Auslesung Quartier Ehrlicherstr., Quelle: Delta Systemtechnik.....	12
Abbildung 6	Kompaktstation Fernwärme mit WMZ Netz und WMZ TWE in der Kundenanlage.....	13
Abbildung 7	Messstellen E34, Zeichnung Adrian Schünemann.....	13
Abbildung 8	Messstellen E36/E38, Zeichnung Adrian Schünemann	14
Abbildung 9	Messstellen E40, Zeichnung Adrian Schünemann.....	14
Abbildung 10	Messstellen E42, D2, D4, Zeichnung Adrian Schünemann	15
Abbildung 11	jährliche Zapfmengen Trinkwarmwasser je Wohnung.....	16
Abbildung 12	jährliche Zapfmengen Trinkwarmwasser bezogen auf die beheizte Wohnfläche	17
Abbildung 13	EAV-Vergleich 08/2018-05/2019 und 06/2019-02/2020.....	17
Abbildung 14	Gebäude-EAV 06/2019-02/2020 aus der Summe von WMZ Netz und TWE.....	18
Abbildung 15	Erhöhung Vorlauftemperatur in der Kundenanlage, Sekundärkreis Netz	18
Abbildung 16	Erhöhung Vorlauftemperatur in der Kundenanlage, Sekundärkreis TWE.....	19
Abbildung 17	Wärmezentrale Sekundärkreis TWE, Vorlauftemperatur und Außentemperatur	19
Abbildung 18	Wärmezentrale Sekundärkreis Netz, Vorlauftemperatur und Außentemperatur.....	20
Abbildung 19	Prognose h-Wert E34 siehe [10].....	22
Abbildung 20	Prognose Heizwärme-Kennwert E34 nach [10].....	22
Abbildung 21	Gebäude-EAV E34	23
Abbildung 22	Gebäude-EAV E36	24
Abbildung 23	Prognose h-Wert E38 nach [10]	25
Abbildung 24	Gebäude-EAV E38	25
Abbildung 25	Prognose Heizwärme-Kennwert E38 (WMZ Heizstrang).....	26
Abbildung 26	Gebäude-EAV E40, Grundlage: WMZ 2-Leiter	27
Abbildung 27	Wohnungs-EAV E40, Grundlage WMZ Wohnungsstationen, Zeitraum: 01.01.2019- 3.06.2019	27
Abbildung 28	Temperatur im Zirkulationsrücklauf der Ultrafiltrationsanlage vom 3.8.2018 bis 3.06.2020 [12]	28
Abbildung 29	Gebäude-EAV E42	29
Abbildung 30	Wärmekennwerte Einzelgebäude im Überblick.....	30
Abbildung 31	Systemtemperaturen Heizstrang/2-Leiter und Trinkwarmwasser, 28.05.2019 bis 4.05.2020	30
Abbildung 32	Anordnung WMZ TWW, Haus E42.....	31
Abbildung 33	jährlicher Hilfsstromeinsatz je Abluftanlage, Messjahr 2019	31
Abbildung 34	jährlicher Hilfsstromeinsatz je Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, Messjahr 2019 32	32
Abbildung 35	Vergleich Netto-Investitionskosten Heizsystem in Euro je Wohneinheit	34
Abbildung 36	Beschreibung Lüftungstechnik.....	34
Abbildung 37	Kostenvergleich Abluftanlage und Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	35
Abbildung 38	Gebäudedaten und Energiekennwerte für Wirtschaftlichkeitsberechnung	36
Abbildung 39	Kosten Messdienstleistungen	36
Abbildung 40	Systemvergleich Heizsystem: jährliche Gesamtkosten nach VDI 2067	37
Abbildung 41	Systemvergleich Heizsysteme: monatliche Betriebs- und Wärmekosten	38
Abbildung 42	Vergleich Netto-Investitionskosten Heizsystem in Euro je Wohneinheit, ohne Erneuerung Heizverteilung und Heizkörper	39
Abbildung 43	Systemvergleich Heizsystem: jährliche Gesamtkosten nach VDI 2067 ohne Erneuerung Verteil-Installation	40
Abbildung 44	jährliche Gesamtkosten Abluftanlage und Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung.....	41
Abbildung 45	Stärken und Schwächenanalyse elektrische Warmwasserbereitung.....	42
Abbildung 46	Stärken und Schwächenanalyse Trinkwasserstation	43

Abbildung 47	Stärken und Schwächenanalyse Wohnungsstation	44
Abbildung 48	Stärken und Schwächenanalyse Pufferspeicher mit Frischwasserstation und Ultrafiltration	44
Abbildung 49	E34: Netto-Investitionskosten Heizsystem in Euro je Wohneinheit.....	46
Abbildung 50	E36/38: Netto-Investitionskosten Heizsystem in Euro je Wohneinheit.....	46
Abbildung 51	E40: Netto-Investitionskosten Heizsystem in Euro je Wohneinheit.....	47
Abbildung 52	E42: Netto-Investitionskosten Heizsystem in Euro je Wohneinheit.....	47
Abbildung 53	E34: jährliche Netto-Kapitalkosten	48
Abbildung 54	E36: jährliche Netto-Kapitalkosten	48
Abbildung 55	E38: jährliche Netto-Kapitalkosten	48
Abbildung 56	E40: jährliche Netto-Kapitalkosten	49
Abbildung 57	E42: jährliche Netto-Kapitalkosten	49

2 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
AW	Außenwand
BHKW	Blockheizkraftwerk
DA	Dach
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
DWD	Deutscher Wetterdienst
EAV	Energieanalyse aus dem Verbrauch
EDE	Elektrische Durchlauferhitzer
EnEV	Energieeinsparverordnung
EPS	Expandiertes Polystyrol
FE	Fenster
HZG	Heizung
h-Wert	Auf die Energiebezugsfläche bezogene Heizsteigung/Wärmeverlustkoeffizient
KE	Kellerdecke
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KfW-EH	KfW-Effizienzhaus
LA	Lüftungsanlage
M-Bus	Meter-Bus
Miwo	Mineralwolle
OG	Oberste Geschossdecke
TWW	Trinkwarmwasser
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient
WDVS	Wärmedämm-Verbundsystem
WE	Wohneinheit
WMZ	Wärmemengenzähler

Abbildung 1 Abkürzungsverzeichnis

3 Aufgabenstellung und Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Blockbebauung Ehrlicherstr. in Hildesheim-Drispdenstedt wurde von 2014 bis Mitte 2018 umfassend energetisch modernisiert: Die Gebäude erhielten Wärmeschutz nach KfW-Effizienzstandard, neue Lüftungstechnik sowie neue Heizungsinstallationen. Es wurden verschiedene Trinkwarmwasser- und Lüftungssysteme mit dem Ziel installiert, diese im Feldtest zu erproben und Erfahrungen für zukünftige Sanierungen und Neuinstallationen zu sammeln.

Der vorliegende Bericht basiert auf bis Mai 2020 erhobenen Messdaten. Die Verbrauchsdatenauswertung dient als Grundlage für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zur Heiz- und Lüftungstechnik.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- 1) Wärmeschutz der Gebäudehülle: Der Einsparerfolg der durchgeführten Dämmmaßnahmen und Fenstererneuerung wird durch die Messergebnisse belegt. Sowohl h-Werte als auch der Heizwärme-Kennwerte der Häuser liegen nach der Modernisierung im günstigen, prognostizierten Bereich.
- 2) Lüftungstechnik: Die prognostizierte h-Wert-Reduzierung durch die wohnungszentralen Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung wird erreicht. Bei unveränderter Heizgrenze ist von 10 kWh/(m²a) Wärmeeinsparung auszugehen. Der Stromverbrauch der wohnungszentralen Anlagen mit Wärmerückgewinnung liegt durchschnittlich bei nur 150 kWh/a unter dem Stromverbrauch der Abluftanlagen von durchschnittlich 166 kWh/a. Das Verhältnis von Wärmenutzen zu Stromaufwand der Lüftungstechnik liegt bei 4 zu 1 bezogen auf des Gesamtjahr (Heizsaison + Sommer). Aufgrund der hohen Mehrkosten in Höhe von rund 2.600 € je Wohnung im Vergleich zu den eingesetzten Abluftanlagen schneidet die Lüftungstechnik mit Wärmerückgewinnung im Vollkostenvergleich ungünstiger ab als die Abluftanlagen.
- 3) Sommerheizung: Die gemessene Wärmeabnahme im Sommer ist in den auswertbaren Liegenschaften E34, E36 und E38 vernachlässigbar gering.
- 4) Trinkwarmwassersysteme: Die gemessene Nutzwärmeabnahme liegt bei 12 kWh/(m²a). Dabei ist die Personenbelegung in den auswertbaren Wohnungen mit 26 m²/Person überdurchschnittlich und die gezapfte personenbezogene Wärmemenge ist mit 314 kWh/Person unterdurchschnittlich. Die Messergebnisse der TWW-Kennwerte inklusive Verteilverlusten liegen bei 28 bis 29 kWh/(m²) in den Häusern E36 und E38 mit Trinkwasserstationen, bei 25 kWh/(m²a) in den Häusern D2, D4 und E42 in den Häusern mit Ultrafiltrationsanlage. Haus E40 weist einen Sockel-Kennwert von 32 kWh/(m²a) auf, der auf eine ungewöhnlich hohe Wärmeabnahme in den Wohnungen zurückzuführen ist. Die untersuchten Systeme direktelektrische Trinkwarmwasserbereitung, Trinkwasserstationen, Wohnungsstationen und Ultrafiltration liegen im Vollkostenvergleich auf ähnlichem Niveau.
- 5) Monitoring: Die Datenbereitstellung erfolgt mit Störungen. Die Auswertbarkeit der Messeinrichtungen ist stark eingeschränkt. Das Web-Portal wirkt in der Umsetzung unfertig.
- 6) Inbetriebnahme, Dokumentation und Betriebsoptimierung in der Wohnungswirtschaft: Durch ungünstige Betriebseinstellungen an der Fernwärme-Kompaktstation hat sich die Wärmeabnahme der Liegenschaft im Vergleich zur Vorjahres-Auswertung um 8 kWh/(m²a) erhöht. Soll-Werte und die tatsächlichen Einstellwerte der Regelparameter wurden zur Inbetriebnahme nicht dokumentiert. Zur Sicherstellung eines effizienten und nutzergerechten Gebäudebetriebs wird empfohlen, die Einstellwerte in Kooperation mit der EVI weiter zu optimieren.

Folgende Schlussfolgerungen lassen sich ableiten:

- 1) Wärmeschutz der Gebäudehülle: Die Effizienzmaßnahmen bewähren sich und bilden eine wichtige Voraussetzung für die langfristig vorgesehene Umstellung auf erneuerbare Nahwärme im Quartier. Bei der derzeitigen Wärmeerzeugung über ein BHKW und Spitzenlastkessel reduziert der verbesserte Wärmeschutz die Spitzenlastleistung durch fossile Energieträger.
- 2) Lüftungstechnik: Der Einsatz von Lüftungstechnik mit Wärmerückgewinnung erweist sich als energieeffizient, aber teuer im Vollkostenvergleich. Für den Einsatz von Lüftungstechnik im Geschosswohnungsbau lassen sich zwei Handlungsempfehlungen für zukünftige Projekte ableiten: Bei Einsatz von Abluftanlagen kann die Leistungsaufnahme auf 15 W für 3-Zimmer-Wohnungen begrenzt werden. Bei Einsatz von Lüftungstechnik mit Wärmerückgewinnung sollte die Reduzierung der Investitionskosten fokussiert werden. Als marktverfügbare Alternative kann der Einsatz von Einzelraumgeräten mit fassadenintegrierten Lüftern geprüft werden. Weitere Lösungsansätze zur Kostenverringerung werden in den Protokollbänden 50 [1] und 54 [2] des Passivhausinstituts aufgezeigt.
- 3) Trinkwarmwassersysteme: In Hildesheim-Drispstedt soll zukünftig regenerative Wärme aus einem Kollektorfeld eingespeist werden. Eine Absenkung der Systemtemperatur des Nahwärmenetzes von derzeit 90 °C / 70 °C auf 70 °C / 40 °C ist geplant. Die untersuchten Systeme der Trinkwarmwasser-/Wohnungsstationen sowie der Ultrafiltration unterstützen die angestrebte primärseitige Reduzierung der Systemtemperaturen. Ohne Erneuerung der Verteil-Installationen stellt die Ultrafiltration im Bestand einen Lösungsansatz dar, um die Umstellung auf erneuerbare Nahwärme zu ermöglichen. Für Neubau-Projekte der gbg wird empfohlen, die Eignung für erneuerbare Versorgungsstrukturen und die Reduzierung des Verteilaufwandes immer in die Planungsüberlegungen einzubeziehen. Mit allen untersuchten Lösungsansätzen für Trinkwarmwassersysteme lässt sich das Planungsziel erreichen. Die Systementscheidung ist projektbezogen unter Berücksichtigung der regenerativen Energieerzeugung im Quartier zu treffen.
- 4) EAV-Monitoring: Das im Rahmen des DBU-Projektes durchgeführte Monitoring lässt sich automatisieren und in Web-Portale integrieren, die Anlagen überwachen, visualisieren, steuern und regeln. Weiterentwicklungen in diesem Bereich können zukünftig ein einfaches Monitoring ermöglichen, dass das Wohnungsunternehmen turnusmäßig z. B. im Rahmen der Betriebskostenabrechnung durchführt.
Für die Liegenschaften in der Ehrlicher Str. werden drei nach EAV-Methode ermittelte Kennwerte vorgeschlagen.

Parameter	Soll-Wert
Wärmeabnahme Grundlast Kundenanlage: Sockel-Kennwert inkl. Verteilaufwand (WMZ TWE in Wärmezentrale E42)	25 kWh/(m ² a)
Wärmeabnahme Heizwärme Kundenanlage: Heizwärme-Kennwert inkl. Verteilaufwand (WMZ Netz in Wärmezentrale E42)	45 kWh/(m ² a)
h-Wert	kleiner 1 W/(m ² Wfl.*K)

Abbildung 2 Soll-Wert-Empfehlungen für Monitoring in der Ehrlicherstr.

5) Einführung Minimal-Monitoring

Der gbg wird empfohlen, schrittweise ein einfaches technisches Wärme-Monitoring für den Gebäudebestand aufzubauen, das einen effizienten, funktions- und bewohnergerechten Gebäudebetrieb ermöglicht.

Für das Quartier Ehrlicherstr. könnte die gbg beispielsweise ein Minimal-Monitoring auf Basis folgender Ziele, Prüfgrößen, Zähler und Sollzustände durchführen:

Ziel: Betriebsoptimierung Wärmeabnahme + Bewohnerzufriedenheit mit Raumheizung und Trinkwarmwasser

Prüfgröße: Wärmeabnahme, Bewohnerbeschwerden, Einstellungen Fernwärme-Kompaktstation

Zähler: WMZ Netz und TWE in Technikzentrale

Sollzustand:

- witterungsbereinigte jährliche Wärmeabnahme: $\leq 70 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
- Minimierung nachvollziehbarer Bewohnerbeschwerden
- Einstellung Kompaktstation: entsprechend EVU-Vordruck „Daten zur Hausanlage“ und dokumentierten Optimierungen

4 Projektbeschreibung

4.1 Beschreibung Liegenschaften

Die sieben in den sechziger Jahren errichteten Liegenschaften bilden in Hildesheim-Drispfenstedt eine viergeschossige Blockbebauung an der Ecke Ehrlicherstr – Doebnerstr., siehe Abbildung 3. Jedes Gebäude umfasst acht 3-Zimmer-Wohnungen mit einer beheizten Wohnfläche zwischen 60 bis 76 m². Von 2014 bis Mitte 2018 wurde die Bebauung umfassend saniert. Zur Verringerung des Wärmebedarfs erhielten alle Liegenschaften eine vollständige Dämmung der Gebäudehülle inkl. Fenstererneuerung, so dass nach der Sanierung der KfW-Effizienzhaus-85-Standard für das Eckhaus E34 und der KfW-Effizienzhaus-70-Standard für die anderen Gebäude erreicht wird.



Abbildung 3 Wärend der Modernisierung: Hi-E34-42, D2-3, Foto: Unverzagt

Die gesamte Liegenschaft wird über einen Nahwärmeanschluss der Energieversorgung Hildesheim (EVI) mit Wärme aus einer Erdgas-KWK-Anlage mit BHKW, einem zentralen Kurzzeitwärmespeicher und Spitzenlast-Kessel versorgt. Die Fernwärme-Kompaktstation ist als indirekter Anschluss vom Typ PEWO IIS-M1-P ausgeführt und befindet sich im Objekt E42.

In allen Objekten wurde das Verteilnetz der statischen Heizung inkl. Heizkörper vollständig erneuert: Die Objekte E34-38 sowie E42 sind mit Strangverteilung, Objekt E40 mit Ringleitung ausgeführt. Alle Liegenschaften haben eine neue Trinkwasserinstallation aus Edelstahl erhalten. Die dezentralen Gasthermen zur Trinkwarmwasserbereitung sowie das zugehörige Gasnetz wurden demontiert und durch vier Systeme ersetzt:

- E34: elektrische Durchlauferhitzer
- E36 und E38: Trinkwasserstationen
- E40: Wohnungsstationen mit 2-Leiter-Netz
- E42, D2 und D4: Zentrale Trinkwarmwasserbereitung mit 900-Liter-Pufferspeicher und Frischwasserstation sowie Ultrafiltrationsanlage

Die Liegenschaften sind mit folgender Lüftungstechnik ausgestattet:

- E34, E36, E40, E42: Abluftanlagen
- E38: Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

Die folgende Abbildung 4 stellt die umgesetzten Maßnahmen in den Liegenschaften im Überblick dar:

Kürzel	beheizte Wohnfläche	Anzahl Whg	Baujahr Gebäude	Effizienzhaus-Standard	Energiesparmaßnahmen Gebäudehülle	Energiesparmaßnahmen Gebäudetechnik	Heizungsinstallation	
E34	553	8	ca. 1960	KfW-EH-85	AW: 14 cm WDVS 035 DA: 17 cm Vollsparrendämmung 035 OG: 14 cm 035 KE: 8 cm EPS von unten FE-U-Wert=0,9 W/(m²K)	zentrale Abluft TWW=elektrisch HZG=Fernwärme	NEU: Strangverteilung, Heizkörper, hydraulischer Abgleich	
E36	501	8	ca. 1960	KfW-EH-70	AW: 14 cm WDVS 035 DA: 17 cm Vollsparrendämmung 035 OG: 14 cm 035 KE: 8 cm EPS von unten FE-U-Wert=0,9 W/(m²K)	zentrale Abluft TWW-Station HZG=Fernwärme	NEU: Strangverteilung, Heizkörper, hydraulischer Abgleich	
E38	499	8	ca. 1960	KfW-EH-70	AW: 14 cm WDVS 035 DA: 17 cm Vollsparrendämmung 035 OG: 14 cm 035 KE: 8 cm EPS von unten FE-U-Wert=0,9 W/(m²K)	LA mit WRG TWW-Station HZG=Fernwärme	NEU: Strangverteilung, Heizkörper, hydraulischer Abgleich	
E40	505	8	ca. 1960	KfW-EH-70	AW: 14 cm WDVS 035 DA: 17 cm Vollsparrendämmung 035 OG: 14 cm 035 KE: 8 cm Miwo von unten FE-U-Wert=0,9 W/(m²K)	zentrale Abluft Wohnungsstation HZG=Fernwärme	NEU: Ringverteilung, Heizkörper, hydraulischer Abgleich	
E42	555	8	ca. 1960	KfW-EH-70	AW: 14 cm WDVS 035 DA: 17 cm Vollsparrendämmung 035 OG: 14 cm 035 KE: 8 cm Miwo von unten FE-U-Wert=0,9 W/(m²K)	zentrale Abluft Frischwasserstation + Ultrafiltration HZG=Fernwärme	NEU: Strangverteilung, Heizkörper, hydraulischer Abgleich	
D2	550	8	ca. 1960	KfW-EH-70	AW: Bestand DA: 17 cm Vollsparrendämmung 035 OG: 14 cm 035 KE: 8 cm Miwo von unten FE-U-Wert=0,9 W/(m²K)	zentrale Abluft Frischwasserstation + Ultrafiltration HZG=Fernwärme	NEU: Strangverteilung, Heizkörper, hydraulischer Abgleich	
D4	503	8	ca. 1960	KfW-EH-70	AW: Bestand DA: 17 cm Vollsparrendämmung 035 OG: 14 cm 035 KE: 8 cm Miwo von unten FE-U-Wert=0,9 W/(m²K)	zentrale Abluft Frischwasserstation + Ultrafiltration HZG=Fernwärme	NEU: Strangverteilung, Heizkörper, hydraulischer Abgleich	
3.666		56						

Abbildung 4 Umgesetzte Energiesparmaßnahmen Quartier Ehrlicherstr.

4.2 Messkonzept

Die Fernauslesung der Messdaten erfolgt über ein M-Bus-System. Die Daten werden mittels Datenlogger ausgelesen, übertragen und über ein Webportal der Firma Delta Systemtechnik bereitgestellt. Abbildung 5 zeigt das zugehörige Auswertungsschema:

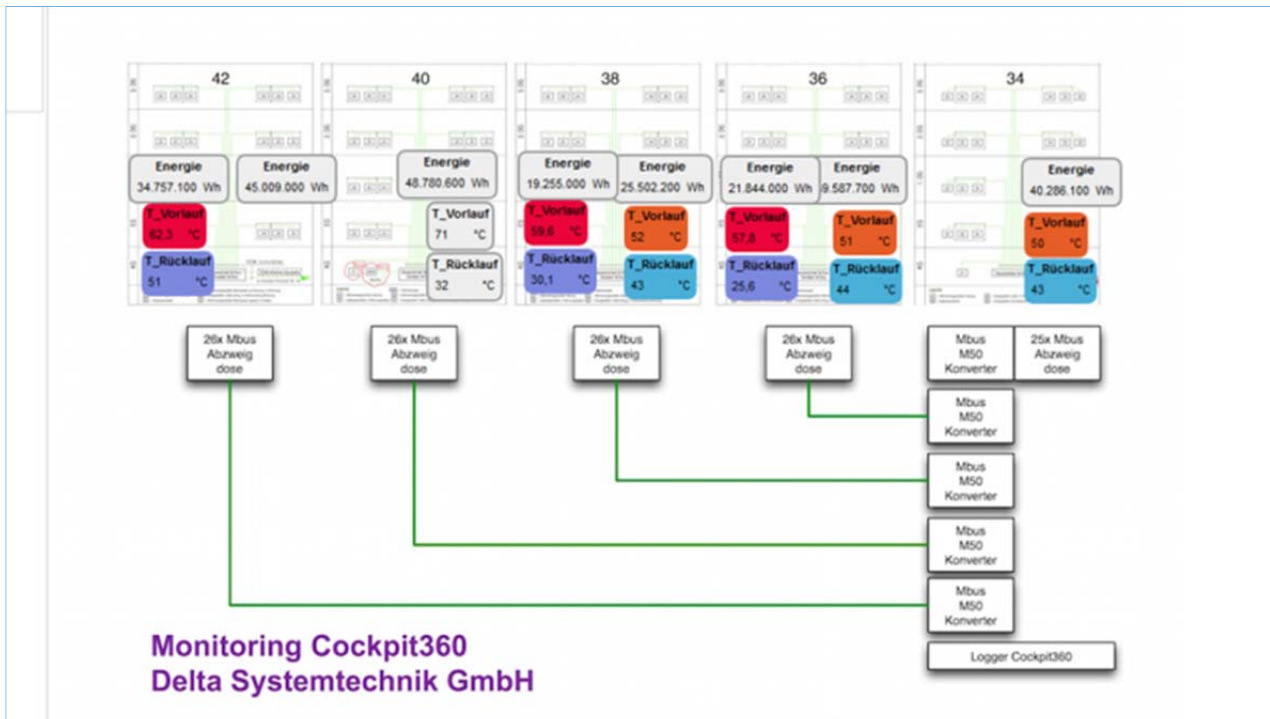


Abbildung 5 Schema Auslesung Quartier Ehrlicherstr., Quelle: Delta Systemtechnik

Die Datenbereitstellung verläuft seit Februar 2018 mit Störungen. Aufgrund von Kommunikationsproblemen zwischen den installierten Wärmemengenzählern und der Cockpit360-Software sind nur 8-Stunden-Intervalle auslesbar und es kommt immer wieder zu monatelangen Ausfällen. Die auswertbaren Messzeiträume sind bei den jeweiligen Ergebnissen vermerkt.

Alle über das Portal auswertbaren Messstellen sind in den folgenden Unterkapiteln beschrieben.

4.2.1 Wärmезentrale im Haus E42

Nach der Fernwärme-Kompaktstation sind zwei Wärmemengenzähler für zwei Sekundärkreise platziert:

- Über WMZ Netz wird die Wärmeabgabe zur Versorgung der Heizkörper in den Liegenschaften E34, E36, E38, E42, D2 und D4 erfasst.
- Über WMZ TWE wird die Wärmeabgabe zur Versorgung der Trinkwasserstationen in den Liegenschaften E36 und E38 sowie der Wohnungsstationen in Haus E40 und zur Versorgung der zentralen Frischwasserstation für die Liegenschaften E42, D2 und D4 erfasst.

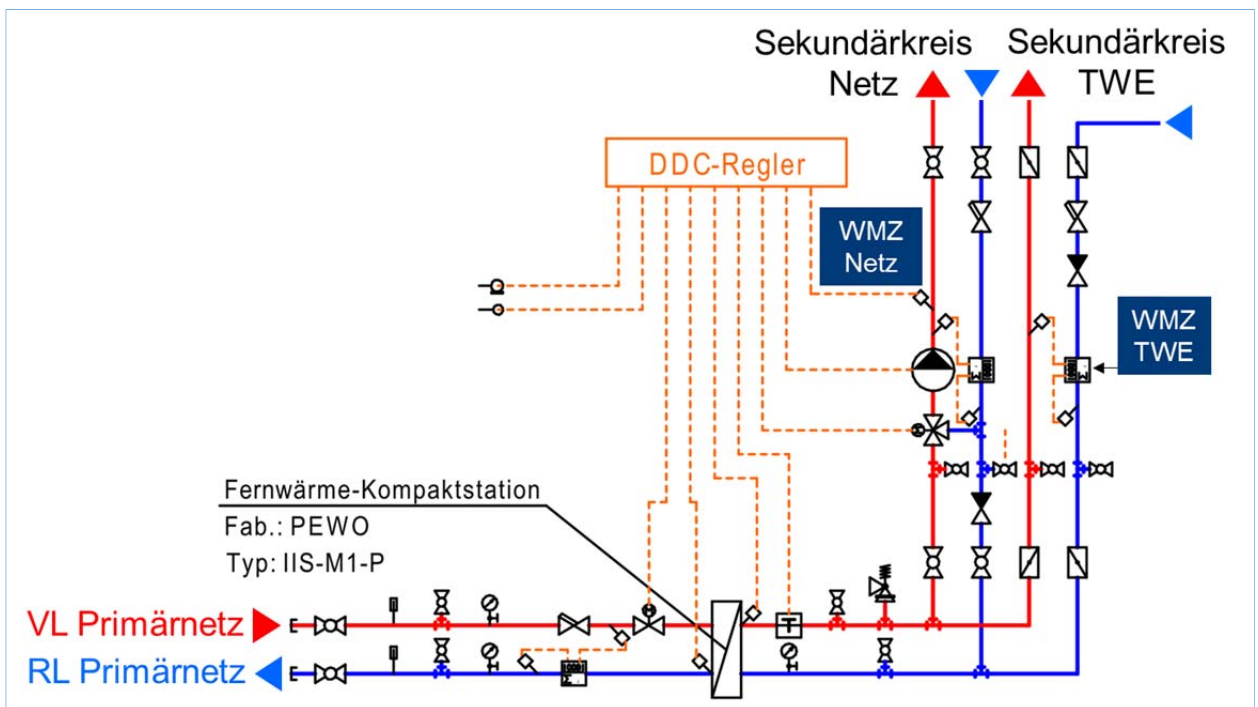


Abbildung 6 Kompaktstation Fernwärme mit WMZ Netz und WMZ TWE in der Kundenanlage

4.2.2 Haus E34

Messeinrichtungen (FETT=Auslesung über Delta-Portal)	Mess-Schema Heizungsanlage
<p>Heizungsanlage:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ je Wohnung: 1 Stromzähler TWW ▪ im KG: 1 WMZ für die statische Heizung ▪ je Heizkörper: Heizkostenverteiler <p>Lüftungsanlage:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ je Wohnung: 1 Stromzähler Abluft <p>Wasser:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ je Wohnung: 1 Kaltwasserzähler 	

Abbildung 7 Messstellen E34, Zeichnung Adrian Schünemann

4.2.3 Haus E36 und E38

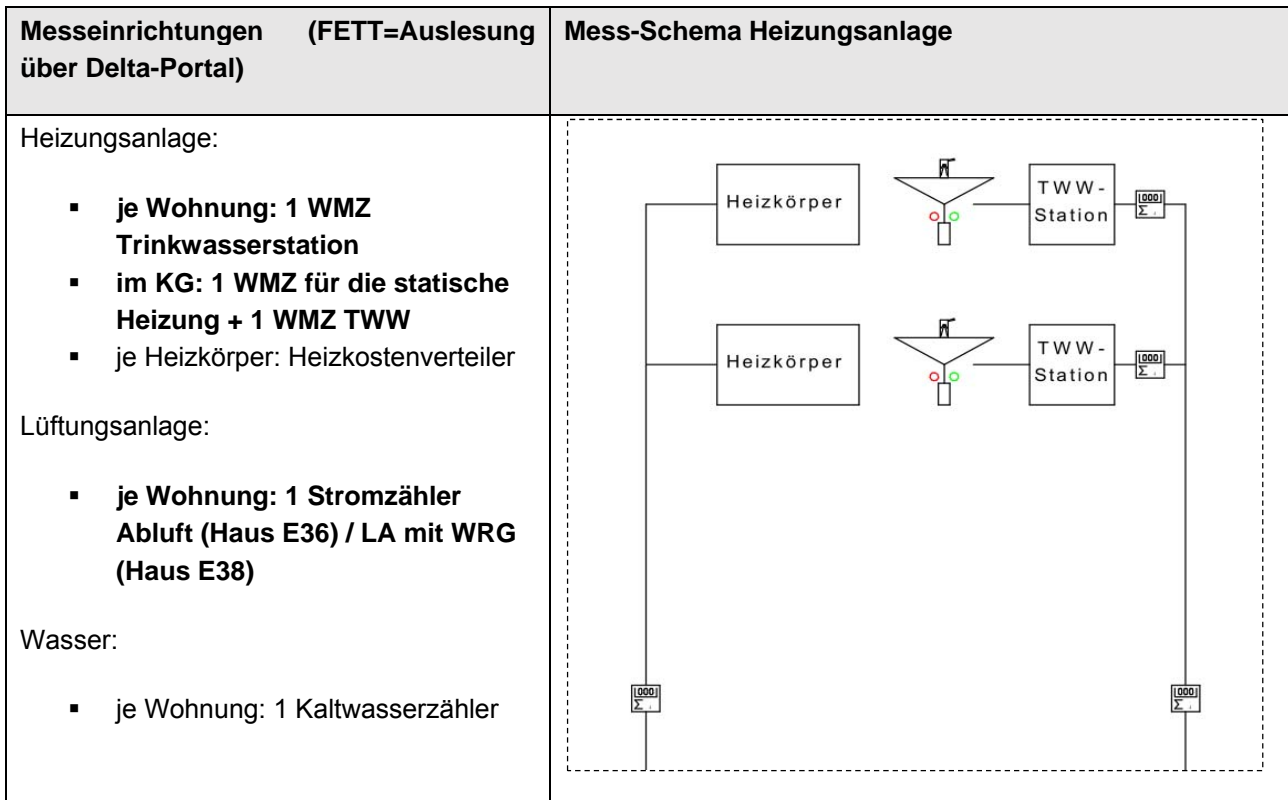


Abbildung 8 Messstellen E36/E38, Zeichnung Adrian Schünemann

4.2.4 Haus E40

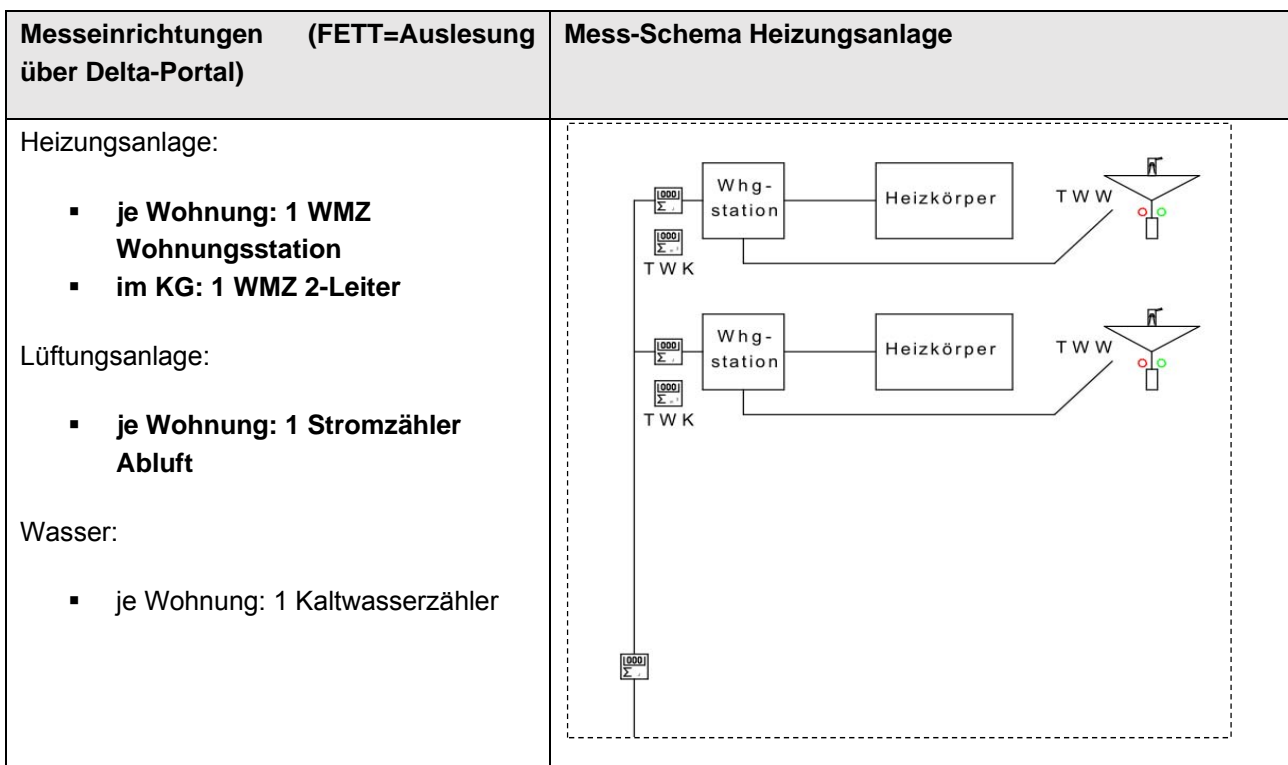


Abbildung 9 Messstellen E40, Zeichnung Adrian Schünemann

4.2.5 Haus E42, D2, D4

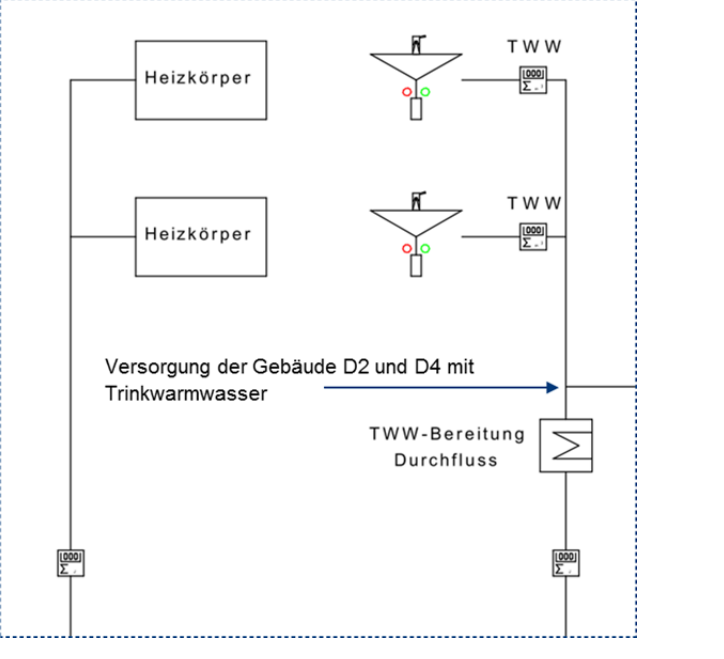
Messeinrichtungen (FETT=Auslesung über Delta-Portal)	Mess-Schema Heizungsanlage
<p>Heizungsanlage</p> <ul style="list-style-type: none"> im KG: 3 WMZ für die statische Heizung je Gebäude (WMZ für die Häuser D2 + D4 sind in einem Mieterkeller platziert und nicht im Portal erfasst) + 1 WMZ TWW für die Summe E42 + D2 + D4 je Heizkörper: Heizkostenverteiler <p>Wasser:</p> <ul style="list-style-type: none"> je Wohnung: je Wohnung: 1 Kaltwasserzähler + 1 Warmwasserzähler 	 <p>The diagram illustrates the measurement scheme for the heating system. It shows two heaters (Heizkörper) connected to a central supply line. Two hot water meters (TWW) are installed on the supply lines to each heater. A TWW preparation unit (TWW-Bereitung) is shown with a flow measurement point (Durchfluss) indicated by a blue arrow. The supply line is labeled 'Versorgung der Gebäude D2 und D4 mit Trinkwarmwasser'. The diagram also shows two meters (Σ) at the bottom of the supply and return lines.</p>

Abbildung 10 Messstellen E42, D2, D4, Zeichnung Adrian Schünemann

4.2.6 Erfahrungsbericht Messkonzept und Verlässlichkeit Datenauslesung

Folgende Erfahrungen wurden zur Umsetzung des Messkonzeptes gesammelt:

- Einbauorte Zähler: Die Platzierung der WMZ der Objekte D2 und D4 in einem Mieterkeller erweist sich als ungünstig. Sowohl die Zugänglichkeit des Raumes als auch der Zähler ist aufgrund der Befüllung des Kellers nicht mehr gewährleistet. Im vorliegenden Fall wäre die Installation im Technikraum von D42 empfehlenswert gewesen. Hier sind die Abzweige zu D2 und D4 gut erreichbar. Bei zukünftigen Projekten sollte den ausführenden Unternehmen präzise Vorgaben zum Einbauort der Zähler gemacht werden.
- Ausfälle Datenauslesung: Die Ausfallquoten bei der Auslesung von Zählerdaten ist hoch: 5 von 8 Stromzählern für die elektrische Trinkwarmwasserbereitung, 13 von 32 Stromzählern für Lüftungsanlagen 5 von 16 Wärmemengenzählern für Trinkwasserstationen und 1 von 8 Wärmemengenzählern für Wohnungsstationen sind nicht auslesbar. Darüber hinaus kommt es immer wieder zu nicht auswertbaren Messzeiträumen. Für die unbefriedigende Umsetzung des Messkonzeptes sehen die beauftragten Unternehmen jeweils die Verantwortung bei anderen.
- Bedienkomfort Web-Portal: Die Darstellungen der erhobenen Kennwerte ist auf zeitliche Verläufe beschränkt. Das Herunterladen von Daten für eigene Auswertungen ist vergleichsweise aufwändig. Insgesamt wirkt die Umsetzung unfertig.

5 Monitoring-Ergebnisse

Dargestellt werden die Ergebnisse der auslesbaren Wärmemengen- und Stromzähler. Die Wärmemengenzähler werden im 2-Wochen-Intervall für die gesamte Liegenschaft und jeweils gebäudeweise ausgewertet. Einzelauswertungen liegen zur gezapften Nutzwärme für Trinkwarmwasser sowie zur Stromeffizienz der Lüftungsanlagen vor.

5.1 Monitoring-Ergebnisse gezapfte Nutzwärme Trinkwarmwasser

Messzeitraum: 01.01.2019 bis 3.06.2019 (danach Abbruch der Datenlieferung), Auswertung von 3 Stromzählern in Haus E34 (Art der TWW-Bereitung: elektrische Durchlauferhitzer) und 11 Wärmemengenzählern in den Häusern E36 und E38 (Art der TWW-Bereitung: Trinkwasserstationen), Hochrechnung der Ergebnisse auf einen Jahreswert

Gezapfte Nutzwärme Trinkwarmwasser: Abbildung 11 zeigt den gezapften Trinkwarmwassernutzen in den auswertbaren Wohnungen sowie deren Personenbelegung. Bezogen auf die Anzahl der Personen beträgt die Zapfmenge pro Person 314 kWh, das entspricht bei einer angenommenen Zapftemperatur von 45 °C einem täglichen Trinkwarmwasserverbrauch von 21 Litern pro Person. Gemäß [3] beträgt der Richtwert für den Sozialen Wohnungsbau 25 Liter Warmwasser pro Tag.

Die geringen personenbezogenen Zapfmengen sind auch mit der überdurchschnittlich hohen Belegungsdichte in den auswertbaren Liegenschaften zu erklären: Die Belegungsdichte liegt bei hohen 26 m² pro Person. In der Regel teilen sich 2 bis 3 Personen pro Wohnung ein 4 bis 5 m² großes Bad.

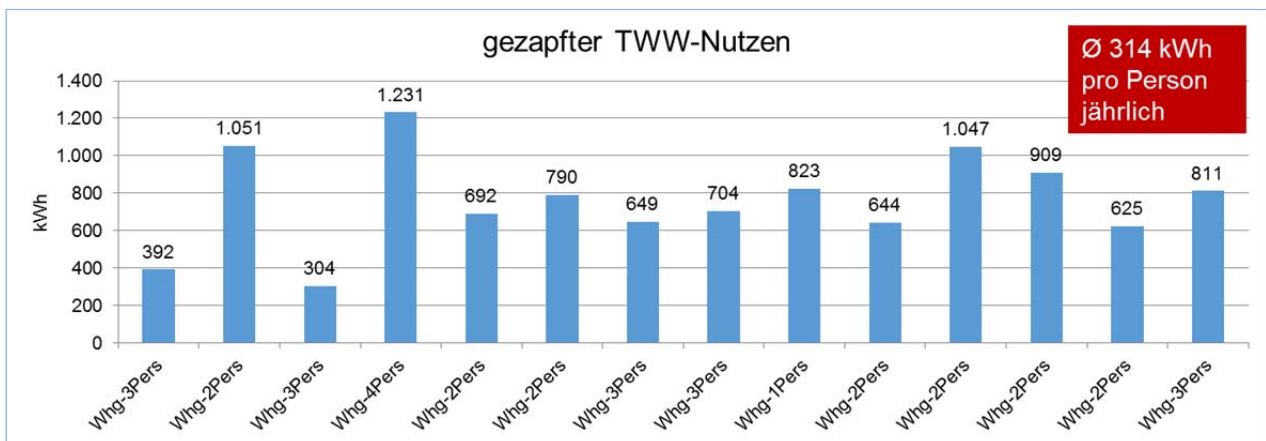


Abbildung 11 jährliche Zapfmengen Trinkwarmwasser je Wohnung

Abbildung 12 zeigt den gezapften Trinkwarmwassernutzen bezogen auf die beheizte Wohnfläche. 9 von 14 Messwerten liegen im Bereich einer üblichen Bandbreite von 10 bis 15 kWh/(m²a), die den Erfahrungswerten bisheriger Projekte in Geschosswohnungsbauten mit einfacher Ausstattung entspricht [4], [5], [6], [7]. In 3 Wohnungen sind die Zapfmengen überdurchschnittlich. In 2 Wohnungen zeigt sich ein geringer Verbrauch von weniger als 5 kWh/(m² a), der durch eine geringe Anwesenheit in der Wohnung zu erklären ist.

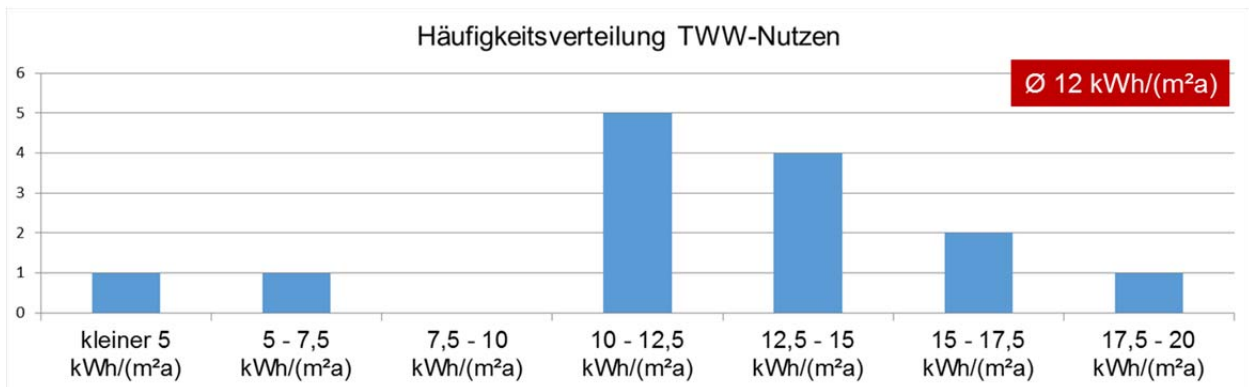


Abbildung 12 jährliche Zapfmengen Trinkwarmwasser bezogen auf die beheizte Wohnfläche

5.2 Monitoring-Ergebnisse Wärmezentrale

Messzeitraum: August 2018 bis Mai 2019 und Juni 2019 bis Februar 2020 (danach Abbruch der Datenlieferung)

Gebäude-EAV Juni 2019 bis Februar 2020: Die Wärmeabnahme der Liegenschaft ist im Vergleich zur Vorab-Auswertung im Mai 2019 erhöht siehe Abbildung 13.

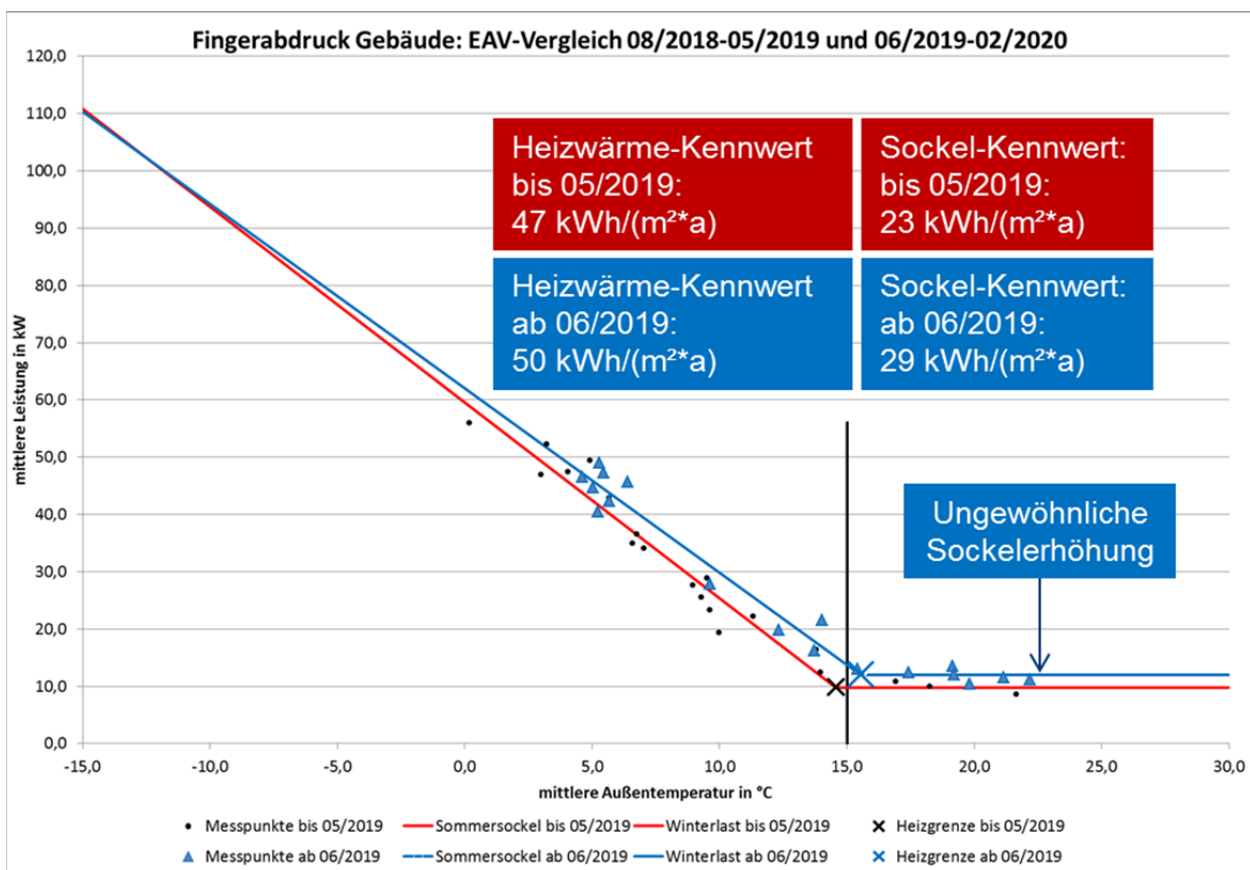


Abbildung 13 EAV-Vergleich 08/2018-05/2019 und 06/2019-02/2020

Der Sockel-Kennwert liegt nun bei 29 kWh/(m²a), das sind 6 kWh/(m²a) mehr als in der Vorab-Auswertung vom Mai 2019. Der Heizwärme-Kennwert beträgt 50 kWh/(m²a), das entspricht einer Erhöhung um 3 kWh/(m²a) siehe Abbildung 14.

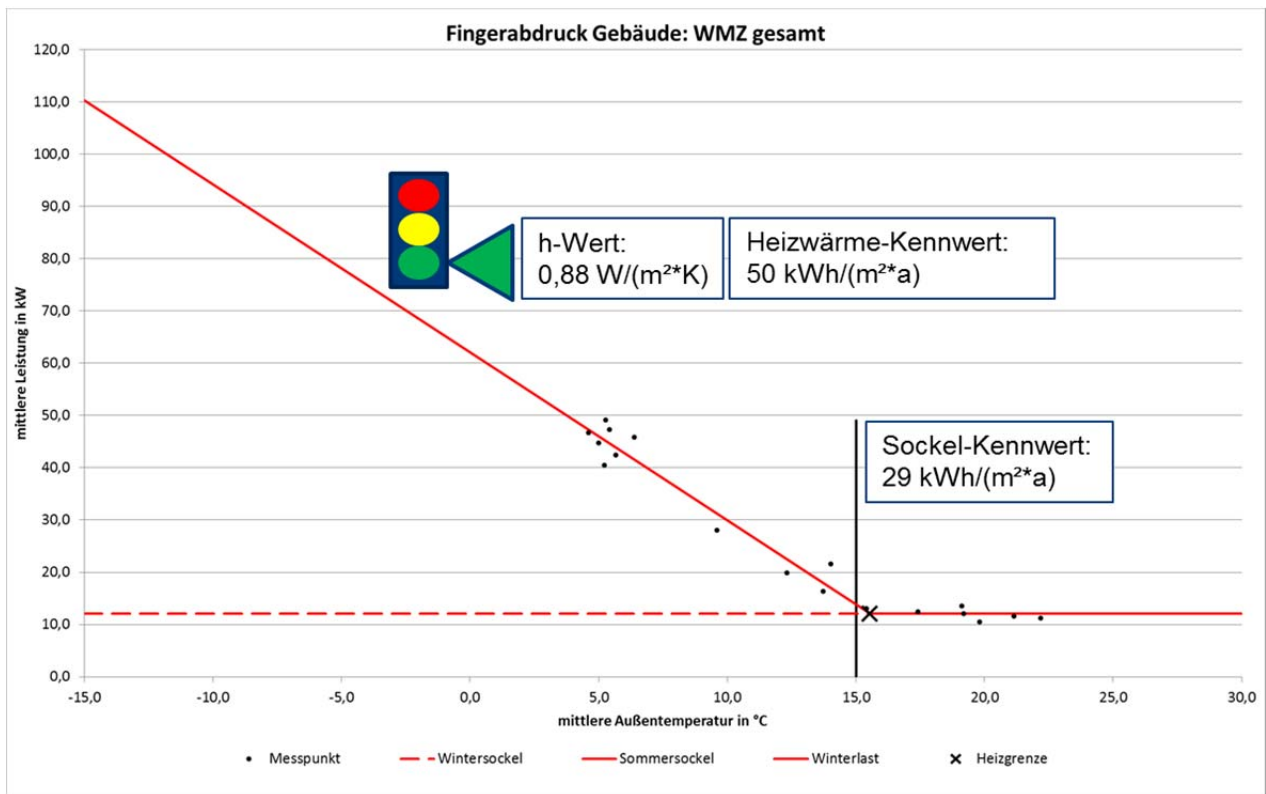


Abbildung 14 Gebäude-EAV 06/2019-02/2020 aus der Summe von WMZ Netz und TWE

In den Sekundärkreisen „Netz“ und „TWE“ sind am 27.05.2019 deutliche Temperatursprünge zu erkennen, siehe Abbildung 15 und Abbildung 16. Im Sekundärkreis „Netz“ springt die Vorlauftemperatur auf 70 °C und verläuft anschließend auf einem insgesamt höheren Temperaturniveau. Im Sekundärkreis „TWE“ findet ein Sprung auf rund 75 °C statt mit anschließendem Verlauf auf höherem Temperaturniveau.

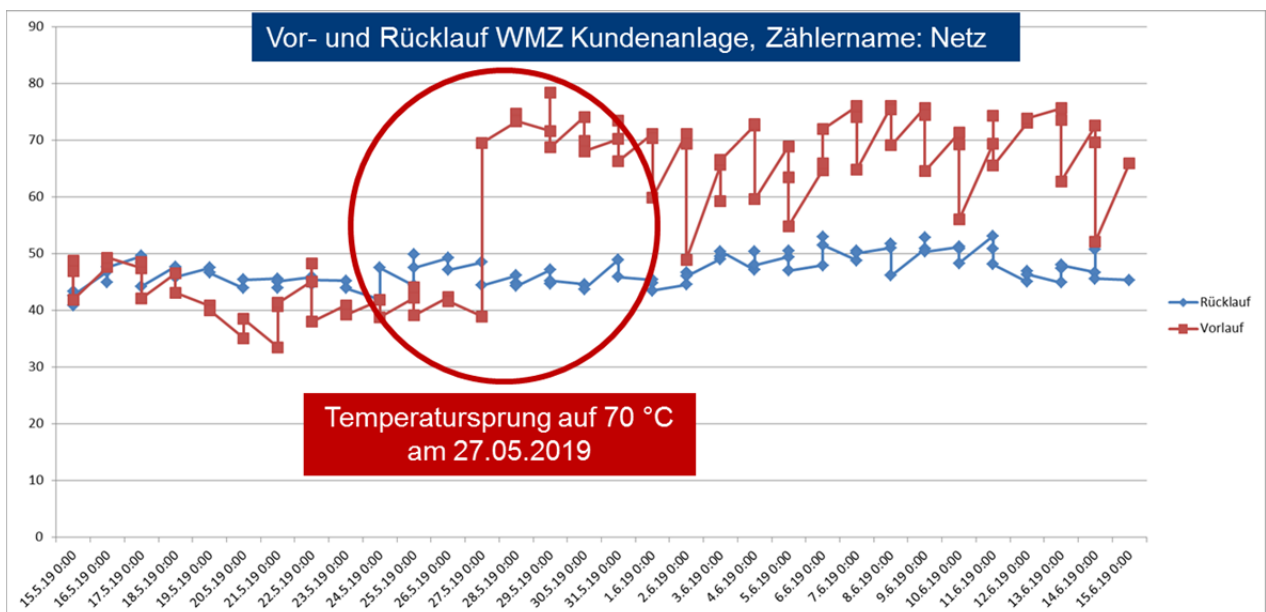


Abbildung 15 Erhöhung Vorlauftemperatur in der Kundenanlage, Sekundärkreis Netz

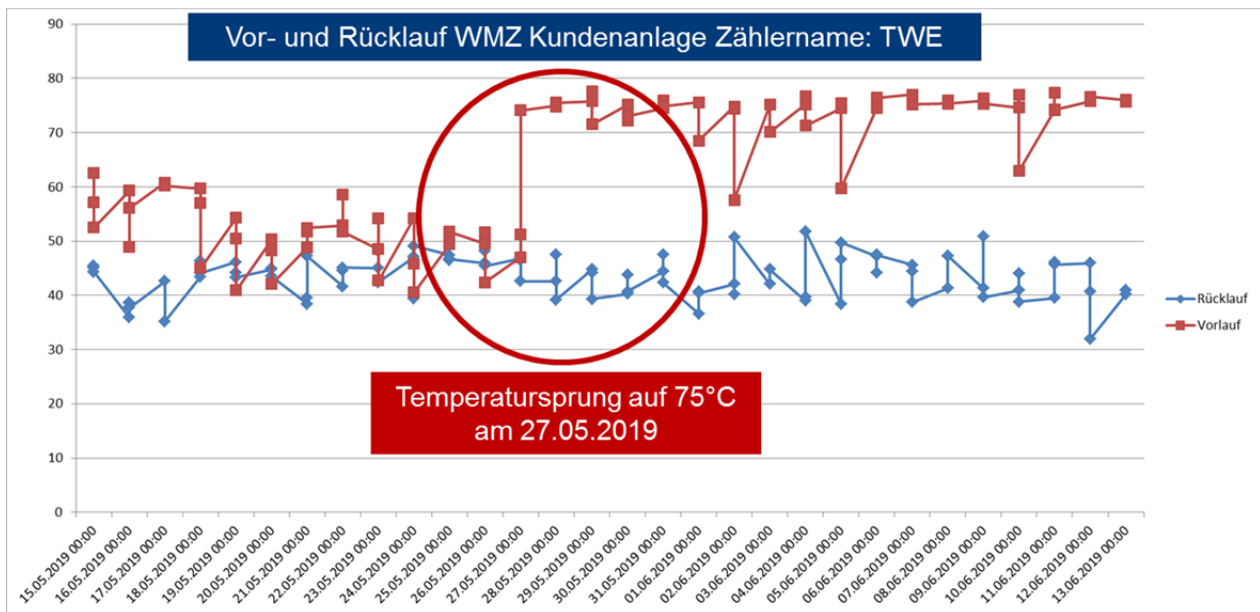


Abbildung 16 Erhöhung Vorlauftemperatur in der Kundenanlage, Sekundärkreis TWE

Eine Nachfrage bei der gbg ergibt, dass nach Bewohnerbeschwerden Anpassungen an der Regelung der Sekundärkreise vorgenommen wurden. Zwei Bewohner bemängelten eine zu niedrige Trinkwarmwassertemperatur. Am 5.05.2020 wurden folgende Einstellungen an der Regelung der Kompaktstation vorgefunden:

- Beide Sekundärkreise waren witterungsgeführt geregelt.
- Die Abschaltpunkte lagen in beiden Sekundärkreisen bei 36 ° C.

Der Sekundärkreis „TWE“ versorgt die Trinkwasserstationen, die Wohnungsstationen und die Frischwasserstationen mit Ultrafiltrationsanlage. Eine witterungsgeführte Regelung ist nicht empfehlenswert, da ein konstantes Temperaturniveau benötigt wird. Ein Vergleich mit den Außentemperaturverläufen zeigt, dass die witterungsabhängige Regelung schon seit 2018 besteht siehe Abbildung 17.

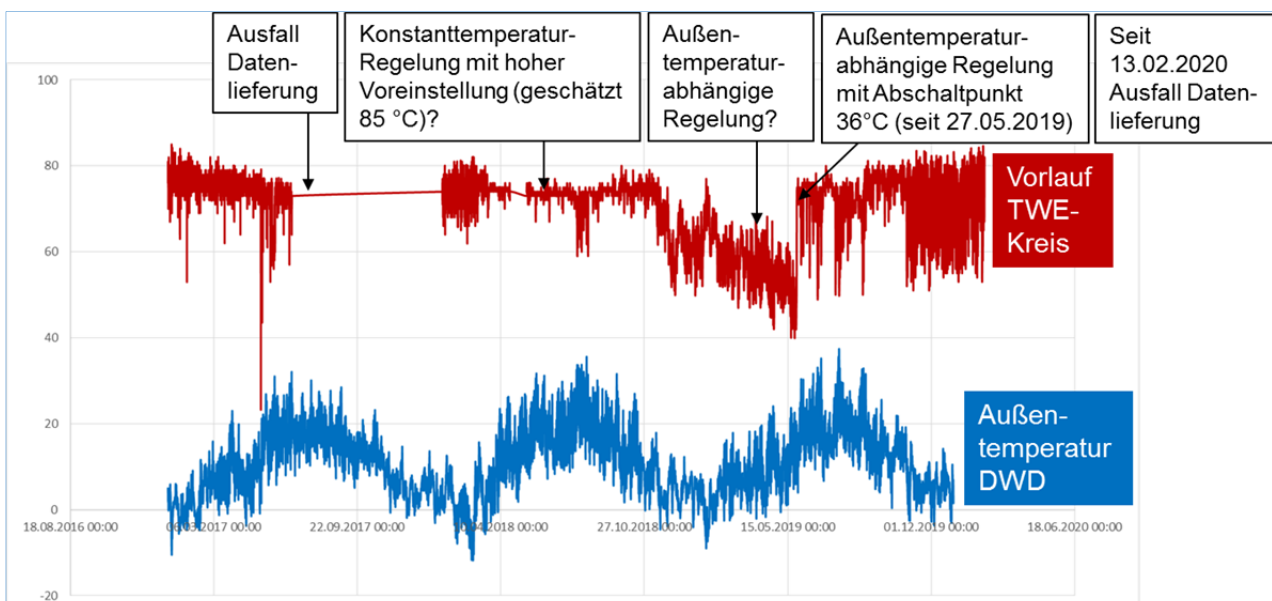


Abbildung 17 Wärmezentrale Sekundärkreis TWE, Vorlauftemperatur und Außentemperatur

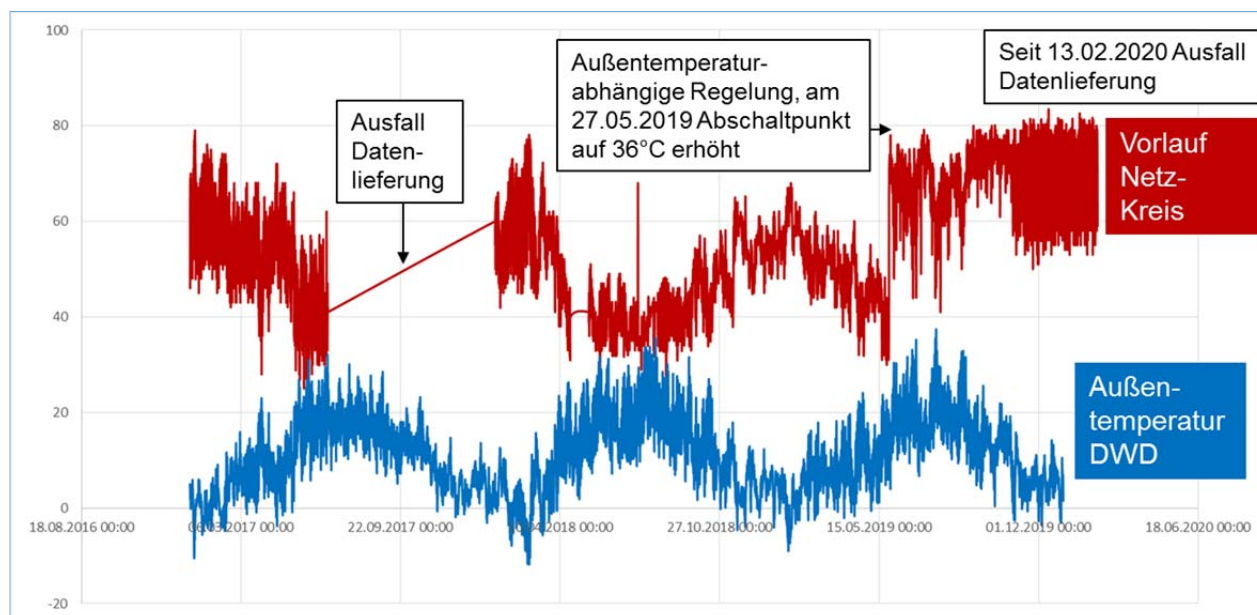


Abbildung 18 Wärmezentrale Sekundärkreis Netz, Vorlauftemperatur und Außentemperatur

Sekundärkreis „Netz“ versorgt alle Heizkörper in den Liegenschaften und ist seit Inbetriebnahme witterungsabhängig geführt siehe Abbildung 18. Das Erhöhen des Abschaltpunktes auf 36 °C am 27.05.2019 ist aus fachlicher Sicht nicht zu begründen. Die Regler-Einstellungen wurden durch das Wärmeversorgungsunternehmen EVI am 5.5.2020 wie folgt angepasst:

- Sekundärkreis „TWE“: Es wurde eine Temperatureinstellung von 60 °C gewählt. Im Zuge einer weiteren Betriebsoptimierung ist ein weiteres Absenken bis auf 55 °C möglich, wenn sich diese Einstellung bewährt.
- Sekundärkreis „Netz“: Beibehaltung der witterungsgeführten Regelung, Reduzierung des Abschaltpunktes auf 24 °C. Auch hier sollte nach einer Testphase ein weiteres Absenken geprüft werden.

Durch die Anpassung ist eine Wärmeeinsparung von jährlich 18 bis 36 MWh in der Liegenschaft zu erwarten.

Für die Inbetriebnahme, Dokumentation sowie das Monitoring von Fernwärme-Kompaktstationen lassen sich folgende Empfehlungen ableiten.

- Unklar ist, ob das Energieversorgungsunternehmen Soll-Werte für die Kompaktstation erhalten hat und wie die Inbetriebnahme ablief. Der gbg liegt kein Inbetriebnahmeprotokoll vor. Die Festlegung von Soll-Werten für die Kompaktstation ist Aufgabe der Fachplanung. Üblicherweise erhebt die EVI Daten zur Hausanlage (beispielsweise die gewünschten Vor- und Rücklauftemperaturen und Drücke) in einem Formular [8], das von der Fachfirma auszufüllen ist. Der gbg wird empfohlen, den ausgefüllten Vordruck „Daten zur Hausanlage“ inkl. Inbetriebnahmeprotokoll als Dokument der Anlagendokumentation zu archivieren. Die Unterlage bildet die Grundlage für ein technisches Monitoring, das durch eigenes Personal oder einen Dienstleister durchgeführt werden kann. Es ist zu klären, wer zur Inbetriebnahme anwesend sein soll, z. B. Vertreter von Fachplanung, Fachbetrieb, gbg-Mitarbeiter.
- Als Minimalmonitoring sollten die Jahreswerte der WMZ in der Technikzentrale erfasst und jährlich fortgeschrieben werden. In der ersten Nutzungsphase (in der Regel die ersten 2 Jahre) empfiehlt es sich die Betriebseinstellungen auf Optimierung zu prüfen. Im anschließenden Regelbetrieb ist

eine Überprüfung bei unerwarteten Erhöhungen der Verbrauchskennwerte um mehr als 5 kWh/(m²a) sinnvoll.

- Allgemeine Empfehlung: Planzeichnungen sollen der Umsetzung entsprechen und bei Änderungen angepasst werden. Die Planzeichnung Strangschema Heizung [9] stellt nicht die Bauausführung dar. Hiernach werden die Wohnungsstationen von Haus E40 in der linken Haushälfte über den Sekundärkreis Netz versorgt, in der rechten Haushälfte über den Sekundärkreis TWE. Tatsächlich erfolgt die Versorgung aller Wohnungsstationen über den Sekundärkreis TWE. Die Fortschreibung bezieht sich auch auf Berechnungen der Fachplaner (z. B. EnEV-Nachweise, Heizlastberechnungen). Außerdem wird empfohlen, Vorgaben für ein in der Technikzentrale aufzuhängendes Anlagenschema sowie die Beschriftung von Rohrleitungen festzulegen.

5.3 Monitoring-Ergebnisse Einzelgebäude

Die folgenden Unterkapitel zeigen die Auswertungen der Einzelgebäude nach EAV-Methode. Anschließend werden Kennwerte der Einzelhäuser zusammengefasst.

5.3.1 Monitoring-Ergebnisse E34

Messzeitraum: Wärmemengenzähler Heizstrang Juni 2019 bis März 2020 (Keller Haus E34), Stromzähler elektrische Durchlauferhitzer 1.01.2019 bis 03.06.2019 (danach Abbruch der Datenlieferung)

Trinkwarmwasserbereitung: 3 von 8 Stromzählern der elektrischen Durchlaufwasserheizer sind auswertbar und in Abbildung 11 und Abbildung 12 erfasst. Es werden zwei nicht repräsentative niedrige Stromverbräuche von rund 100 kWh pro Person und ein überdurchschnittlich hoher Wert von über 500 kWh pro Person gemessen. Die EAV-Auswertung in Abbildung 21 zeigt daher den aus allen auswertbaren Häusern bestimmten Durchschnittswert von 12 kWh/(m²a) nach Kapitel 5.1.

Heizsteigung: Der gemessene h-Wert in Höhe von 0,85 W/(m²Wfl.*K) liegt im günstigen Bereich und entspricht dem prognostizierten h-Wert siehe Abbildung 19. Hierbei wurde die Berechnung der Transmissionswärmeverluste der EnEV-Bilanz entnommen. Für die Lüftungswärmeverluste der Wohnungen ist ein 0,4-facher Luftaustausch des Luftvolumens der Wohnungen angenommen.

Prognose h-Wert nach der Modernisierung						
Bauteil	Fläche	U-Wert	Faktor			
	[m ²]	[W/(m ² K)]	[-]	[W/K]	[W/(m ² K)]	
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			
	[m ³]	[h ⁻¹]	[Wh/(m ³ K)]	[W/K]	[W/(m ² K)]	
Lüftung	1.383	0,4	0,34		188	0,34
				Heizsteigung H	h-Wert	
				[W/K]	[W/(m ² K)]	
				484	0,88	

Abbildung 19 Prognose h-Wert E34 siehe [10]

Gebäude-EAV: Die Messergebnisse belegen den Einsparerfolg der energetischen Modernisierung der Gebäudehülle siehe Abbildung 21. Der Heizwärme-Kennwert in Höhe von 48 W/(m²Wfl.*K) liegt im niedrigen Bereich und entspricht der Prognose siehe Abbildung 20. Es wurde eine unveränderte Heizgrenze im Vergleich zur Bestandssituation angenommen. Der verbesserte Wärmeschutz und die neue Verteilleitung über strangweise erschlossene Heizkörper führen zu keiner Reduzierung der Heizgrenze, diese hat sich im Vergleich zum Bestand sogar leicht erhöht.

Prognose Heizwärme-Kennwert			
Dauer Heizperiode (15-Jahres-Mittel)	mittl. Außentemp. Heizperiode		
272 Tage/Jahr	6,8 °C		
	Heizgrenztemperatur		
	15,1 °C		
		[kWh/a]	[kWh/(m ² a)]
Prognose Heizwärme-Kennwert nach Modernisierung		26.232	47




Abbildung 20 Prognose Heizwärme-Kennwert E34 nach [10]

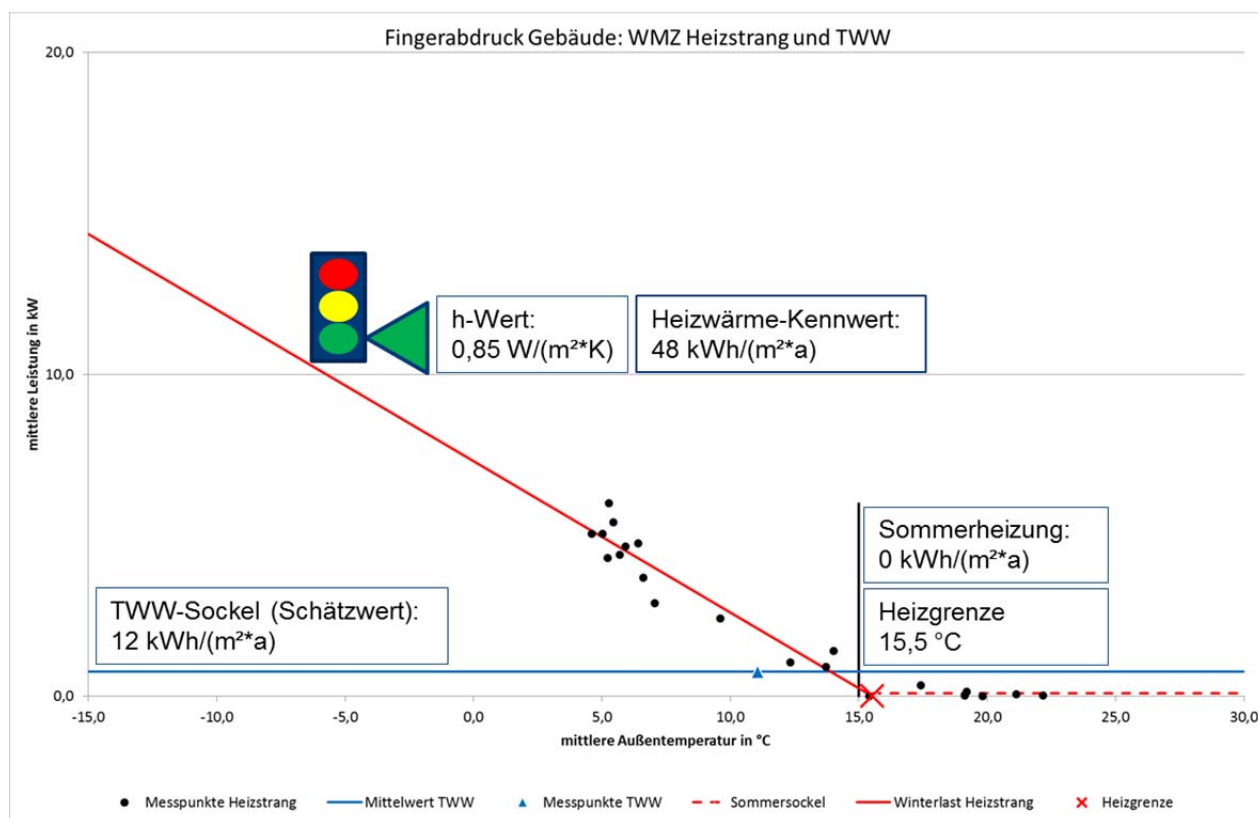


Abbildung 21 Gebäude-EAV E34

5.3.2 Monitoring-Ergebnisse E36

Messzeitraum: WMZ Heizstrang (Keller Haus 36) und WMZ TW-Stationen (Wohnungen) Juni 2019 bis März 2020

Trinkwarmwasserbereitung: In den Küchen der Wohnungen sind Trinkwasserstationen installiert, die über eine Steigleitung mit Heizwasser versorgt werden. Die Trinkwarmwassererwärmung erfolgt im Durchfluss über einen Wärmeübertrager. Mittels Proportionalmengen-Regler wird bei Warmwasseranforderung die Netzwassermenge geregelt.

Der Trinkwarmwasser-Kennwert inkl. Verteilverluste beträgt 29 kWh/(m²a).

Heizsteigung: Der gemessene h-Wert in Höhe von 0,88 W/(m²*K) entspricht der Prognose von 0,9 W/(m²a).

Gebäude-EAV: Die Messergebnisse belegen den Einsparerfolg der energetischen Modernisierung der Gebäudehülle siehe Abbildung 22. Der Heizwärme-Kennwert des Heizstrangs in Höhe von 41 kWh/(m²a) liegt im niedrigen Bereich und entspricht der Prognose. Der verbesserte Wärmeschutz und die neue Verteilleitung über strangweise erschlossene Heizkörper führen zu keiner signifikanten Reduzierung der Heizgrenze.

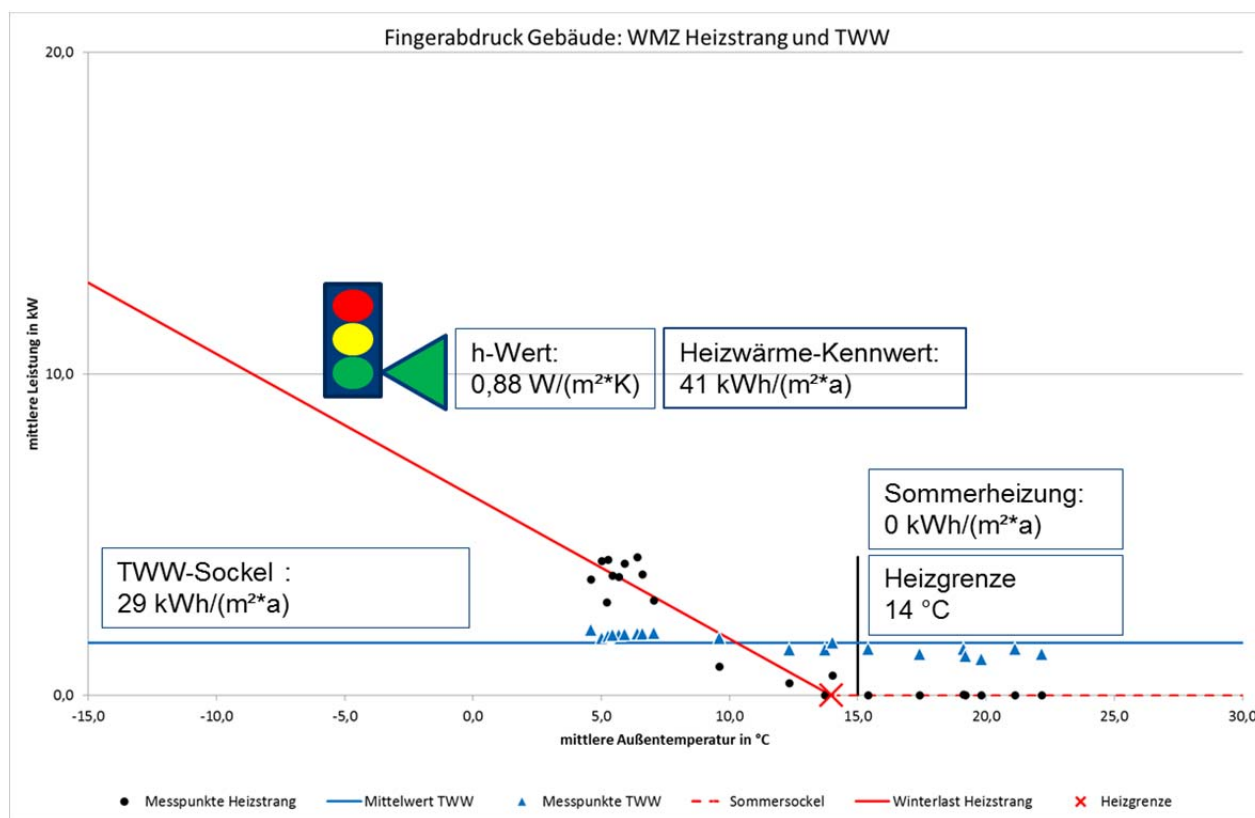


Abbildung 22 Gebäude-EAV E36

5.3.3 Monitoring-Ergebnisse E38

Messzeitraum: WMZ Heizstrang (Keller Haus 38) und WMZ TW-Stationen (Wohnungen) Juni 2019 bis März 2020

Trinkwarmwasserbereitung: In den Küchen der Wohnungen sind Trinkwasserstationen installiert, die über eine Steigleitung mit Heizwasser versorgt werden. Die Trinkwarmwassererwärmung erfolgt im Durchfluss über einen Wärmeübertrager. Mittels Proportionalmengen-Regler wird bei Warmwasseranforderung die Netzwassermenge geregelt.

Der Trinkwarmwasser-Kennwert inkl. Verteilverluste beträgt $28 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$.

Heizsteigung: Der gemessene h-Wert in Höhe von $0,63 \text{ W}/(\text{m}^2\text{Wfl.}\cdot\text{K})$ liegt im günstigen Bereich geringfügig unter dem prognostizierten h-Wert siehe Abbildung 23. Hierbei wurde die Berechnung der Transmissionswärmeverluste der EnEV-Bilanz entnommen. Die Wohnungen sind mit Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung ausgestattet, die einen Wärmebereitstellungsgrad von 80 % aufweisen. Bei Annahme eines stündlichen Anlagen-Luftwechsel von 0,3 wird eine Reduzierung des h-Wertes durch die Lüftungsanlage um $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{Wfl.}\cdot\text{K})$ prognostiziert.

Prognose h-Wert nach der Modernisierung

Bauteil	Fläche [m²]	U-Wert [W/(m²K)]	Faktor [-]	[W/K]	[W/(m²K)]												
FE	124,87	0,9	1	112	0,23												
AW	290,81	0,23	1	67	0,13												
AW-KE	3,39	0,23	0,6	0	0,00												
OG	160,49	0,23	0,8	30	0,06												
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	153,34	0,26	0,65	26	0,05												
BO-TH	16,53	0,38	0,4	3	0,01												
Summe Hüllfläche	819			250	0,50												
Wärmebrückeneinfluss	819	0,025		20	0,04												
Transmissionswärmeverluste				271	0,54												
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>n_{L, Anlage} [h⁻¹]</th> <th>Wärmebereitstellung [-]</th> <th>n_{L, Rest} [Wh/(m²K)]</th> <th>[W/K]</th> <th>[W/(m²K)]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>energetisch wirksamer Luftwechsel</td> <td>0,30</td> <td>0,80</td> <td>0,1</td> <td>0,16</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							n _{L, Anlage} [h ⁻¹]	Wärmebereitstellung [-]	n _{L, Rest} [Wh/(m²K)]	[W/K]	[W/(m²K)]	energetisch wirksamer Luftwechsel	0,30	0,80	0,1	0,16	
	n _{L, Anlage} [h ⁻¹]	Wärmebereitstellung [-]	n _{L, Rest} [Wh/(m²K)]	[W/K]	[W/(m²K)]												
energetisch wirksamer Luftwechsel	0,30	0,80	0,1	0,16													
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Volumen [m³]</th> <th>energetisch wirksamer Luftwechsel [h⁻¹]</th> <th>Kapazität [Wh/(m²K)]</th> <th>[W/K]</th> <th>[W/(m²K)]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lüftung</td> <td>1.248</td> <td>0,16</td> <td>0,34</td> <td>68</td> <td>0,14</td> </tr> </tbody> </table>							Volumen [m³]	energetisch wirksamer Luftwechsel [h ⁻¹]	Kapazität [Wh/(m²K)]	[W/K]	[W/(m²K)]	Lüftung	1.248	0,16	0,34	68	0,14
	Volumen [m³]	energetisch wirksamer Luftwechsel [h ⁻¹]	Kapazität [Wh/(m²K)]	[W/K]	[W/(m²K)]												
Lüftung	1.248	0,16	0,34	68	0,14												
				Heizsteigung H [W/K]	h-Wert [W/(m²K)]												
				339	0,68												

Abbildung 23 Prognose h-Wert E38 nach [10]

Gebäude-EAV: Die Messergebnisse belegen den Einsparerfolg der umgesetzten Energiesparmaßnahmen siehe Abbildung 24. Der Heizwärme-Kennwert in Höhe von 33 kWh/(m²*a) liegt im sehr niedrigen Bereich geringfügig unter der Prognose, bei der eine unveränderte Heizgrenze im Vergleich zur Bestandssituation angenommen wurde, siehe Abbildung 25. Die gemessene Heizgrenze entspricht der Prognose.

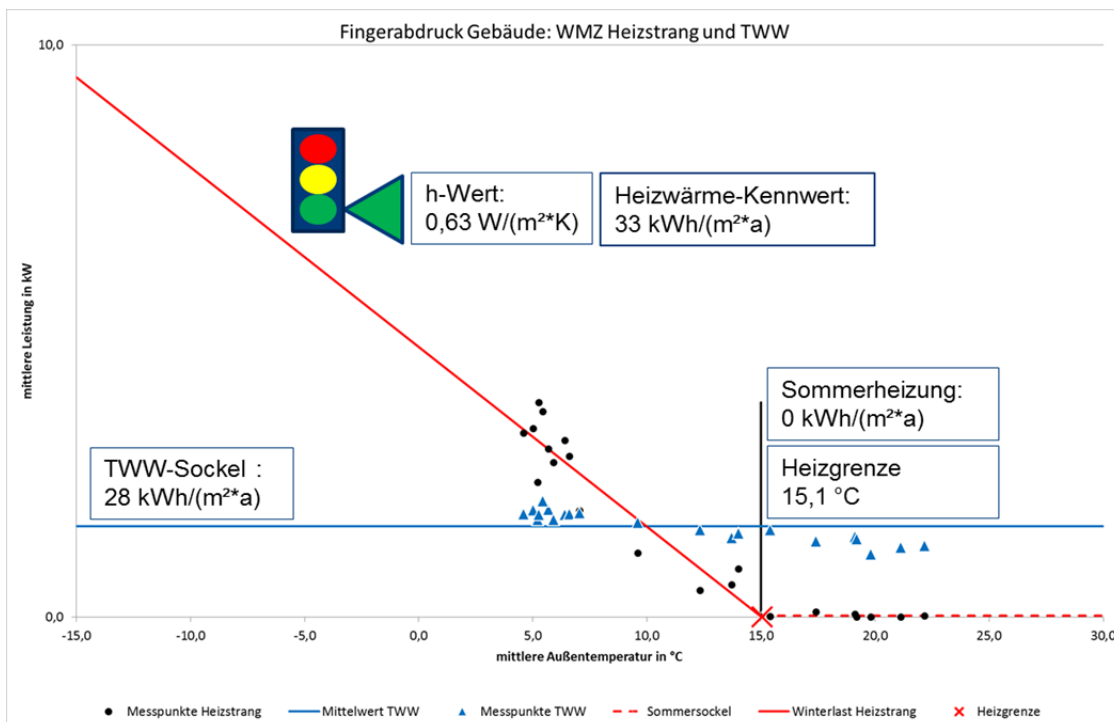


Abbildung 24 Gebäude-EAV E38

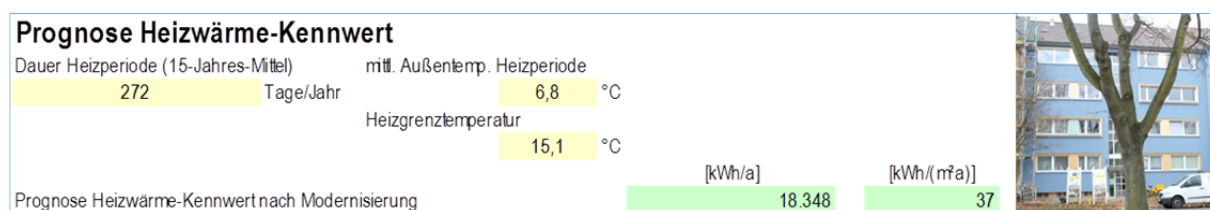


Abbildung 25 Prognose Heizwärme-Kennwert E38 (WMZ Heizstrang)

Im Vergleich zum Haus E36 mit Abluftanlage beträgt die Heizwärmeeinsparung 8 kWh/(m²a). Haus 36 weist eine niedrigere Heizgrenze von 14 °C aus, während die Heizgrenze von Haus 38 bei 15,1 °C liegt. Vor den ungünstigen Betriebseinstellungen an der Kompaktstation wies Haus E38 mit rund 13 °C die niedrigste Heizgrenze der Einzelgebäude aus.

5.3.4 Monitoring-Ergebnisse E40

Messzeitraum: WMZ 2-Leiter (Keller E40) vom 8.05.2019 bis 5.04.2020 und WMZ Wohnungsstationen (Wohnungen Haus 40) vom 01.01.2019 bis 3.06.2019 (danach Abbruch Datenlieferung)

Trinkwarmwasserbereitung und Raumheizung: In den Bädern der Wohnungen sind Wohnungsstationen installiert, die über eine Steigleitung mit Heizwasser versorgt werden, dem 2-Leiter-Netz. Im Vergleich zum herkömmlichen 4-Leiter-System mit Heizungsvor- und Rücklauf, Zirkulation und Trinkwarmwasserleitung reduziert sich die Verteilinstallation auf ein Leitungspaar, den Netz-Vorlauf und –Rücklauf. Die Wassererwärmung zur Versorgung von Zapfstellen und Wärmeabgabesystem erfolgt im Durchfluss über einen Wärmeübertrager.

Heizsteigung: Der gemessene h-Wert in Höhe von 0,83 W/(m²Wfl.*K) liegt im günstigen Bereich auf dem Niveau der Prognose aus der EnEV-Bilanz.

Gebäude-EAV (Abbildung 26): Die Auswertung des Gesamt-Wärmemengenzähler für das 2-Leiter-System ergibt einen niedrigen Heizwärme-Kennwert in Höhe von 44 kWh/(m²a) und belegt den Einsparerfolg der Maßnahmen an der Gebäudehülle. Die gemessene Heizgrenze liegt mit 15 °C auf dem Niveau vor der Modernisierung. Ungewöhnlich ist der gemessene Sockel-Kennwert in Höhe von 32 kWh/(m²a). In den vorläufigen Auswertungen vom Mai 2019 war ein deutlich geringerer Wert von 20 kWh/(m²a) abgeschätzt worden. Der Sockel-Kennwert enthält sowohl den gezapften Trinkwarmwasser-Nutzen, Verteilungsaufwand und eine mögliche Wärmeabnahme in den Wohnungen außerhalb der Heizperiode.

EAV-Ergebnisse Wohnungen: Abbildung 27 zeigt die Ergebnisse aus den Einzelanalysen der Wohnungen. Von 8 Wohnungen sind 7 Wohnungen auswertbar, allerdings in unterschiedlichen Messzeiträumen. Auch in den Wohnungen ist der gemessene Sockel-Kennwert hoch. Hierbei kann es sich sowohl um Sommerheizung als auch um einen erhöhten Trinkwarmwasserverbrauch handeln.

Der gemessene h-Wert in den Wohnungen zeigt eine hohe Schwankungsbreite zwischen 0,64 bis 1,72 W/(m²Wfl.*K) und verdeutlicht das individuell sehr unterschiedliche Heizverhalten. Der hohe Nutzereinfluss bei der wohnungsweisen Betrachtung ist auch in der Bandbreite der Heizgrenze zu erkennen, die von 9,6 °C bis 15,6 °C reicht. In Summe ergibt sich in den Wohnungen ein insgesamt plausibler Heizwärme-Kennwert von 40 kWh/(m²a).

Für Haus 40 wird eine erneute Auswertung im Herbst 2020 empfohlen, um die Auswirkung der korrigierten Einstellungen an der Fernwärme-Kompaktstation zu überprüfen.

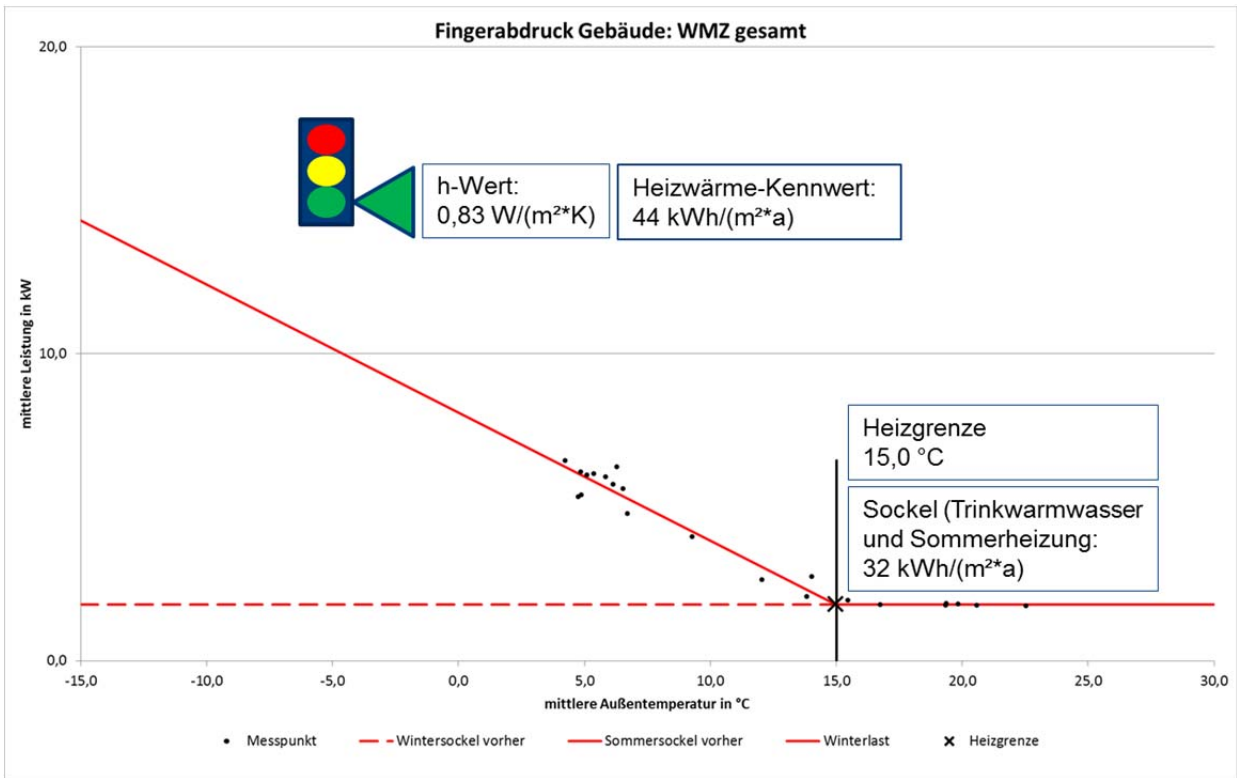


Abbildung 26 Gebäude-EAV E40, Grundlage: WMZ 2-Leiter

Wohnung	Beschreibung	beheizte Wohnfläche	Heizung	Gesamt-wärme	Heiz-wärme	Sommer-heizung	Sockel-wärme	h-Wert	Heiz-grenze	Heizlast	spez. Heizlast	Bemerkung	
		A _{EBF}		q _{Ges}	q _H	q _{H,Sommer}	q _{Socket}	h	t _{HG}	Klima-daten n. DIN EN SPEC 12831	Klima-daten n. DIN EN SPEC 12831		
		m ²			kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	W/(m ² K)	°C	kW	W/m ²		
1	zentrale Abluft Wohnungsstation HZG=Fernwärme	63	FW	110	47	nicht bestimmbar	62	1,18	12,8	2	32	Messzeitraum: 1.01.2019 bis 3.06.2019	
2	zentrale Abluft Wohnungsstation HZG=Fernwärme	63	FW	115	50	nicht bestimmbar	66	1,24	12,9	2	32	Messzeitraum: 1.01.2019 bis 3.06.2019	
3	zentrale Abluft Wohnungsstation HZG=Fernwärme	63	FW	43	18	nicht bestimmbar	25	0,64	10,6	1	16	Messzeitraum: 1.01.2019 bis 3.06.2019	
4	zentrale Abluft Wohnungsstation HZG=Fernwärme	63	FW	45	37	nicht bestimmbar	8	1,72	9,6	3	48	Messzeitraum: 1.01.2019 bis 3.06.2019	
5	zentrale Abluft Wohnungsstation HZG=Fernwärme	63	FW	99	57	nicht bestimmbar	42	1,08	14,9	2	32	Messzeitraum: 1.01.2019 bis 3.06.2019	
6	zentrale Abluft Wohnungsstation HZG=Fernwärme	63	FW	52	40	nicht bestimmbar	12	0,72	15,5	1	16	Messzeitraum: 1.01.2019 bis 3.06.2019	
7	zentrale Abluft Wohnungsstation HZG=Fernwärme					nicht bestimmbar						keine Datenlieferung	
8	zentrale Abluft Wohnungsstation HZG=Fernwärme	63	FW	42	29	nicht bestimmbar	12	1,06	10,4	2	32	Messzeitraum: 1.01.2019 bis 3.06.2019	
E40 (7 auswertbare Wohnungen)		441		72	40	nicht bestimmbar	32	1,09	12	13	29	Messzeitraum: 1.01.2019 bis 3.06.2019 (Sockel aus nur einem Messwert bestimmt)	
E40 (WMZ Keller)		819		76	42	nicht bestimmbar	34	0,82	15	14	17	Messzeitraum: 8.05.2019 bis 5.4.2020	

Abbildung 27 Wohnungs-EAV E40, Grundlage WMZ Wohnungsstationen, Zeitraum: 01.01.2019-3.06.2019

5.3.5 Monitoring-Ergebnisse E42

Messzeitraum: WMZ Heizstrang und WMZ TWW Juni 2019 bis März 2020 (Keller Haus E42)

Trinkwarmwasserbereitung: Die Trinkwarmwasserbereitung für die Objekte E42, D2 und D4 erfolgt gebäudezentral im Durchfluss in einer Frischwasserstation, die durch einen 900-Liter-Pufferspeicher mit Heizwärme versorgt wird. In der Zirkulationsleitung ist das Ultrafiltrationsmodul installiert. Dieses entnimmt mittels der integrierten Umwälzpumpe dem Zirkulationsvolumenstrom permanent einen Teilvolumenstrom, der über die Filtereinheit geführt wird. Durch die Ultrafiltration werden mikrobiologische Bestandteile wie z. B. Legionellen und weitere biologische Bestandteile entfernt. Das Landesgesundheitsamt hat in Niedersachsen Anforderungen für Modellprojekte entwickelt, in denen ein Ultrafiltrationssystem zum Einsatz kommt [11].

- Die Temperatur in der Zirkulation darf minimal auf 50 °C abgesenkt werden.
- Einsatz in Gebäuden und Gewerbeobjekten, kein Einsatz in Krankenhäusern, Pflegeheimen, Kitas
- Die Trinkwasserinstallation entspricht den allgemein anerkannten Regeln der Technik.
- Hygienische Bestandsaufnahme des Objektes vor Installation; anschließend erfolgt eine regelmäßige Beprobung in Abstimmung mit dem Gesundheitsamt. In den Objekten D2, D4 und D42 wurden der Grenzwert von 100 KBE/100 ml bei allen Beprobungen unterschritten.
- Permanente Online-Überwachung des Ultrafiltrationssystems
- Information der Nutzer

Durch Absenken der Zirkulationstemperatur lassen sich die Zirkulationsverluste reduzieren. In den Liegenschaften ist das Frischwasseresystem seit September 2018 dauerhaft auf 53/50°C eingestellt. Die folgende Grafik zeigt die Temperatur im Zirkulationsrücklauf der Ultrafiltrationsanlage vom 3.8.2018 bis 3.06.2020 [12].



Abbildung 28 Temperatur im Zirkulationsrücklauf der Ultrafiltrationsanlage vom 3.8.2018 bis 3.06.2020 [12]

Der gemessene Trinkwarmwasser-Kennwert beträgt 25 kWh/(m²a) inkl. Verteilverluste als Mittelwert der Liegenschaften E42, D2 und D4. Der Wert liegt 3-4 kWh/(m²a) niedriger als bei den Häusern mit Trinkwarmwasserstationen E36 und E38.

Heizsteigung: Der gemessene h-Wert in Höhe von 0,78 W/(m²Wfl.*K) liegt im günstigen Bereich geringfügig unter dem Prognosewert von 0,9 W/(m²Wfl.*K).

Gebäude-EAV: Der Heizwärme-Kennwert in Höhe von 38 kWh/(m²*a) und die Heizgrenze von rund 14 °C liegen bei niedrigen Kennwerten und belegen den Einsparerfolg siehe Abbildung 24.

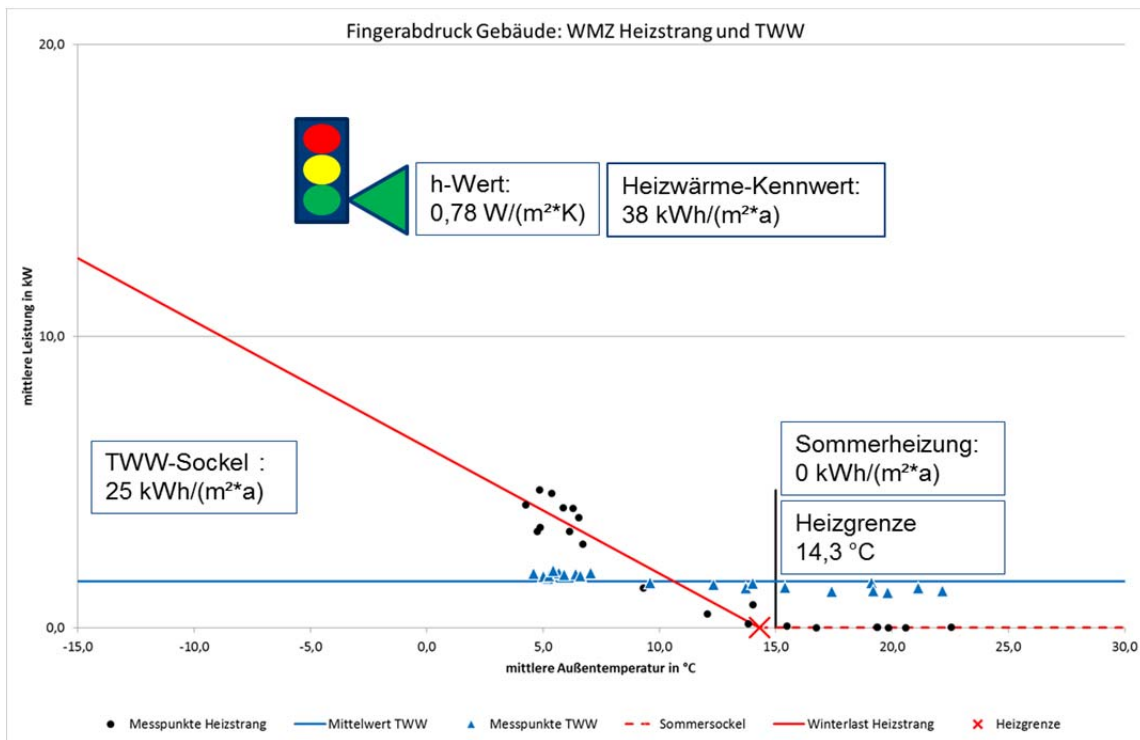


Abbildung 29 Gebäude-EAV E42

5.3.6 Monitoring Ergebnisse Einzelgebäude Überblick

Zusammengefasst ergeben sich folgende Erkenntnisse aus den EAV-Auswertungen der Einzelgebäude:

- Die gemessenen Heizwärme-Kennwerte belegen den Einsparerfolg der durchgeführten Wärmeschutz-Maßnahmen.
- Der Einsatz von Lüftungstechnik mit Wärmerückgewinnung reduziert den h-Wert um $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Bei unveränderter Heizgrenze beträgt die Wärmeeinsparung rund $10 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Reduziert sich die Heizgrenze um 1 Kelvin ist von $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ auszugehen.
- Sommerheizung findet in den auswertbaren Häusern E34, E36 und E38 in vernachlässigbar geringem Umfang statt.
- Die gemessene TWW-Nutzen in den Häusern E34, E36 und E38 liegt im Bereich üblicher Erfahrungswerte von Geschosswohnungsbauten mit einfacher Ausstattung.
- Der gemessene TWW-Kennwert inklusive Verteilungsaufwand beträgt bei den Häusern mit Trinkwasserstationen bei 28 bis $29 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ und bei dem System mit Ultrafiltrationsanlage $25 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. In Geschosswohnungsbauten dieser Baualtersklasse liegen die Messwerte üblicherweise bei 30 bis $40 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.
- Das System mit Wohnungsstationen ist nicht abschließend bewertbar. In den Wohnungen findet eine ungewöhnlich hohe Wärmeabnahme statt.

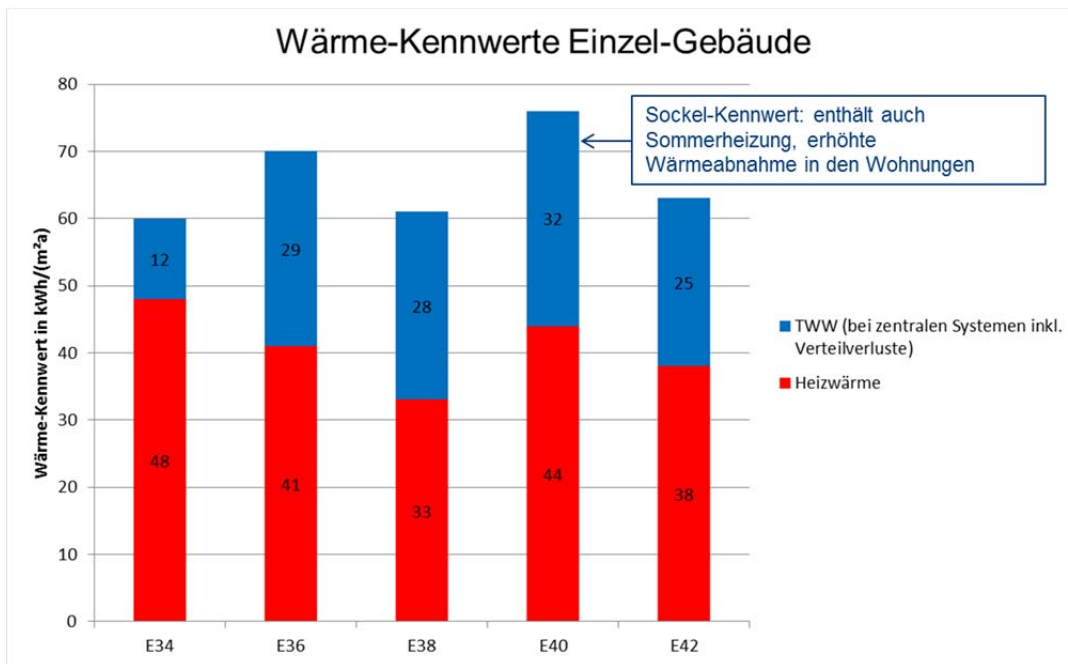


Abbildung 30 Wärme Kennwerte Einzelgebäude im Überblick

Abbildung 31 zeigt die durchschnittlichen Vor- und Rücklauftemperaturen in den Heiz- und Trinkwarmwassersträngen in der Zeit vom 28.05.2019 bis 4.05.2020. In diesem Zeitraum wurden beide zentralen Sekundärkreise witterungsgeregelt mit Abschalttemperaturen von 36 °C betrieben. Die Vorlauftemperaturen werden insgesamt höher als erforderlich eingeschätzt. Die Rücklauftemperaturen bewegen sich auf niedrigem Niveau. Bei Haus E42 ist zu beachten, dass der WMZ TWW vor dem Pufferspeicher angeordnet ist und das dortige hohe Temperaturniveau erfasst, siehe Abbildung 32.

Objekt-Bezeichnung	Durchschnitt Vorlauf Heizstrang [°C]	Durchschnitt Rücklauf Heizstrang [°C]	Durchschnitt Systemtemp. Heizstrang [°C]	Durchschnitt Vorlauf TWW [°C]	Durchschnitt Rücklauf TWW [°C]	Durchschnitt Systemtemp. TWW [°C]
E34	56	39	48	entfällt	entfällt	entfällt
E36	59	37	48	64	34	49
E38	62	37	50	70	32	51
E40	74	38	56	entfällt	entfällt	entfällt
E42	61	45	53	76	49	63

Abbildung 31 Systemtemperaturen Heizstrang/2-Leiter und Trinkwarmwasser, 28.05.2019 bis 4.05.2020

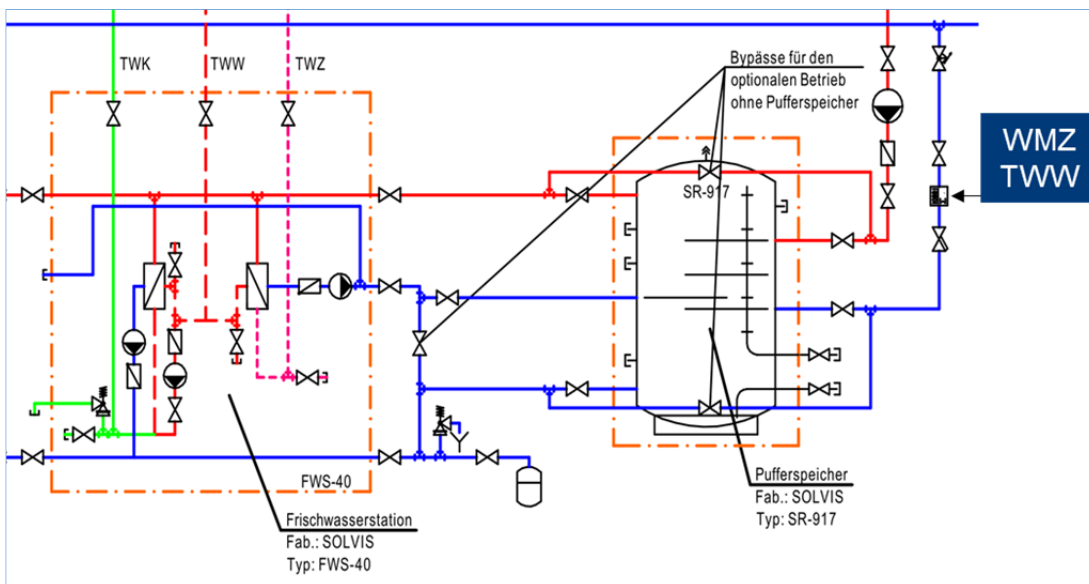


Abbildung 32 Anordnung WMZ TWW, Haus E42

5.4 Monitoring Hilfsstromeinsatz Lüftungsanlagen

5.4.1 Monitoring Hilfsstromeinsatz Abluftanlagen (E34, E36, E40)

Messzeitraum: 01.01.2019 bis 3.06.2019 (danach Abbruch der Datenlieferung), 13 Wohnungen der Häuser E34, E36, E40 sind auswertbar, Hochrechnung der Ergebnisse auf einen Jahreswert

Hilfsstromeinsatz:

- Der Hilfsstromeinsatz beträgt durchschnittlich 166 kWh/a und schwankt zwischen 65 bis 297 kWh siehe Abbildung 33
- Der spezifische Hilfsstromeinsatz beträgt durchschnittlich 3 kWh/(m²a) und schwankt zwischen 1 bis 5 kWh/(m²a). Eine Abhängigkeit von der Belegungsdichte der Wohnung besteht nicht. Die Abluftventilatoren in Bad und Küche laufen ganztägig im Grundlastbetrieb zur Gewährleistung des Feuchteschutzes. Bei Anwesenheit erfolgt eine Erhöhung der Volumenströme. Die Stromeffizienz der Abluftanlage wird auf etwa 0,3 W/(m³/h) geschätzt.

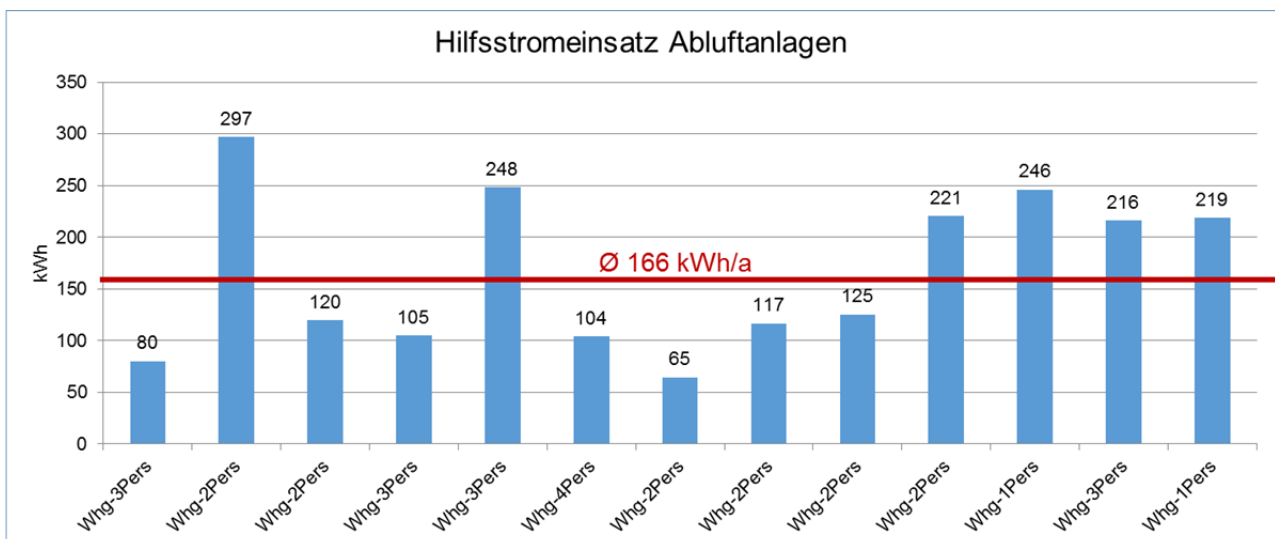


Abbildung 33 jährlicher Hilfsstromeinsatz je Abluftanlage, Messjahr 2019

Fazit:

Die Stromeffizienz von Abluftanlagen sollte bei der Produktwahl berücksichtigt werden. Anhaltswert für die maximale Leistungsaufnahme des Gerätes: 15 W bei Einsatz in einer 3-Zimmer-Wohnung

5.4.2 Monitoring Hilfsstromeinsatz Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (E38)

Messzeitraum: 01.01.2019 bis 3.06.2019 (danach Abbruch der Datenlieferung), 6 Wohnungen von Haus E38 sind auswertbar, Hochrechnung der Ergebnisse auf einen Jahreswert

Hilfsstromeinsatz:

- Der Hilfsstromeinsatz der Lüftungsanlage vom Typ Vallox Basic Line B 210 SC beträgt durchschnittlich 150 kWh/a und schwankt zwischen 70 bis 207 kWh siehe Abbildung 34. Die Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung benötigen damit durchschnittlich weniger Strom zum Betrieb von jeweils zwei Ventilatoren je Anlage als die Abluftanlagen. Die nach DIBt-Prüfzeugnis ausgewiesene Stromeffizienz beträgt $0,36 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ [13]. Die Stromeffizienz im Realbetrieb ist eher günstiger, weil die tatsächlichen Volumenströme der Lüftungsanlage vermutlich geringer ausfallen als nach DIBt-Messung bei 70 % des Maximalwerts.
- Der spezifische Hilfsstromeinsatz beträgt durchschnittlich $2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ und schwankt zwischen 1 bis $3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Eine Abhängigkeit von der Belegungsdichte der Wohnung besteht nicht.

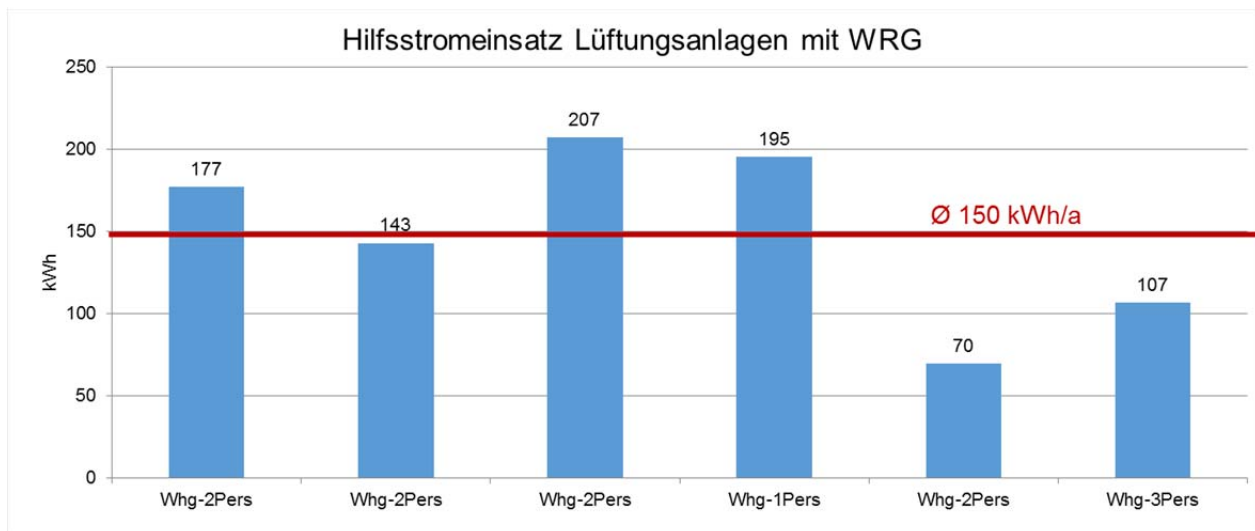


Abbildung 34 jährlicher Hilfsstromeinsatz je Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, Messjahr 2019

Fazit:

Die Stromeffizienz der eingesetzten Lüftungsgeräte ist gut bis sehr gut. Für eine kWh Strom werden etwa 4 kWh Wärme bei unveränderter Heizgrenze eingespart. Gelingt eine dauerhafte Reduzierung der Heizgrenze lässt sich das Verhältnis von Wärmenutzen zu Stromaufwand auf 6 steigern.

6 Ergebnisse Wirtschaftlichkeit

Auf Basis der abgerechneten Investitionskosten wird ein Gesamtkostenvergleich nach VDI 2067 erstellt. Folgende Unterlagen hat die gbg der Ostfalia zur Verfügung gestellt.

- Schlussrechnungen der HLS-Firma von 2015 bis 2017
- Ultrafiltrationsanlage: Angebot Wartungsvertrag und Wasseruntersuchung/Beprobung der Fa. Solvis
- Aufstellung Messkosten gbg vom 21.11.2018
- Aufstellung Wartungsaufwand vom 5.04.2019

6.1 Ergebnisse Netto-Investitionskosten Heizsysteme

Sowohl die Wohnungsgrößen als auch die Zahl der Heizkörper und die Installationslängen differieren leicht. Zur besseren Vergleichbarkeit werden Kosten, die auf die unterschiedliche Wohnungsgröße zurückzuführen sind, herausgerechnet:

- Die Demontage wird für alle Objekte auf 600 €/WE gesetzt (abgerechnete Bandbreite 562-686 €/WE).
- Vereinheitlichung der Kosten für neue Heizkörper einheitlich auf 1.200 €/WE (abgerechnete Bandbreite 1.166 -1.393 €/WE)
- Die neue Heizverteilung inkl. Zuleitung zu den Trinkwasserstationen bei E36 und E38 wurde auf 2000 €/WE gemittelt.
- Die Kosten für neue Trinkwasserinstallationen bleiben mit Ausnahme von E42 unberücksichtigt. Für die neue Trinkwarmwasserleitung und die Zirkulation wird ein Schätzwert von 300 €/WE angesetzt. In Anlehnung an die Kosten von E34 werden die Kosten der Strangverteilung des Heizsystems auf 1.300 €/WE vereinheitlicht.

Beim System E42 ist zu beachten, dass über die Frischwasserstation auch die Liegenschaft D2 und D4 versorgt werden. Die Kosten von Frischwasserstation, Pufferspeicher und Ultrafiltrationssystem werden daher auf 24 Wohneinheiten umgelegt.

Abbildung 35 zeigt den Vergleich der Netto-Investitionskosten der Heizsysteme. Die Ergebnisse im Überblick:

- Die Liegenschaft E34 mit elektrischer Trinkwarmwasserbereitung schneidet mit rund 3.900 €/WE am günstigsten ab. Ursächlich für die günstigen Investitionskosten ist, dass keine Hausanschlussverstärkung in der Liegenschaft erforderlich war.
- Rund 450 €/WE mehr kostet das Heizsystem mit Ultrafiltrationsanlage in Liegenschaft E42.
- Die Trinkwasserstationen in E36 und E38 verursachen rund 1.300 € Mehrkosten pro Wohneinheit im Vergleich zur dezentralen Erzeugung.
- Das 2-Leiter-System in E40 liegt rund 1.360 €/WE über den Kosten der dezentralen Trinkwarmwasserbereitung.

Hinsichtlich der Übertragbarkeit der Ergebnisse ist zu beachten, dass die spezifischen Kosten je Wohnung bei der elektrischen Trinkwarmwasserbereitung sowie Trinkwasser- und Wohnungsstationen annähernd unabhängig von der Anzahl der Wohnungen sind.

Beim zentralen System mit Ultrafiltration sind Sockelkosten für zentrale Komponenten zu berücksichtigen. Die Firma Solvis gibt daher eine Mindestanzahl von 16 Wohnungen als sinnvollen Einsatzbereich an.

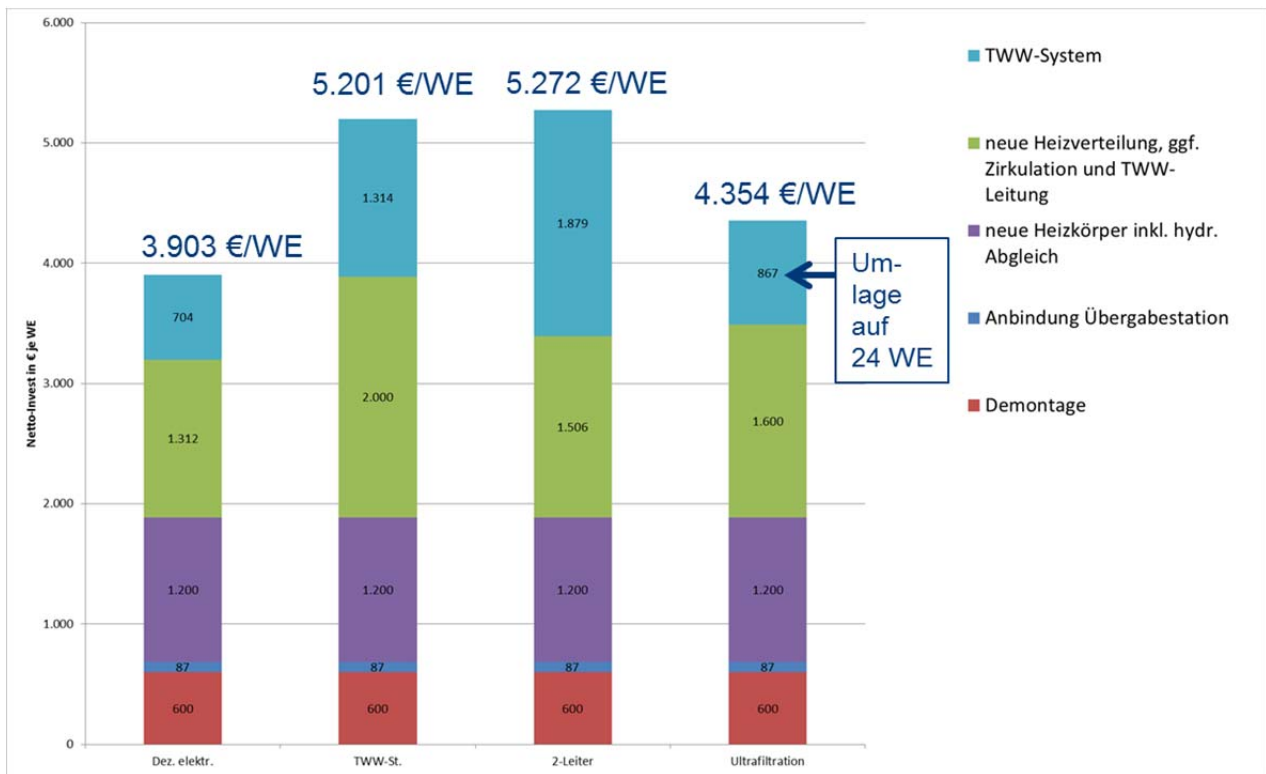


Abbildung 35 Vergleich Netto-Investitionskosten Heizsystem in Euro je Wohneinheit

6.2 Ergebnisse Netto-Investitionskosten Lüftungssysteme

Der Vergleich der umgesetzten Lüftungstechnik ist in [10] ausführlich dargestellt. 2 Systeme sind in Betrieb: Hi-E38 wurde mit einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ausgestattet, alle anderen Objekte mit einer Abluftanlage:

Abluftsystem (E34, E36, E40, E42)	Lüftungssystem mit Wärmerückgewinnung (E38)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abluftventilatoren in Küche und Bad entziehen verbrauchte Luft aus den Räumen. ▪ Abluft wird über das Kanalnetz im Flur zum Schacht geführt ▪ Alle einzelnen Abluftrohre werden im Schacht zum Dachgeschoss geführt, dort zusammengefasst und die Fortluft über das Dach ausgeblasen. ▪ Die Frischluft strömt über Außenwand-Durchlässe in Schlaf-, Wohn- und Kinderzimmer. ▪ Zur Durchströmung der gesamten Wohnung sind die Innentüren mit Überstromöffnungen versehen. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 8 Lüftungsgeräte sind in der Technikzentrale im Dach platziert. ▪ 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.

Abbildung 36 Beschreibung Lüftungstechnik

Abbildung 37 zeigt die abgerechneten Investitionskosten. Die Mehrkosten der Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung betragen rund 2.600 € je Wohnung, davon entfallen

- 1.200 €/WE auf das Kanalnetz und die erhöhten Brandschutzanforderungen
- 1.000 €/WE auf das Lüftungsgerät
- 400 €/WE auf den Trockenbau für die neue Technikzentrale im DG

Objekt Hi-E36, Abluftanlage

Kleinlüfter 40/60 m ³ /h	615 €/WE
Zubehör: Außenluftdurchlass, Brandschutzabsperrovrichtung, 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 37 Kostenvergleich Abluftanlage und Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

6.3 Wirtschaftlichkeitsvergleich

Nach Darstellung der Berechnungsansätze der Wirtschaftlichkeitsberechnungen im Kapitel 6.3.1 wird der Systemvergleich der Heizsysteme zunächst entsprechend der Umsetzung mit Berücksichtigung der Neuinstallation der Verteilsysteme und Heizkörpererneuerung durchgeführt (Kapitel 6.3.2). Die Sanierung des Gesamtsystems ist im Bestand häufig nicht erforderlich, die Ausgangssituation in der Ehrlicherstr. ist annähernd einer Neubausituation vergleichbar. Es wird daher noch ein Systemvergleich betrachtet, der eine Beibehaltung der Verteilinstallationen beinhaltet, siehe Kapitel 6.3.3. Der Vergleich der eingesetzten Lüftungssysteme ist in Kapitel 6.3.4 dargestellt.

6.3.1 Rahmenbedingungen der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung der Heiz- und Lüftungssysteme erfolgt nach VDI 2067 für einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren und einen Kalkulationszins von 3 %.

Weitere Berechnungsansätze sind:

Energie- und Wasserkosten:

- Wärme: 6,111 Ct/kWh brutto
- Haushaltsstrom: 30,94 Ct/kWh brutto
- Wasserbrauch Ultrafiltration: Wasser/Schmutzwasser: 4 €/m³, Verbrauch: 14 m³

Gebäudedaten und Energiekennwerte:

Parameter	Wert	Bemerkung
Beheizte Wohnfläche	520 m ²	Durchschnittswert der Liegenschaften
Trinkwarmwasser-Nutzen	12 kWh/(m ² a)	Annahme: gleiche Zapfmenge in allen Liegenschaften, angesetzt ist der Mittelwert der Liegenschaften, in denen der Trinkwarmwasser-Nutzen messtechnisch bestimmbar ist
Verteilaufwand Trinkwarmwasser	E34 = entfällt E36, E38 = 16 kWh/(m ² a) E42 = 13 kWh/(m ² a)	Festlegung auf Basis EAV-Auswertung
Wärmemenge-Heizstrang	E34, E36, E42 = 42 kWh/(m ² a) E38 = 32 kWh/(m ² a)	Annahme: gleiche Wärmenachfrage in den Wohnungen, in E38 10 kWh/(m ² a) Wärmeeinsparung durch die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
Wärmemenge-2-Leiter	E40 = 60 kWh/(m ² a)	Schätzwert auf Basis EAV-Auswertung mit reduzierter Sockelnachfrage: enthält Nutzen TWW + Raumwärme sowie Verteilaufwand 2-Leiter-System
Hilfsstrom	E38 = kein erhöhter Stromverbrauch im Vergleich zur Abluft E40 = 120 kWh/(WE*a) E42 = 438 kWh/a	Annahme: gleicher Hilfsstromeinsatz für Lüftungstechnik in allen Varianten Heizkreispumpen in den Wohnungen Zirkulationspumpe (E42) und Pumpe Ultrafiltration (E42 + D2 + D4)

Abbildung 38 Gebäudedaten und Energiekennwerte für Wirtschaftlichkeitsberechnung

Kosten Messdienstleistungen:

Objekt-Bezeichnung	Messstellen	jährliche Bruttokosten je Wohnung für Gerätemiete und Ablesung/Abrechnung [€/(Whg*a)]
E34	je Wohnung: 1 Kaltwasserzähler je Wohnung: 1 Stromzähler Trinkwarmwasserbereitung im KG: 1 WMZ für die statische Heizung je Heizkörper: Heizkostenverteiler	79,00
E36, E38	je Wohnung: 1 Kaltwasserzähler je Wohnung: 1 WMZ Trinkwasserstation im KG: 1 WMZ für die statische Heizung + 1 WMZ TWW je Heizkörper: Heizkostenverteiler	159,00
E40	je Wohnung: 1 Kaltwasserzähler je Wohnung: 1 WMZ Wohnungsstation im KG: 1 WMZ 2-Leiter	121,53
E42, D2, D4	je Wohnung: 1 Kaltwasserzähler + 1 Warmwasserzähler im KG: 3 WMZ für die statische Heizung je Gebäude + 1 WMZ TWW für Summe E42 + D2 + D4 je Heizkörper: Heizkostenverteiler	97,65

Abbildung 39 Kosten Messdienstleistungen

Hinweis: Aufgrund des Wechsels zu einem anderen Messdienstleistungsunternehmen ergeben sich zukünftig Anpassungen.

Wartungskosten Lüftungssystem:

- Abluftsystem: keine Wartung und Filterwechsel; Filter werden bei Bedarf durch die Mieter ausgewaschen
- Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung: jährlicher Filterwechsel durch gbg-Mitarbeiter, Arbeitsaufwand je Anlage 10 bis 15 Minuten, Filterreinigung alle 6 Monate durch gbg-Mitarbeiter, Arbeitsaufwand je Anlage 10 bis 15 Minuten

6.3.2 Ergebnisse Wirtschaftlichkeit Heizsystem

Der Vollkostenvergleich von Kapital-, Mess-, Wartungs-, Energie- und Wasserkosten zeigt ein ähnliches Kostenniveau für die installierten Heizsysteme. Die Systemvarianten dezentrale elektrische Trinkwarmwasserbereitung, Trinkwasserstationen, 2-Leiter-System und Ultrafiltration variieren in den Vollkosten zwischen 6.305 €/a und 6.908 €/a bei Zugrundelegung heutiger Energiepreise. Bei der Ultrafiltrationsanlage ist die Umlegbarkeit der Komponenten aus der Technikzentrale und der Wartungskosten auf 24 Wohneinheiten entscheidend für das Ergebnis. Die elektrische Trinkwarmwasserbereitung weist die geringsten Kapitalkosten und bedingt durch die hohen Strompreise die höchsten Energiekosten auf.

Das im Objekt E38 installierte System mit Trinkwasserstation und Lüftungstechnik mit Wärmerückgewinnung schneidet im Vollkostenvergleich aufgrund der Mehrkosten der Lüftungsanlage am ungünstigsten ab.

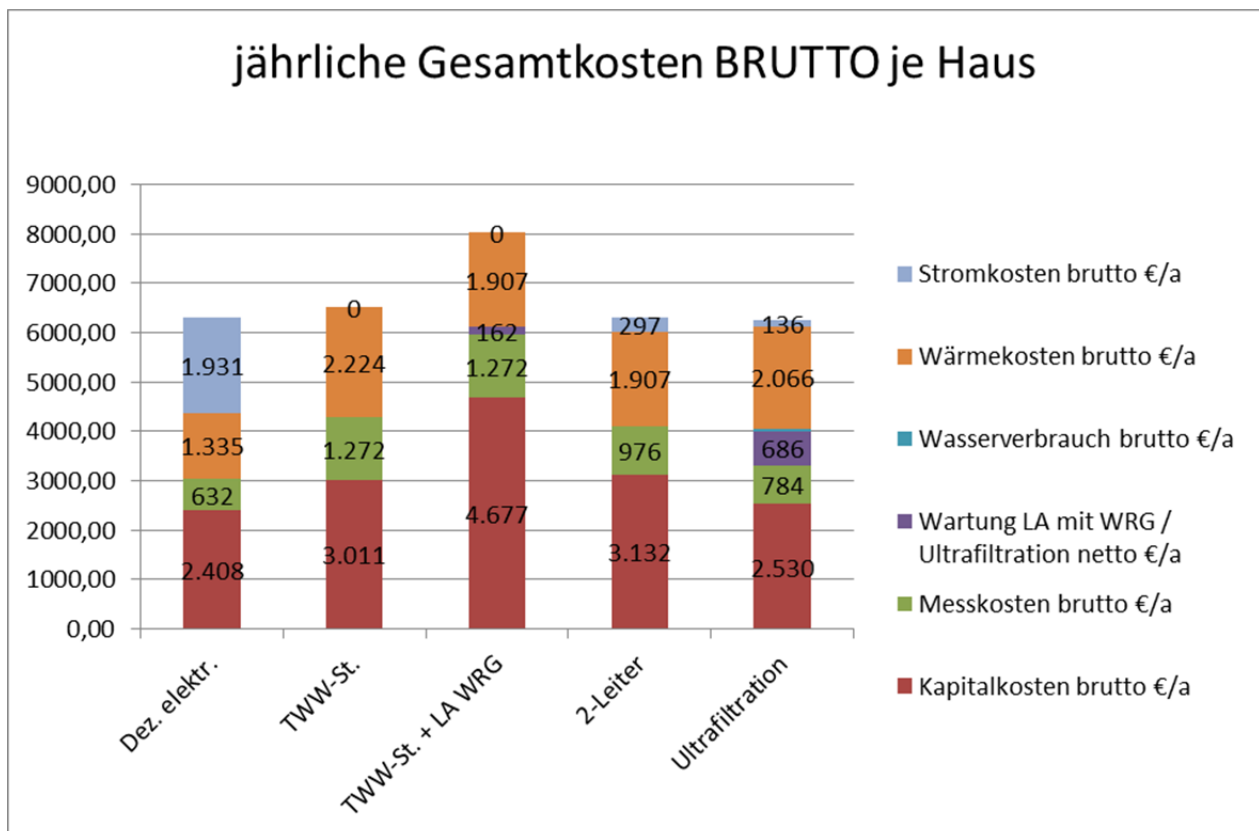


Abbildung 40 Systemvergleich Heizsystem: jährliche Gesamtkosten nach VDI 2067

Maßstab für die Wirtschaftlichkeit aus Mieterperspektive sind die monatlichen Betriebs- und Wärmekosten in € je Quadratmeter siehe Abbildung 41. Am günstigsten schneidet das System mit Wohnungsstationen ab. Im Vergleich zum System mit elektrischer Trinkwarmwasserbereitung sparen die Mieter monatlich rund 7 Euro bei heutigen Energiepreisen. Insgesamt ist das Kostenniveau aufgrund des erreichten Effizienzstandards und der niedrigen Wärmepreise für die Mieter günstig.

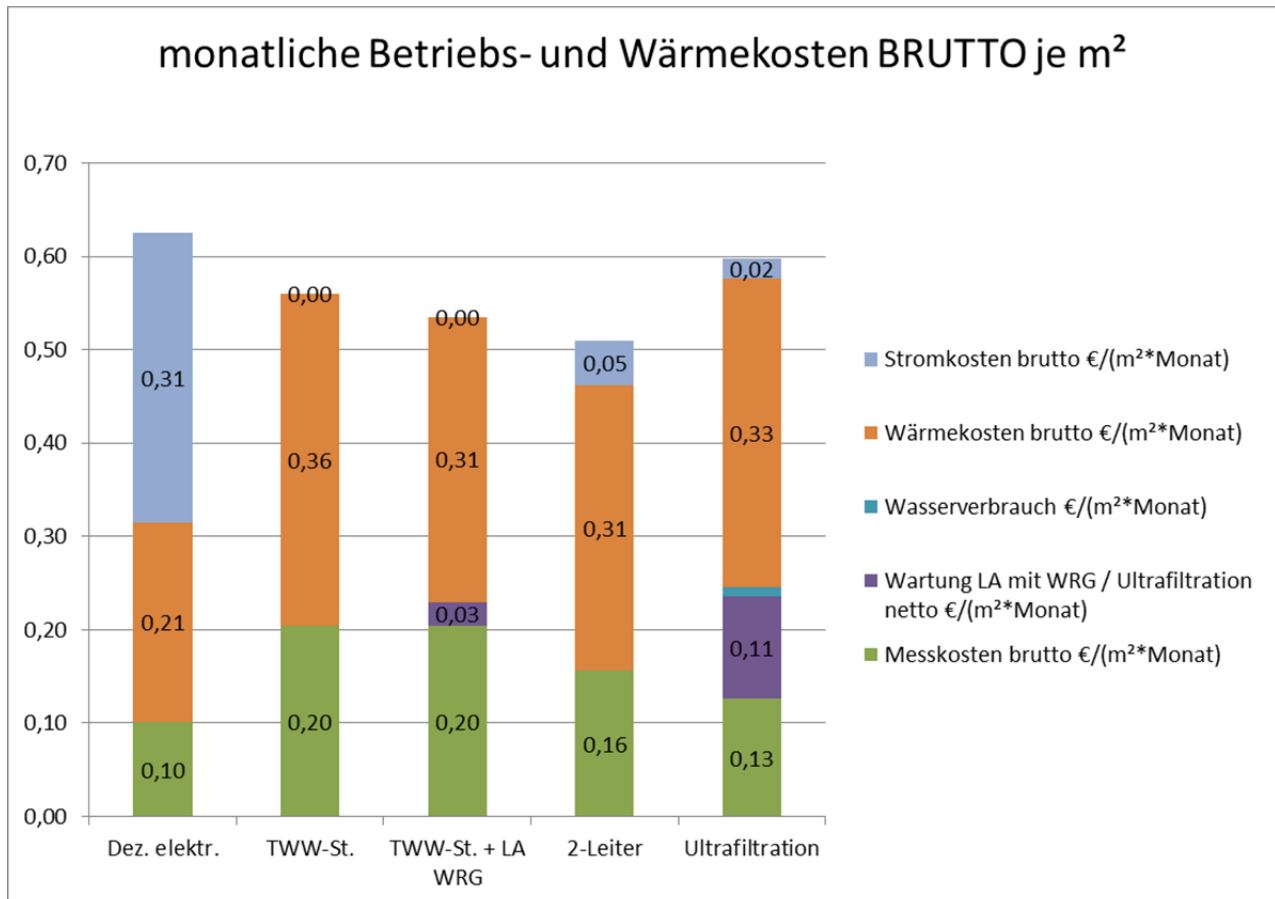


Abbildung 41 Systemvergleich Heizsysteme: monatliche Betriebs- und Wärmekosten

6.3.3 Ergebnisse Wirtschaftlichkeit Heizsystem ohne Erneuerung Verteilsystem

Aufgrund der langen Nutzungsdauer von Verteil-Installationen findet bei Heizungserneuerungen in der Regel kein Austausch der Rohrleitungen statt. Trinkwasser- bzw. Wohnungsstationen scheiden in diesen Fällen als Sanierungsmaßnahme aus, weil die Anpassung der Verteilungen systembedingt erforderlich ist. Zur Reduzierung des Verteilaufwandes der Trinkwarmwasserbereitung bleiben als Optionen die Umstellung auf eine dezentrale elektrische Variante oder der Einsatz eines Ultrafiltrationssystems zur Senkung des Temperaturniveaus.

Bei Weiternutzung der vorhandenen Verteilsysteme und Heizkörper in der Ehrlicherstr. ergeben sich Dezentralisierungskosten von rund 1.200 € netto je Wohnung, davon entfallen 700 € auf die elektrischen Trinkwarmwasserbereiter und 500 € auf Maler- und Maurerarbeiten in den Wohnungen. Die Erneuerung der Trinkwarmwasserbereitung durch Einbau eines Pufferspeichers mit Frischwasserstation und Ultrafiltrationsanlage kostet rund 570 € je Wohnung bei Umlage auf 24 Wohnungen vgl. Anhang 9.1.

In beiden Sanierungsvarianten können weitere Investitionskosten anfallen: Bei der Dezentralisierung für elektrische Hausanschlussverstärkungen und bei der Ultrafiltrationsanlage beispielsweise für den Rückbau

von Totleitungen. Es sind daher immer projektbezogen individuelle Wirtschaftlichkeitsberechnungen erforderlich.

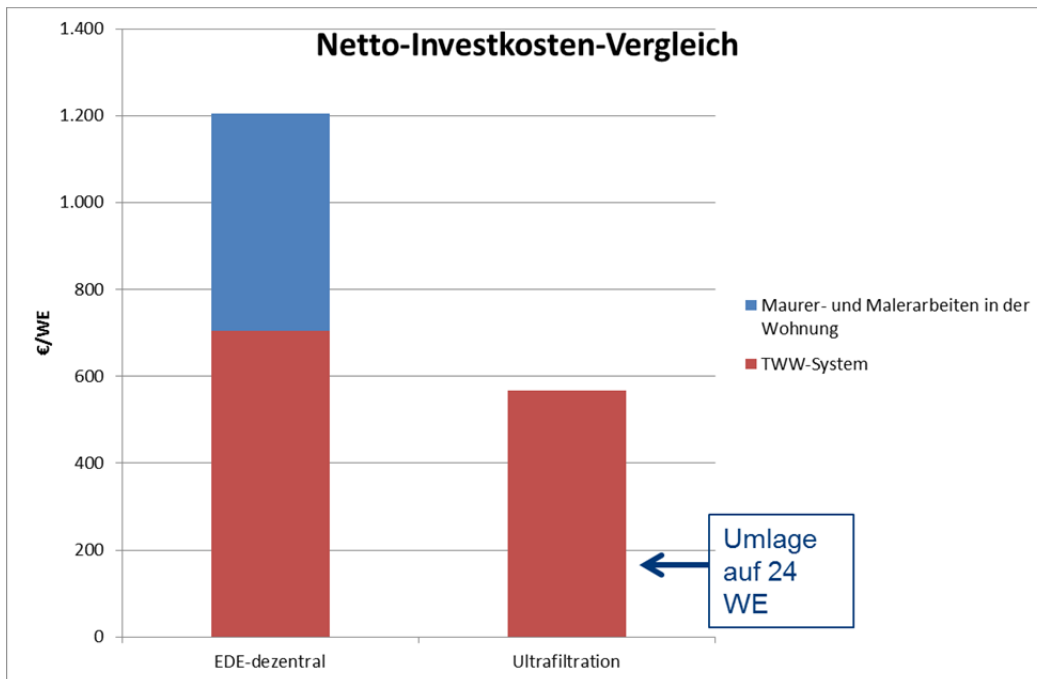


Abbildung 42 Vergleich Netto-Investitionskosten Heizsystem in Euro je Wohneinheit, ohne Erneuerung Heizverteilung und Heizkörper

Im Vergleich zur Bestandsituation ergeben sich für beide Sanierungsvarianten erhöhte Gesamtkosten sowie erhöhte Betriebskosten für die Mieter siehe Abbildung 43. Bei einem Verhältnis von Strompreis zu Wärmepreis von 5 zu 1 stellt die elektrische Dezentralisierung keine wirtschaftliche Alternative dar. Beim Ultrafiltrationssystem sinken die Wärmekosten im Vergleich zum Bestand. Der zusätzliche Wartungs- und Beprobungsaufwand führt jedoch zusammen mit den Kapitalkosten zu erhöhten Gesamtkosten.

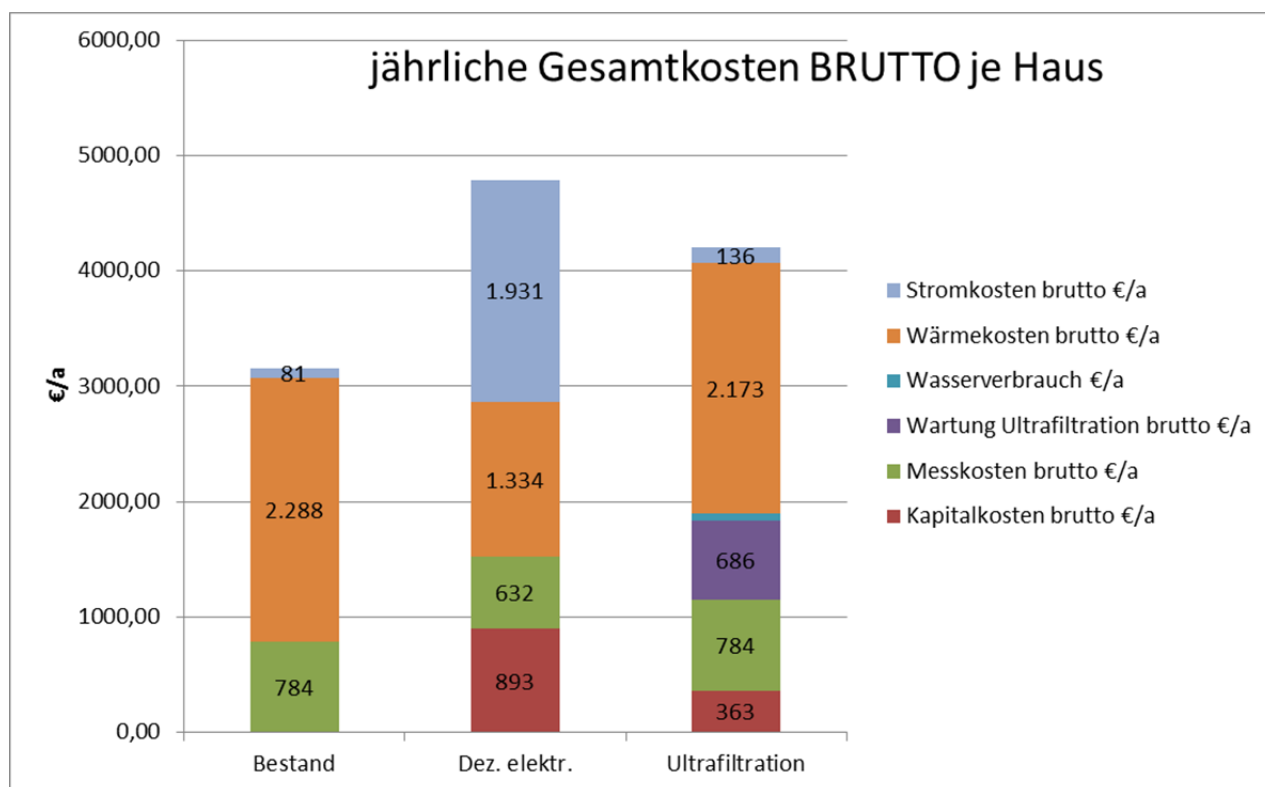


Abbildung 43 Systemvergleich Heizsystem: jährliche Gesamtkosten nach VDI 2067 ohne Erneuerung Verteil-Installation

6.3.4 Ergebnisse Wirtschaftlichkeit Lüftungssystem

Auf Grundlage der abgerechneten Investitionskosten für die Objekte E36 und E38 wird ein Gesamtkostenvergleich der Varianten Abluftanlage und mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung durchgeführt siehe Abbildung 44. Die Gesamtkosten der Lüftungstechnik mit Wärmerückgewinnung liegen um rund 80 % über den Kosten der Abluftanlage. Die Kapital-Mehrkosten der Lüftungstechnik mit Wärmerückgewinnung lassen sich nicht durch Wärmeeinsparung refinanzieren. In energetischer Hinsicht ist von einer realistischen Wärmeeinsparung von 10 bis 15 kWh/(m²a) auszugehen, während der Stromaufwand durchschnittlich 150 kWh je Wohnung beträgt. Damit stehen einer Kilowattstunde Hilfsstromaufwand stehen 4 bis 6 Kilowattstunden Wärmeeinsparung gegenüber.

Für die Mieter fällt die Kostenbilanz positiv aus: Die Abluftanlage verursacht jährliche Kosten von 46 € für Hilfsstrom, während bei der Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung 63 € für Hilfsstrom und Wartung anfallen, die durch die Wärmeeinsparung von jährlich 40 bis 60 € in jeder Wohnung teilweise kompensiert werden.

Wirtschaftlichkeitsvergleich Lüftung

Projektname

gbg, Vergleich Lüftungssysteme, Objekt E36 und E38

Varianten:

Abluft Lüftung mit WRG Lüftung mit WRG
 10 kWh/(m²a) 15 kWh/(m²a)

Gebäudedaten

NGF	m ²	520	520	520
Anzahl Wohnungen	Stück	8,0	8,0	8,0

Energiepreise

Brutto-Arbeitspreis Wärme	€/kWh	0,06111	0,06111	0,06111
Brutto-Arbeitspreis Hilfsstrom	€/kWh	0,30940	0,30940	0,30940

Energiebilanz

gemessener Hilfsstrom	kWh/(Whg*a)	150	150	150
gemessene Wärmeeinsparung	kWh/(m ² *a)		10	15
Verhältnis Nutzen/Aufwand	kWh Wärme / kWh Strom		4	7

Investkosten

reine Baukosten, ohne Planungskosten	€/Whg	2.534	5.631	5.631
--------------------------------------	-------	-------	-------	-------

Annuitäten

Betrachtungszeitraum T		20	20	20
Zinsfaktor q		1,03	1,03	1,03
Annuitätsfaktor		0,0672	0,0672	0,0672

Jährliche Gesamtkosten brutto je Wohnung

		Abluft	Lüftung mit WRG 10 kWh/(m ² a)	Lüftung mit WRG 15 kWh/(m ² a)
Kapitalkosten	€/(Whg*a)	170	378	378
Betriebskosten	€/(Whg*a)	46	46	46
Wartungskosten (Filterwechsel)	€/(Whg*a)	0	17	17
Vermiedene Wärmekosten	€/(Whg*a)	0	-40	-60
SUMME Kosten	€/(Whg*a)	217	402	382

Abbildung 44 jährliche Gesamtkosten Abluftanlage und Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung

7 Stärken-Schwächen-Analyse Trinkwarmwassersystem

Die Stärken und Schwächen der untersuchten Trinkwarmwassersysteme sind in den folgenden Steckbriefen zusammengefasst. Hieraus lassen sich allgemeine Einsatzempfehlungen ableiten.

	Dezentral elektrische Trinkwarmwasserbereitung
Definition	elektrische Durchlaufwasserheizer und Kleinspeicher, an der Zapfstelle installiert
Treibhausgas-emissionen	abhängig vom Strom-Mix
Stärke	<ul style="list-style-type: none"> ▪ kein Verteilungsaufwand ▪ geringe Kosten Erzeugungskomponenten ▪ keine Legionellenüberwachung ▪ geringer Messaufwand
Schwäche	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Platzbedarf in der Wohnung ▪ Hohe Energiekosten ▪ Hohe Sensitivität gegenüber Mehrverbräuchen und Strompreissteigerungen ▪ Kosten für Malerarbeiten, Elektroinstallation, ggf. Verstärkung Hausanschluss und Anpassung/Neuaufbau Trafo-Station schränken die Wirtschaftlichkeit ein, bei Vollkostenbetrachtungen schneidet das System i. A. ungünstig ab
Einsatzempfehlung	<p>Bestand:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ TWW-System IST = direktelektrische TWW-Bereitung: Individuelle Betrachtung unter Einbeziehung der vorhandenen Heizverteilung und –erzeugung sowie des Verteilungsaufwandes bei Zentralisierung ist erforderlich. Ohne Modernisierungsanlass für das Heizsystem ist die Systembeibehaltung in der Regel sinnvoll. ▪ TWW-System IST = Gasetagenheizung: Bei Erneuerungsbedarf in allen Wohnungen ist in der Regel keine Systembeibehaltung empfehlenswert. Mögliche Sanierungsvariante: Gebäudezentrale Heizwärmeerzeugung mittels Wärmepumpenanlage und dezentrale TWW-Bereitung (Beispiel: Sanierung zum KfW-Effizienzhaus mit Luft-Wasser-Wärmepumpe zur Raumheizung und dezentrale TWW-Bereitung); bei Anschlussmöglichkeit an ein Wärmenetz ist eine Zentralisierung der TWW-Bereitung in der Regel mit Vorteilen hinsichtlich der Investitionskosten und der Gesamtwirtschaftlichkeit verbunden ▪ TWW-System IST = zentrale TWW-Bereitung: Dezentralisierung ist in der Regel unwirtschaftlich. <p>Neubau: Individuelle Betrachtungen sind erforderlich. Die hohen Strompreise stellen ein häufig entscheidendes Hemmnis für den Einsatz im Neubau dar, während die geringen Kapitalkosten das System aus Investorensicht attraktiv machen. Bei Solarstromerzeugung z.B. als Mieterstrom ist die verbesserte Eigenstromnutzung mit in die Wirtschaftlichkeit von elektrischen Systemen zur Trinkwarmwasserbereitung (z. B. Kleinspeicher, Elektrostab) einzubeziehen. Folgende Voraussetzungen begünstigen die Systemeignung:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Gebäude mit überdurchschnittlichem Verteilungsaufwand ▪ geringe Zapfmengen/Anwesenheit der Bewohner ▪ geringe Varianz der Bewohnerzahl (z. B. 1 Zimmer-Apartment)

Abbildung 45 Stärken und Schwächenanalyse elektrische Warmwasserbereitung

	Trinkwasserstationen
Definition	Durchflusssystem für Trinkwarmwasserbereitung in der Wohnung, Verteilleitung: Netzvor- und Rücklauf, getrenntes Heizverteilsystem
Treibhausgasemissionen	abhängig von der Wärmeerzeugung
Stärke	<ul style="list-style-type: none"> ▪ im Vergleich zu zentraler Trinkwarmwasserversorgung reduzierter Verteilungsaufwand durch geringe Rücklauftemperaturen ▪ keine Legionellenüberwachung ▪ Eignung/Voraussetzung für die Nutzung Erneuerbarer Energien
Schwäche	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Platzbedarf in der Wohnung + Platzbedarf Technikzentrale ▪ 4 Wärme abgebende Verteilleitungen: Netzvor- und Rücklauf, Vor- und Rücklauf Heizung ▪ Investitionskosten in der Regel höher als bei dezentraler elektrischer und zentraler Versorgung ▪ hohe Messkosten ▪ Bei Wartung/Reparaturen ist ein Betreten der Wohnungen erforderlich.
Einsatzempfehlung	<p>Bestand:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sanierung bei Legionellenbefall ▪ Erfordernis von eigenen Verteilsystemen für Trinkwarmwasserbereitung und Heizung ▪ Bei Sanierungsbedarf für die Trinkwarmwasserinstallationen <p>Neubau: Individuelle Systemvergleiche sind erforderlich.</p>

Abbildung 46 Stärken und Schwächenanalyse Trinkwasserstation

	Wohnungsstationen mit 2-Leiter-System
Definition	Durchflusssystem für Trinkwarmwasser und Heizwasser in der Wohnung, Verteilleitung: Netzvor- und Rücklauf
Treibhausgas-emissionen	abhängig von der Wärmeerzeugung
Stärke	<ul style="list-style-type: none"> ▪ deutlich reduzierter Verteilungsaufwand durch 2-Leiter-System ▪ geringe Rücklauftemperaturen ▪ keine Legionellenüberwachung ▪ Eignung/Voraussetzung für die Nutzung Erneuerbarer Energien
Schwäche	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Platzbedarf in der Wohnung + Platzbedarf Technikzentrale ▪ Investitionskosten in der Regel höher als bei dezentraler elektrischer und zentraler Versorgung ▪ Vorlauftemperatur nicht optimiert für Heizbetrieb ▪ Bei Wartung/Reparaturen ist ein Betreten der Wohnungen erforderlich.
Einsatzempfehlung	<p>Bestand:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sanierung bei Legionellenbefall ▪ Bei Sanierungsbedarf für die Verteilinstallationen <p>Neubau: Individuelle Systemvergleiche sind erforderlich. Der deutlich reduzierte Wärmeverteilungsaufwand ist mit zusätzlichem Pumpenstrom und Hilfsstrom für die Steuerung der Wohnungsstation sowie Verlusten durch den Wärmeübertrager abzuwägen.</p>

Abbildung 47 Stärken und Schwächenanalyse Wohnungsstation

	Pufferspeicher mit Frischwasserstation und Ultrafiltration
Definition	zentrale Trinkwarmwasserbereitung im Durchfluss, Verteilleitung: Zirkulation + Trinkwarmwasser, getrenntes Heizverteilsystem
Treibhausgas-emissionen	abhängig von der Wärmeerzeugung
Stärke	<ul style="list-style-type: none"> ▪ kein Betreten der Wohnung für Wartung/Reparaturen erforderlich, allerdings regelmäßige Beprobung an der vom Trinkwarmwassererwärmer entferntesten Entnahmestelle ▪ kein Platzbedarf in der Wohnung ▪ günstiges Investitionskostenniveau bei großer Anzahl an Wohnungen
Schwäche	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einsatz ausschließlich im Rahmen von Modellprojekten in Abstimmung mit dem Landesgesundheitsamt (Stand von Wissenschaft und Technik) ▪ 4 Wärme abgebende Verteilleitungen: Zirkulation, TWW-Leitung, Vor- und Rücklauf Heizung ▪ Permanente Online-Überwachung des Ultrafiltrationssystems ist systemrelevant ▪ Pumpenstromaufwand
Einsatzempfehlung	<p>Bestand:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sanierung bei Legionellenbefall ▪ Energiesparmaßnahme zur Reduzierung des Verteilungsaufwands <p>Neubau: Individuelle Systemvergleiche sind erforderlich.</p>

Abbildung 48 Stärken und Schwächenanalyse Pufferspeicher mit Frischwasserstation und Ultrafiltration

8 Quellen

- [1] Passivhausinstitut (Herausgeber), „Protokollband Nr. 50: Kostengünstige Lüftungslösungen im Wohnungsbau,“ Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase V, Darmstadt, 2015.
- [2] Passivhausinstitut (Herausgeber), „Protokollband Nr. 54: Neue Konzepte der fassadenintegrierten Lüftung,“ Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase V, Darmstadt, 2018.
- [3] Recknagel, Sprenger und Albers, Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik, 2017/18.
- [4] D. Wolff, A. Unverzagt und A. Schünemann, „Baugenossenschaft Bergedorf-Bille, Energiekonzept Bergedorf-West, VE100-2100-101 sowie VE119 (Projektbericht intern),“ Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften, Wolfenbüttel, 21.12.2019.
- [5] D. Wolff, A. Unverzagt und A. Schünemann, „Baugenossenschaft Bergedorf-Bille, Energiekonzept Lohbrügge-Nord VE80 (Projektbericht intern),“ Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften, Wolfenbüttel, 5.10.2018.
- [6] D. Wolff, A. Unverzagt und A. Schünemann, „Baugenossenschaft Bergedorf-Bille, Energiekonzept Lohbrügge-Nord, VE 79,84,104 (Projektbericht intern),“ Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften, Wolfenbüttel, 10.10.2018.
- [7] D. Wolff, A. Unverzagt und A. Schünemann, „DBU-Projekt "EAV-Anwendung in der Wohnungswirtschaft", EAV-Handbuch und Anwendungsbeispiele,“ Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften, Wolfenbüttel, 2020.
- [8] E. E. H. G. & C. KG, „Daten der Hausanlage - Technische Daten der Sekundärseite,“ Hildesheim, 2012.
- [9] TGA-Planungsbüro, „Strangschema Heizung gesamt,“ Hildesheim, letzte Änderung 10.10.2016.
- [10] D. Wolff, A. Unverzagt, A. Schünemann und S. Rasche, „DBU-Abschlussbericht: Entwicklung und Erprobung der Grundlagen für das Partnerschaftsmodell "Alliance Contracting" in der Wohnungswirtschaft,“ Ostfalia Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Wolfenbüttel, 28.02.2019.
- [11] N. Gesundheitsamt, „Stellungnahme zur hygienisch flankierten Energieeinsparung mittels Exergene-Technologie,“ 29.09.2016.
- [12] Helmut Jäger, Solvis GmbH Braunschweig, „E-Mail vom 4.06.2020“.
- [13] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), „Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung Basic Line B210,“ Berlin, 10.01.2019.

9 Anhang

9.1 Investitionskosten

Objekt Hi-E34, FW+EDE

anteilige Berücksichtigung Anbindung Übergabestation	87	€/WE
Entleeren und Befüllen Heizung, Demontage Heizkörper/Heizverteilsystem/Armaturen, Demontage Gasleitung/Gaszähler/Erzeuger	600	€/WE
neue Heizverteilung inkl. Zubehör	1.312	€/WE
neue Heizkörper inkl. hydraul. Abgleich	1.200	€/WE
21-kW-Durchlauferhitzer	584	€/WE
5-Liter-Untertischgerät	120	€/WE
Netto-Vollkosten Heizungstechnik inkl. Installation (ohne Übergabestation)	3.903	€/WE
davon elektrische TWW-Bereitung	704	€/WE

Abbildung 49 E34: Netto-Investitionskosten Heizsystem in Euro je Wohneinheit

Objekt Hi-E36/38, FW+Wohnungsstation TWW

anteilige Berücksichtigung Anbindung Übergabestation	87	€/WE
Entleeren und Befüllen Heizung, Demontage Heizkörper/Heizverteilsystem/Armaturen, Demontage Gasleitung/Gaszähler/Erzeuger	600	€/WE
neue Heizverteilung inkl. Zubehör	2.000	€/WE
neue Heizkörper inkl. hydraul. Abgleich	1.200	€/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)	5.201	€/WE
davon TWW-Bereitung über Wohnungsstationen	1.314	€/WE

Abbildung 50 E36/38: Netto-Investitionskosten Heizsystem in Euro je Wohneinheit

Objekt Hi-E40, FW+Wohnungsstation 2-Leiter

anteilige Berücksichtigung Anbindung Übergabestation	87	€/WE
Entleeren und Befüllen Heizung, Demontage Heizkörper/Heizverteilsystem/Armaturen, Demontage Gasleitung/Gaszähler/Erzeuger	600	€/WE
neue Heizverteilung inkl. Zubehör	1.506	€/WE
neue Heizkörper inkl. hydraul. Abgleich	1.200	€/WE
Wohnungsstation	1.230	€/WE
Thermostatischer Temperaturregler	74	€/WE
Differenzdruckregler im primären Heizungseingang	142	€/WE
Passtücke und Entleerungsset	135	€/WE
Aufputzschrank	298	€/WE
Netto-Vollkosten Heizungstechnik inkl. Installation (ohne Übergabestation)	5.272	€/WE
davon TWW-Bereitung über Wohnungsstationen	1.879	€/WE

Abbildung 51 E40: Netto-Investitionskosten Heizsystem in Euro je Wohneinheit

Objekt Hi-E42, FW+Pufferspeicher+Ultrafiltration

anteilige Berücksichtigung Anbindung Übergabestation	87	€/WE
Entleeren und Befüllen Heizung, Demontage Heizkörper/Heizverteilsystem/Armaturen, Demontage Gasleitung/Gaszähler/Erzeuger	600	€/WE
neue Heizverteilung inkl. Zubehör + Schätzwert Zirkulation und TWW-Leitung	1.600	€/WE
neue Heizkörper inkl. hydraul. Abgleich	1.200	€/WE
Pufferspeicher mit Frischwasserstation, Ultrafiltrationsanlage	867	€/WE
Netto-Vollkosten Heizungstechnik inkl. Installation (ohne Übergabestation)	4.354	€/WE
davon TWW-Bereitung über Pufferspeicher / Frischwasserstation inkl. Ultrafiltration	867	€/WE

Abbildung 52 E42: Netto-Investitionskosten Heizsystem in Euro je Wohneinheit

9.2 Kapitalkosten mit Restwertermittlung

VARIANTE E34

Gesamtkostenberechnung nach VDI 2067_09-2012

20 Jahre	Betrachtungszeitraum T	0,0672
1,03	Zinsfaktor q	
1,00	Preisänderungsfaktor Investition r _K	14,877

Nr.	Nutzungs- dauer [a]	Ersatz- häufig- keit	Beschreibung	Investition A ₀	Barwert Ersatzinvestitionen					Restwert R _W	Summe Barwert - Restwert	Annuität A _{N,K}
					A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₀ (r ^{nT})/(q ^T)			
					$A_0(r^{1TN})/(q^{1TN})$	$A_0(r^{2TN})/(q^{2TN})$	$A_0(r^{3TN})/(q^{3TN})$	$A_0(r^{4TN})/(q^{4TN})$	$A_0(r^{nTN})^{(n+1)}$	$A_1+A_2+A_3+A_4-R_W$	$(A_1+...+R_W)^*$	
35	0	0	Anbindung	696	0	0	0	0	165	531	36	
20	0	0	Demontage	4.800	0	0	0	0	0	4.800	323	
35	0	0	Heizverteilsystem	10.496	0	0	0	0	2.491	8.005	538	
20	0	0	Neue Heizkörper	9.600	0	0	0	0	0	9.600	645	
15	1	1	Durchlauferhitzer/Untertischgerät	5.632	3.615	0	0	0	2.079	7.168	482	
				31.224	3.615	0	0	0	4.735	30.104	2.023	

Abbildung 53 E34: jährliche Netto-Kapitalkosten

VARIANTE E36

Gesamtkostenberechnung nach VDI 2067_09-2012

20 Jahre	Betrachtungszeitraum T	0,0672
1,03	Zinsfaktor q	
1,00	Preisänderungsfaktor Investition r _K	14,877

Nr.	Nutzungs- dauer [a]	Ersatz- häufig- keit	Beschreibung	Investition A ₀	Barwert Ersatzinvestitionen					Restwert R _W	Summe Barwert - Restwert	Annuität A _{N,K}
					A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₀ (r ^{nT})/(q ^T)			
					$A_0(r^{1TN})/(q^{1TN})$	$A_0(r^{2TN})/(q^{2TN})$	$A_0(r^{3TN})/(q^{3TN})$	$A_0(r^{4TN})/(q^{4TN})$	$A_0(r^{nTN})^{(n+1)}$	$A_1+A_2+A_3+A_4-R_W$	$(A_1+...+R_W)^*$	
35	0	0	Anbindung	696	0	0	0	0	165	531	36	
20	0	0	Demontage	4.800	0	0	0	0	0	4.800	323	
35	0	0	Heizverteilsystem	16.000	0	0	0	0	3.797	12.203	820	
20	0	0	Neue Heizkörper	9.600	0	0	0	0	0	9.600	645	
20	0	0	TWW-Stationen	10.512	0	0	0	0	0	10.512	707	
				41.608	0	0	0	0	3.962	37.646	2.530	

Abbildung 54 E36: jährliche Netto-Kapitalkosten

VARIANTE E38

Gesamtkostenberechnung nach VDI 2067_09-2012

20 Jahre	Betrachtungszeitraum T	0,0672
1,03	Zinsfaktor q	
1,00	Preisänderungsfaktor Investition r _K	14,877

Nr.	Nutzungs- dauer [a]	Ersatz- häufig- keit	Beschreibung	Investition A ₀	Barwert Ersatzinvestitionen					Restwert R _W	Summe Barwert - Restwert	Annuität A _{N,K}
					A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₀ (r ^{nT})/(q ^T)			
					$A_0(r^{1TN})/(q^{1TN})$	$A_0(r^{2TN})/(q^{2TN})$	$A_0(r^{3TN})/(q^{3TN})$	$A_0(r^{4TN})/(q^{4TN})$	$A_0(r^{nTN})^{(n+1)}$	$A_1+A_2+A_3+A_4-R_W$	$(A_1+...+R_W)^*$	
35	0	0	Anbindung	696	0	0	0	0	165	531	36	
20	0	0	Demontage	4.800	0	0	0	0	0	4.800	323	
35	0	0	Heizverteilsystem	16.000	0	0	0	0	3.797	12.203	820	
20	0	0	Neue Heizkörper	9.600	0	0	0	0	0	9.600	645	
20	0	0	TWW-Stationen	10.512	0	0	0	0	0	10.512	707	
20	0	0	Mehrkosten LA mit WRG zur Abluft	20.824	0	0	0	0	0	20.824	1400	
				62.432	0	0	0	0	3.962	58.470	3.930	

Abbildung 55 E38: jährliche Netto-Kapitalkosten

VARIANTE E40

Gesamtkostenberechnung nach VDI 2067_09-2012

20,00	Jahre	Betrachtungszeitraum T	0,0672
1,03		Zinsfaktor q	
1,00		Preisänderungsfaktor Investition r_K	14,877

Nr.	Nutzungs- dauer [a]	Ersatz- häufig- keit	Beschreibung	Investition	Barwert Ersatzinvestitionen				Restwert	Summe Barwert - Restwert	Annuität $A_{N,K}$
				A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	R_W		
				$A_0(r^{1TN})/(q^{1TN})$	$A_0(r^{2TN})/(q^{2TN})$	$A_0(r^{3TN})/(q^{3TN})$	$A_0(r^{4TN})/(q^{4TN})$	$A_0(r^{5TN})/(q^{5TN})$	$A_0(r^{5TN})^{(n+1)}/(TN \cdot T)^{1/(q^T)}$	$A_1+A_2+A_3+A_4-R_W$	$(A_1+\dots+R_W)^*/a$
	35	0	Anbindung	696	0	0	0	0	165	531	36
	20	0	Demontage	4.800	0	0	0	0	0	4.800	323
	35	0	Heizverteilsystem	12.048	0	0	0	0	2.859	9.189	618
	20	0	Neue Heizkörper	9.600	0	0	0	0	0	9.600	645
	20	0	Wohnungsstationen	15.032	0	0	0	0	0	15.032	1010
				42.176	0	0	0	0	3.024	39.152	2.632

Abbildung 56 E40: jährliche Netto-Kapitalkosten

VARIANTE E42

Gesamtkostenberechnung nach VDI 2067_09-2012

20,00	Jahre	Betrachtungszeitraum T	0,0672
1,03		Zinsfaktor q	
1,00		Preisänderungsfaktor Investition r_K	14,877

Nr.	Nutzungs- dauer [a]	Ersatz- häufig- keit	Beschreibung	Investition	Barwert Ersatzinvestitionen				Restwert	Summe Barwert - Restwert	Annuität $A_{N,K}$
				A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	R_W		
				$A_0(r^{1TN})/(q^{1TN})$	$A_0(r^{2TN})/(q^{2TN})$	$A_0(r^{3TN})/(q^{3TN})$	$A_0(r^{4TN})/(q^{4TN})$	$A_0(r^{5TN})/(q^{5TN})$	$A_0(r^{5TN})^{(n+1)}/(TN \cdot T)^{1/(q^T)}$	$A_1+A_2+A_3+A_4-R_W$	$(A_1+\dots+R_W)^*/a$
	35	0	Anbindung	696	0	0	0	0	165	531	36
	20	0	Demontage	4.800	0	0	0	0	0	4.800	323
	35	0	Heizverteilsystem + Zirkulation und TWW-Leitung	12.800	0	0	0	0	3.037	9.763	656
	20	0	Neue Heizkörper	9.600	0	0	0	0	0	9.600	645
	20	0	Pufferspeicher/Ultrafiltration	6.936	0	0	0	0	0	6.936	466
				34.832	0	0	0	0	3.202	31.630	2.126

Kapitalgebundene Kosten

2.126	EUR/a	$A_{N,K}$
-------	-------	-----------

Abbildung 57 E42: jährliche Netto-Kapitalkosten