



Wolfenbüttel

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 5: EAV-Anwendung in den Liegenschaften „Behringstraße“ der Nibelungen Wohnbau GmbH (Abschlussbericht)

Wolfenbüttel, 31.03.2021



Gefördert unter dem Aktenzeichen
AZ 33780/01 von der:



Salzgitter

Suderburg

Wolfsburg

Der Projektbericht in allen Teilen sowie die digitalen Arbeitshilfen sind digital verfügbar über:

www.delta-q.de

1 Verzeichnisse

1	Verzeichnisse	3
1.1	Abbildungsverzeichnis	4
1.2	Tabellenverzeichnis	4
1.3	Abkürzungsverzeichnis	4
2	Zusammenfassung	5
2.1	Zusammenfassung EAV-Ergebnisse Quartier Behringstr.	5
2.2	Zusammenfassung Wärmeversorgungskonzept Objekt BS-B23	5
2.3	Zusammenfassung Solarstromerzeugung Objekt BS-B23.....	6
2.4	Projektübergreifender Erkenntnisgewinn für die Einsatzbedingungen von Wärmepumpenanlagen im Geschosswohnungsbau.....	6
3	Beschreibung Liegenschaften.....	8
3.1	Vor der Modernisierung	8
3.2	Energetische Modernisierung ab 2015.....	9
4	EAV-Analyse.....	10
4.1	Ergebnisse Bestand.....	10
4.2	Energetische Modernisierung.....	11
5	Wärmeversorgungskonzept Objekt BS-B23	13
5.1	Wärmeversorgungsvarianten	13
5.2	Investitionskosten Wärmeversorgungsvarianten.....	13
5.2.1	Var.1: Gas-BWK-zentral/TWW-zentral – Kostenindikation.....	13
5.2.2	Var.2: Gas-BWK-zentral/TWW-EDE	14
5.2.3	Var.3: Luft-WP-zentral/TWW-zentral	14
5.2.4	Var.4: Luft-WP-zentral/TWW-EDE	16
5.2.5	Var.5: Luft-WP+Gas-BWK zentral/TWW-zentral	17
5.2.6	Var.6: Luft-WP+Heizstab-zentral/TWW-zentral	18
5.2.7	Var.7: Sole-WP zentral/TWW-zentral	20
5.2.8	Zusammenfassung Ergebnisse Investitionskosten.....	20
5.3	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	21
5.3.1	Rahmenbedingungen der Wirtschaftlichkeitsberechnung	21
5.3.2	Ergebnisse Wirtschaftlichkeitsberechnung	23
5.3.3	Ergebnisse CO ₂ -Emissionen.....	26
6	Solarstromerzeugung Objekt BS-B23.....	27
6.1	Anlagenauslegung	27
6.2	Kapital- und Betriebskosten.....	28
6.3	Wirtschaftlichkeit.....	28
6.4	Empfehlung.....	30
7	Literatur.....	31

1.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Vergleich Ergebnisse Verbrauchsanalyse 2014 und 2017	5
Abbildung 2 Stärken-Schwächen-Analyse für Hybridanlage mit Gas-BWK und Luft-Wasser-WP	7
Abbildung 3 Überblick Liegenschaften, BS-B19, BS-B21, B-B23	8
Abbildung 4 Liegenschaften vor der Modernisierung	9
Abbildung 5 Liegenschaften nach der Modernisierung: Objekt BS-B19 mit WDVS und Gas-BWK	9
Abbildung 6 Ergebnisse Gebäude-EAV 2014 (unmodernisierter Bestand)	10
Abbildung 7 Erzeuger-EAV 2014 (Erzeuger Baujahr 1992)	10
Abbildung 8 Ergebnisse Gebäude-EAV 2017 nach Umsetzung Außenwanddämmung	11
Abbildung 9 Trinkwarmwasser-Nutzen und Verteil- und Speicheraufwand (2017)	12
Abbildung 10 Erzeuger-EAV 2017 nach Umsetzung von Heizungserneuerungen in BS-B19 und BS-B21..	12
Abbildung 11 Investitionskostenschätzung: Gas-BWK-zentral/TWW-zentral (netto)	13
Abbildung 12 Investitionskostenschätzung: Gas-BWK-zentral/TWW-EDE (netto)	14
Abbildung 13 Abhängigkeit der Heizleistung von der Lufteintrittstemperatur, Quelle: Viessmann	15
Abbildung 14 Investitionskostenschätzung: Luft-Wärmepumpe-zentral/TWW-zentral (netto)	15
Abbildung 15 Investitionskostenschätzung: Luft-WP-zentral/TWW-EDE (netto)	16
Abbildung 16 Hydraulikbeispiel Luft-WP+Gas-BWK-zentral/TWW-zentral	17
Abbildung 17 Investitionskostenschätzung: Luft-WP+Gas-BWK-zentral/TWW-zentral (netto)	18
Abbildung 18 Hydraulikbeispiel Luft-WP+Heizstab/TWW-zentral	19
Abbildung 19 Investitionskostenschätzung: Luft-WP+Heizstab/TWW-zentral (netto)	19
Abbildung 20 Investitionskostenschätzung: Sole-WP/TWW-zentral (netto)	20
Abbildung 21 Investitionskostenschätzung Versorgungsvarianten inkl. Förderung (netto)	21
Abbildung 22 Jahresdauerlinie Objekt BS-B23	22
Abbildung 23 Entwicklung CO ₂ -Bepreisung	22
Abbildung 24 Vollkostenvergleich Wärmeversorgungsvarianten	23
Abbildung 25 Wirtschaftlichkeit aus Perspektive des Wohnungsunternehmens	23
Abbildung 26 Kosten Wohnungsunternehmen über den Betrachtungszeitraum	24
Abbildung 27 Wirtschaftlichkeit aus Mieterperspektive	24
Abbildung 28 Mieterkosten über den Betrachtungszeitraum	25
Abbildung 29 Mieterkosten über den Betrachtungszeitraum bei Annahme eines CO ₂ -Preises von 180 €/t ..	25
Abbildung 30 CO ₂ -Emissionen der Wärmeversorgungsvarianten	26
Abbildung 31 Dachflächeneignung gemäß SolarDachAtlas Stadt Braunschweig	27
Abbildung 32 nutzbare Dachfläche Objekt BS-B23	28
Abbildung 33 Rechengang Stromgestehungskosten	29
Abbildung 34 Ermittlung Stromgestehungskosten Objekt BS-B23	29
Abbildung 35 Vorgehen Analyse von Bestandsdächern	30

1.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Formelzeichen und Abkürzungsverzeichnis	4
---	---

1.3 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BWK	Brennwertkessel
EAV	Energieanalyse aus dem Verbrauch
EDE	Elektrische Durchlauferhitzer
Hzg	Heizung
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
TWW	Trinkwarmwasser
WDVS	Wärmedämm-Verbundsystem
WMZ	Wärmemengenzähler
WP	Wärmepumpe

Tabelle 1 Formelzeichen und Abkürzungsverzeichnis

2 Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse der EAV-Analyse für drei Liegenschaften in der Behringstr. zusammen. Darüber hinaus werden für das Objekt BS-B23 die Einsatzbedingungen für Wärmepumpenanlagen im Geschosswohnungsbau sowie Solarstromanlagen untersucht.

2.1 Zusammenfassung EAV-Ergebnisse Quartier Behringstr.

In drei Liegenschaften wurden Außenwanddämmungen mittels WDVS umgesetzt und in zwei Liegenschaften ein Kesseltausch vorgenommen. Folgendes wurde erreicht:

- Die Gebäudeeffizienz hat sich um 38 % verbessert und liegt nun im mittleren Bereich.
- Insgesamt werden 33 kWh/(m²a) Wärme eingespart. Die Wärmeeinsparung liegt mit 30 % unter der Gebäudeeffizienzverbesserung, weil sich die Heizgrenze auf 17 °C erhöht hat.
- Die Brennstoffeinsparung beträgt 62 kWh_{Hs}/(m²a), der Brennwert-bezogene Jahresnutzungsgrad der beiden Objekte mit Kesseltausch hat sich auf 87 bzw. 84 % verbessert.

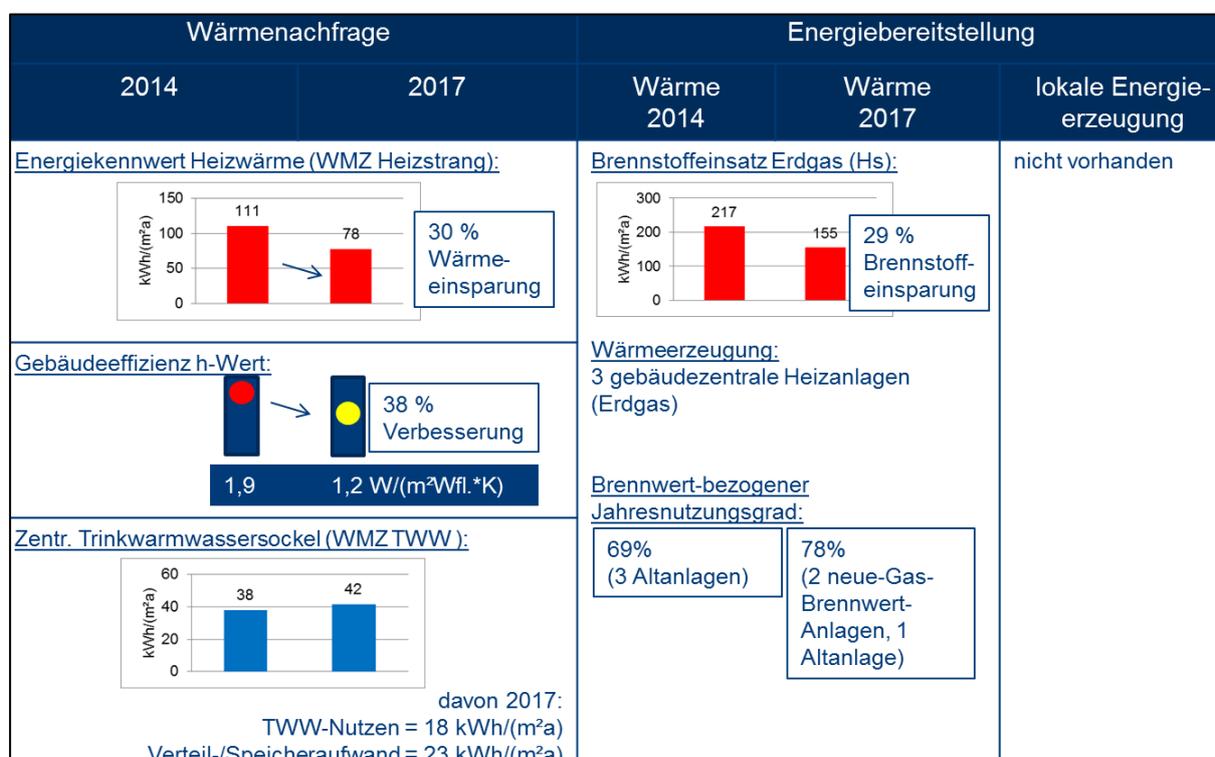


Abbildung 1 Vergleich Ergebnisse Verbrauchsanalyse 2014 und 2017

2.2 Zusammenfassung Wärmeversorgungskonzept Objekt BS-B23

Aus Sicht des Wohnungsunternehmens stellt derzeit der Austausch der Bestandsanlage durch einen Gas-Brennwertkessel weiterhin das Versorgungssystem mit den geringsten Investitionskosten dar. Eine Heizungserneuerung mit Sole-Wärmepumpe ist in der Liegenschaft mit den verfügbaren Grundstücksflächen nicht umsetzbar. Monovalente Varianten mit Luft-Wasser-Wärmepumpe und monoenergetische Versorgungsvarianten mit Luft-Wärmepumpe und Heizstab erweisen sich als nicht empfehlenswert für den Einsatz in der Liegenschaft. Sowohl die Investitionskosten als auch die Heizstromkosten liegen im hohen Bereich.

Die Kombination aus Gas-Brennwertkessel und Luft-Wärmepumpe stellt eine Versorgungsalternative zum Kesseltausch dar: Die CO₂-Emissionen liegen auch bei aktuellen Emissionsfaktoren schon deutlich unter der Kesseltausch-Variante. Mit zunehmender Dekarbonisierung von Strom wird sich dieser Effekt verstärken. Für das Wohnungsunternehmen entstehen im Vergleich zum Kesseltausch mit Berücksichtigung von Förderung um 33.000 € netto höhere Investitionskosten. Die Mieter profitieren von den im Wirtschaftlichkeitsvergleich günstigsten Betriebskosten. Zudem minimiert die Hybridanlage das Risiko steigender CO₂-Preise und steigender Brennstoff- und Strompreise. Eine Dezentralisierung der Trinkwarmwasserbereitung ist trotz des hohen Verteilungsaufwands zum jetzigen Zeitpunkt weder für das Wohnungsunternehmen noch für die Mieter ökologisch und wirtschaftlich empfehlenswert.

2.3 Zusammenfassung Solarstromerzeugung Objekt BS-B23

Der Standort ist für die Solarstromerzeugung bedingt geeignet, da die verfügbaren Dachflächen teilweise durch Laubbäume verschattet sind und die spezifischen Erträge unter 800 kWh/kWp liegen. Die mögliche Solarstromerzeugung könnte den Haushaltsstrom und Alltagsstrom ohne Berücksichtigung von Heizstrom bilanziell annähernd abdecken. Zu den derzeitigen energierechtlichen Rahmenbedingungen wird sich voraussichtlich kein Dienstleistungsunternehmen finden, dass die Belieferung der Wohnungen mit Mieterstrom übernimmt. Insgesamt empfiehlt sich, die Solarenergieerzeugung bei anstehenden Dachsanierungen immer auf Umsetzbarkeit zu prüfen und Projekterfahrungen mit Mieterstrom zu sammeln. Besonders geeignet sind große Liegenschaften ab 25 Wohnungen mit kostengünstig installierbaren Modulen an ertragreichen Standorten. Der zukünftig verstärkte Einsatz von Wärmepumpen erhöht die Eigenverbrauchsquote von lokal erzeugtem Solarstrom und wirkt sich günstig auf die Wirtschaftlichkeit aus.

2.4 Projektübergreifender Erkenntnisgewinn für die Einsatzbedingungen von Wärmepumpenanlagen im Geschosswohnungsbau

Mit Einführung der CO₂-Bepreisung ab 1.01.2021 und Anpassung der Förderbedingungen im „Heizen mit Erneuerbaren Energien“-Programm des BAFA seit 1.01.2020 haben sich die Rahmenbedingungen für die Planung von Heizungssystemen signifikant geändert. Der Vergleich von Gasbrennwert-, Hybrid- und Wärmepumpenanlage lässt für Geschosswohnungsbauten mit mindestens mittlerer Gebäudeeffizienz und zentraler Trinkwarmwasserbereitung folgende Schlussfolgerungen zu:

- Aus Mieterperspektive ergeben sich mit Einführung der CO₂-Bepreisung erstmals günstige Einsatzbedingungen für Hybridanlagen. Die durch das Heizsystem bedingten Betriebskosten sind konkurrenzfähig zu fossilen Gasheizungsanlagen. Das ist eine wichtige Grundvoraussetzung für den Wärmepumpeneinsatz im Geschosswohnungsbau.
- Aus Perspektive der Wohnungswirtschaft werden die Mehrkosten für Heizsysteme mit Wärmepumpen im Vergleich zum einfachen Kesseltausch zwar abgepuffert aber nicht vollständig aufgefangen. Weitere Aspekte können den Einsatz von Wärmepumpenanlagen begünstigen: Das Erreichen eines KfW-Effizienzhaus-Standards durch den Einsatz von Wärmepumpentechnologie kann die Wirtschaftlichkeit entscheidend zugunsten der Hybridanlage verbessern. Eine Gebäudeeffizienz im guten Bereich und dezentrale Trinkwarmwasserbereitung begünstigen den Einsatz von Wärmepumpenanlagen, da unter diesen Rahmenbedingungen gute Jahresarbeitszahlen erreichbar sind.
- Der Wärmepumpeneinsatz im Geschosswohnungsbau bringt Herausforderungen hinsichtlich der Schallemissionen und ggf. optische Beeinträchtigungen mit sich. Bei zukünftigen Wärmepumpenstandorten sollten mögliche Aufstellorte frühzeitig bei der Außenanlagenplanung berücksichtigt werden.

Die Stärken und Schwächen der Versorgungsalternative zur Variante Kesseltausch lassen sich wie folgt zusammenfassen:

	Zentrale Hybridanlage mit Gas-BWK und Luft-Wasser-WP für Hgz und TWW
Definition	Hybridanlage mit Gas-Brennwertkessel und Luftwasser-Wärmepumpe zur zentralen Raumheizung und Trinkwarmwasserbereitung
Treibhausgasemissionen	Der Brennstoffeinsatz für den Gas-Brennwertkessel und der Heizstrom für die Wärmepumpe verursachen verringerte Treibhausgasemissionen im Vergleich zum Standardsystem Gas-BWK.
Stärke	<ul style="list-style-type: none"> ▪ günstige Betriebskosten für die Mieter ▪ Absicherung vor steigenden Betriebskosten durch CO₂-Bepreisung und steigende Brennstoff- bzw. Stromkosten
Schwäche	<ul style="list-style-type: none"> ▪ erhöhte Investitionskosten im Vergleich zum Standardsystem Gas-BWK ▪ erhöhter Platzbedarf in der Heizzentrale und ggf. zur Außenaufstellung im Vergleich zum Standardsystem Gas-BWK ▪ Herausforderung Schallemissionen
Einsatzempfehlung	<p>Bestand:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Notwendige Voraussetzung: mindestens mittlere Gebäudeeffizienz und Absenken der Vorlauftemperatur auf 55 °C ▪ insbesondere geeignet für Standorte mit Schritt-für-Schritt-Sanierungsstrategie <p>Keine Einsatzempfehlung im Neubau: Für Liegenschaften mit sehr guter Gebäudeeffizienz sind monovalente oder monoenergetische Systeme zu bevorzugen.</p>

Abbildung 2 Stärken-Schwächen-Analyse für Hybridanlage mit Gas-BWK und Luft-Wasser-WP

3 Beschreibung Liegenschaften

Die drei untersuchten Wohnblöcke aus dem Stadtteil Lindenbergssiedlung liegen im Südosten Braunschweigs. Ein Wärmenetz ist nicht vorhanden. Aufgrund der Randlage unmittelbar an der A39 mit eher kleinteiliger Nachbarbebauung aus Einfamilienhäusern, Reihenhäusern und kleinen Mehrfamilienhäusern ist der Standort nicht geeignet für die Umsetzung eines Wärmenetzes im Stadtteil.



Abbildung 3 Überblick Liegenschaften, BS-B19, BS-B21, B-B23

3.1 Vor der Modernisierung

Die Liegenschaften wurden 1964 mit jeweils 2, 3 und 4 Hauseingängen errichtet. Die obersten Geschossdecken wurden 1990 mit 5 bis 8 cm Polystyrol-Dämmung versehen, die Fenster sind isolierverglast.

Die Wärmeerzeugung erfolgt gebäudezentral je Wohnblock mittels atmosphärischer Gaskessel aus dem Jahr 1992. Aus der Heizzentrale werden die Wohnungen mit Wärme zur Raumheizung und mit Trinkwarmwasser versorgt. Das Verteilnetz ist als Steigestrangtyp mit Verteilung unter der Kellerdecke ausgebildet und wurde bisher nicht saniert. Insgesamt sind vier Wärme abgebende Leitungen vorhanden: Heizungsvor- und Rücklauf sowie der Trinkwarmwasservorlauf und die Zirkulation.



Abbildung 4 Liegenschaften vor der Modernisierung

3.2 Energetische Modernisierung ab 2015

Alle Gebäude erhielten zwischen 2015 und 2016 eine Außenwanddämmung, die als 14 cm dickes Wärmedämmverbundsystem aus Polystyrol ausgeführt wurde.



Abbildung 5 Liegenschaften nach der Modernisierung: Objekt BS-B19 mit WDVS und Gas-BWK

In den Liegenschaften BS-B19 und BS-B21 fand eine Heizungserneuerung statt. Folgende Heizungsanlagen wurden neu installiert:

- BS-B-19: Gas-Brennwertkessel Viessmann Vitocrossal 300 12-60 kW, 750-Liter-Pufferspeicher Vitocell-100-E, Viessmann Vitotrans 353 Frischwasserstation
- BS-B-21: 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

In der Liegenschaft BS-B-23 steht die Erneuerung der 1992 installierten Heizungsanlage mit zwei atmosphärischen Gaserzeugern noch an.

4 EAV-Analyse

Zur Gebäude- und Erzeugerbewertung stehen Wärmemengenzähler-Werte von Heizstrang, Trinkwarmwasser und Gaszähler im monatlichen Intervall zur Verfügung.

4.1 Ergebnisse Bestand

Die Ergebnisse der Gebäude-EAV entsprechen üblichen Kennwerten von Bestandsgebäuden der Altersklasse 1958-1968. Die Gebäudeeffizienz liegt durchgängig im schlechten Bereich, die Wärmeabnahme im Sommer ist überdurchschnittlich hoch. Der Trinkwarmwassersockel von 38 kWh/(m²a) liegt über dem Durchschnittswert gemäß Techem-Report mit 32 kWh/(m²a) für Objekte mit zentraler Trinkwarmwasserbereitung und Auswertung des Warmwasser-Zählers [1].

Objekt	Beschreibung	beheizte Wohnfläche	Heizung	Gesamtwärme	Heizwärme	Sommerheizung	Sockelwärme	h-Wert	Heizgrenze	Heizlast	spez. Heizlast	Bemerkung
		A _{EAF}		q _{ges}	q _H	q _{H,Sommer}	q _{Socket}	h	t _{HG}	Klimadaten n. DIN EN SPEC 12831	Klimadaten n. DIN EN SPEC 12831	
		m ²		kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	W/(m ² K)	°C	kW	W/m ²	
BS-B19	1964 - (Bestand mit 15 Wohnungen)	900	Gas-kessel	171	125	5	41	2,08	16,1	59	66	Gebäudeeffizienz schlecht, hoher Sockelverbrauch
BS-B21	1964 - (Bestand mit 18 Wohnungen)	1.226	Gas-kessel	152	112	3	37	1,93	15,8	75	61	Gebäudeeffizienz schlecht, hoher Sockelverbrauch
BS-B23	1964 - (Bestand mit 24 Wohnungen)	1.523	Gas-kessel	133	94	2	37	1,83	14,7	88	58	Gebäudeeffizienz schlecht, hoher Sockelverbrauch
Gesamtes Quartier		3.649		149	108	3	38	1,93	15	222	61	

Abbildung 6 Ergebnisse Gebäude-EAV 2014 (unmodernisierter Bestand)

Die Ergebnisse der Erzeuger-EAV's sind gekennzeichnet durch ungünstige Brennwert-bezogene Jahresnutzungsgrade von um die 70 % und hohe Erzeugerverluste von 68 kWh_(HS)/(m²a).

Objekt	Heizung	Typ	Baujahr Heizung	Produktkennwerte		Messwerte (Brennwert-bezogen)					
				Nennwärmeleistung	Kesselwirkungsgrad	Brennstoffeinsatz	Kesselwirkungsgrad	Bereitungsverlust	Jahresnutzungsgrad	Jahresnutzungsgrad Heizperiode	Jahresnutzungsgrad Sommer
				Q _{N(HS)}	η _(HS)	q _{E, fossil(HS)}	η _(HS)	Q _{B(HS)}	JNG _(HS)	JNG _{HP(HS)}	JNG _{Sommer(HS)}
kW	%	kWh _{HS} /(m ² a)	%	%	%	%	%				
BS-B19	Atmosphärischer Gaskessel	2 x Hydro-Therm ET-34	1992	68	unbekannt	246	72	0,9	71	71	67
BS-B21	Atmosphärischer Gaskessel	2 x Hydro-Therm ET-34	1992	68	unbekannt	222	73	2,8	69	70	58
BS-B23	Atmosphärischer Gaskessel	2 x Hydro-Therm ET-34	1992	68	unbekannt	197	72	2,8	68	69	59
				mittlerer Brennstoffeinsatz		217	mittlerer JNG _(HS)		69		

Abbildung 7 Erzeuger-EAV 2014 (Erzeuger Baujahr 1992)

4.2 Energetische Modernisierung

Nach der Modernisierung liegt die Gebäudeeffizienz in allen Liegenschaften im mittleren Bereich. Die Heizgrenze hat sich erhöht und liegt mit 17 °C im erhöhten Bereich modernisierter Liegenschaften. Die Sommerheizung beträgt 3 kWh/(m²a). Es wird empfohlen, die Aktivierung von Sommersparfunktionen zu prüfen: Im Objekt BS-B19 bietet die Kesselsteuerung die Möglichkeit, eine Temperaturgrenze festzulegen, ab der die Heizkreispumpe ausgeschaltet wird.

Der Trinkwarmwassersockel beträgt in der Liegenschaft BS-B19 ungewöhnlich hohe 55 kWh/(m²a), während der Trinkwarmwassersockel sich in den beiden anderen Liegenschaften auf ähnlichem Niveau wie vor der Sanierung bewegt.

Objekt	Beschreibung	beheizte Wohnfläche	Heizung	Gesamtwärme	Heizwärme	Sommerheizung	Sockelwärme	h-Wert	Heizgrenze	Heizlast	spez. Heizlast	Bemerkung
		A _{EBF}		q _{ges}	q _H	q _{H,Sommer}	q _{Socket}	h	t _{HG}	Klimadaten n. DIN EN SPEC 12831	Klimadaten n. DIN EN SPEC 12831	
		m ²		kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	W/(m ² K)	°C	kW	W/m ²	
BS-B19	1964 - (AW, neuer Gas-BWK nach Optimierung)	900	Gas-BWK	150	91	3	55	1,48	16,3	42	47	Gebäudeeffizienz mittel, hoher Sockelverbrauch
BS-B21	1964 - (AW, neuer Gas-BWK)	1.226	Gas-BWK	112	74	3	35	1,15	16,8	44	36	Gebäudeeffizienz mittel
BS-B23	1964 - AW(2016)	1.523	Gas-kessel	109	67	2	39	1,06	16,6	51	33	Gebäudeeffizienz mittel, hoher Sockelverbrauch
Gesamtes Quartier		3.649		120	75	3	42	1,19	17	137	38	

Abbildung 8 Ergebnisse Gebäude-EAV 2017 nach Umsetzung Außenwanddämmung

Mit den Werten der Warmwasserzähler in den Wohnungen lässt sich die gezapfte Wärmemenge abschätzen siehe Abbildung 9. Die Werte liegen zwischen 17 bis 20 kWh/(m²a) in allen Liegenschaften auf ähnlichem Niveau, während der hohe Verteilungsaufwand von 35 kWh/(m²a) im Objekt BS-B19 hervorsteht. Da der Aufbau des Verteilnetzes in allen Liegenschaften ähnlich ist, könnte eine Ursache für den überhöhten Sockelverbrauch in Dämmrücken der Rohrleitungen liegen.

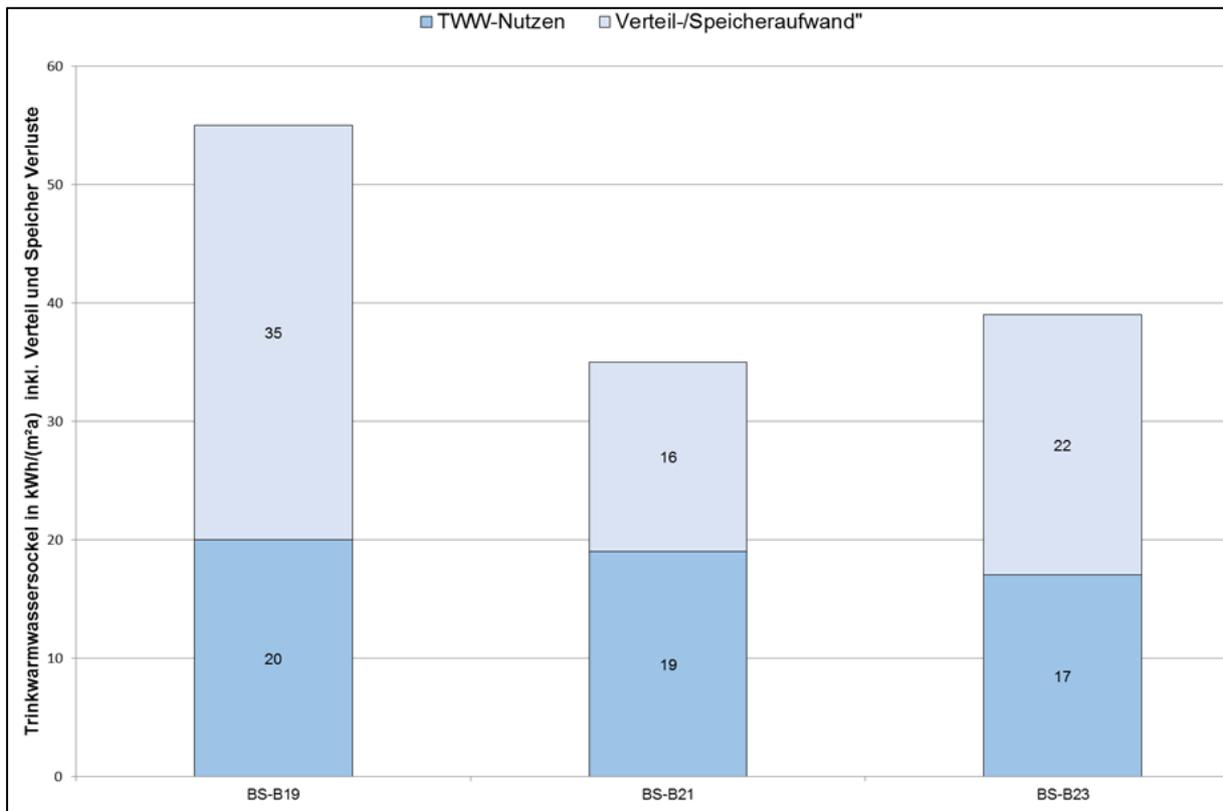


Abbildung 9 Trinkwarmwasser-Nutzen und Verteil- und Speicheraufwand (2017)

In den Liegenschaften mit Heizungserneuerung haben sich die Brennwert-bezogenen Jahresnutzungsgrade auf 87 bzw. 84 % verbessert.

Objekt	Heizung	Typ	Baujahr Heizung	Produktkennwerte		Messwerte (Brennwert-bezogen)						
				Nennwärmeleistung	Kesselwirkungsgrad	Brennstoffeinsatz	Kesselwirkungsgrad	Bereitstellung	Jahresnutzungsgrad	Jahresnutzungsgrad Heizperiode	Jahresnutzungsgrad Sommer	
				$Q_{N(H)}$	$\eta_{(H)}$	$q_{E, fossil(H)}$	$\eta_{(H)}$	$q_{B(H)}$	JNG _{(H)}}	JNG _{HP(H)}}	JNG _{Sommer(H)}}	
				kW	%	kWh _{Heiz} /(m²a)	%	%	%	%	%	
BS-B19	Gas-BWK	Viessmann Vitocrossal 300	2015	56	97	173	89	0,9	87	87	84	
BS-B21	Gas-BWK-Kaskade	Junkers Cerapur 9000 i in Kaskade	2016	70	89	135	84	0,2	84	84	83	
BS-B23	Atmosphärischer Gaskessel	2 x Hydro-Therm ET-34	1992	68	unbekannt	160	68	1,9	68	69	63	
				mittlerer Brennstoffeinsatz		155	mittlerer JNG _(H)		78			

Abbildung 10 Erzeuger-EAV 2017 nach Umsetzung von Heizungserneuerungen in BS-B19 und BS-B21

5 Wärmeversorgungskonzept Objekt BS-B23

Die Einführung der CO₂-Bepreisung ab 1. Januar 2021 und die Anpassungen der Förderangebote von BAFA und KfW setzen neue Rahmenbedingungen für Heizsysteme. Für die Liegenschaft BS-B23 wird untersucht, inwieweit sich die Einsatzbedingungen für Wärmepumpenanlagen im Geschosswohnungsbau verbessert haben.

5.1 Wärmeversorgungsvarianten

Die Liegenschaft BS-B23 wird mit einer 28 Jahre alten Gasheizung versorgt. Für die Heizungserneuerung werden folgende Versorgungsalternativen betrachtet:

- Var.1 Gas-BWK-zentral/TWW-zentral: Gas-Brennwertkessel zur zentralen Raumheizung und Trinkwarmwasserbereitung
- Var. 2 Gas-BWK-zentral/TWW-EDE: Gas-Brennwertkessel zur zentralen Raumheizung, dezentrale Trinkwarmwassererwärmung mittels elektronisch geregelten Durchlauferhitzern
- Var.3 Luft-WP-zentral/TWW-zentral: Luft-Wasser-Wärmepumpe zur zentralen Raumheizung und Trinkwarmwasserbereitung
- Var. 4 Luft-WP-zentral/TWW-EDE: Luft-Wasser-Wärmepumpe zur zentralen Raumheizung, dezentrale Trinkwarmwassererwärmung mittels elektronisch geregelten Durchlauferhitzern
- Var.5 Luft-WP+Gas-BWK zentral/TWW-zentral: Hybridanlage mit Luft-Wasser-Wärmepumpe und Gas-Brennwertkessel zur zentralen Raumheizung und Trinkwarmwasserbereitung
- Var.6: Luft-WP+Heizstab-zentral/TWW-zentral: monoenergetische Heizungsanlage mit Luft-Wärmepumpe und Elektro-Heizstab zur zentralen Raumheizung und Trinkwarmwasserbereitung
- Var.7: Sole-WP-zentral/TWW-zentral: Sole-Wasser-Wärmepumpe zur zentralen Raumheizung und Trinkwarmwasserbereitung

5.2 Investitionskosten Wärmeversorgungsvarianten

5.2.1 Var.1: Gas-BWK-zentral/TWW-zentral – Kostenindikation

Variante 1 stellt das derzeit am häufigsten eingesetzte Heizsystem bei gebäudezentraler Versorgung dar.

Variante	1 Gas-BWK-zentral / TWW-zentral				
	Beschreibung	Menge	Einheit	Einzel	Gesamt
Gas-BW Kessel 60 kW	1	Stk.	9.000	9.000	375
Abgasanlage	1	psch.	5.000	5.000	208
500-Liter Trinkwasserspeicher (emailliert)	1	Stk.	2.038	2.038	85
Speicherladesystem	1	Stk.	4.000	4.000	167
Rohrleitungsinstallation	1	psch.	2.500	2.500	104
Elektroinstallation	1	psch.	1.000	1.000	42
				23.538	981
Planung/Bauaufsicht/Regie			20%	4.708	196
Summe netto Investkosten inkl. Planung				28.246	1.177

Abbildung 11 Investitionskostenschätzung: Gas-BWK-zentral/TWW-zentral (netto)

5.2.2 Var.2: Gas-BWK-zentral/TWW-EDE

Bei Variante 2 entfallen die Kosten für den zentralen Trinkwarmwasserspeicher mit Speicherladesystem. Die Kosten der Dezentralisierung werden mit 1.000 € je Wohnung abgeschätzt. Im Falle einer erforderlichen Verstärkung des Elektro-Hausanschlusses wären weitere Kosten zu berücksichtigen. Elektro-Kleinspeicher als Alternative zu Durchlauferhitzern stellen keine Handlungsoption dar, da die nur rund vier Quadratmeter großen Bäder keinen Platz zur Installation bieten.

Variante	2	Gas-BWK-zentral / TWW-EDE					
		Beschreibung	Menge	Einheit	Einzel	Gesamt	Kosten je Whg
		Gas-BW Kessel 60 kW	1	Stk.	9.000	9.000	375
		Abgasanlage	1	psch.	5.000	5.000	208
		Rohrleitungsinstallation	1	psch.	2.500	2.500	104
		Elektroinstallation	1	psch.	1.000	1.000	42
		elektrische Durchlauferhitzer	24	Whg	500	12.000	500
		Maurer- und Malerarbeiten	24	Whg	500	12.000	500
						41.500	1.729
Planung/Bauaufsicht/Regie					20%	8.300	346
Summe netto Investkosten inkl. Planung						49.800	2.075

Abbildung 12 Investitionskostenschätzung: Gas-BWK-zentral/TWW-EDE (netto)

5.2.3 Var.3: Luft-WP-zentral/TWW-zentral

Variante 3 stellt eine monovalente Wärmeversorgung durch eine Luft-Wasser-Wärmepumpe dar. Notwendige Voraussetzung dieser Variante ist ein Absenken der Vorlauftemperatur auf 55 °C. Hierzu ist eine detaillierte Aufnahme der Heizkörper erforderlich. In der Kostenindikation wird davon ausgegangen, dass die installierten Heizkörperflächen ausreichen, um ein Absenken der Vorlauftemperatur ohne Heizkörperaustausch zu ermöglichen. Nachteil von Luft-Wasser-Wärmepumpen ist die Abnahme der Heizleistung bei sinkenden Außentemperaturen vgl. Abbildung 13: Die Nennwärmeleistung von 60 kW reduziert sich um den Faktor 2 bei Auslegungstemperatur, gleichzeitig sinkt die Leistungszahl auf nur 1,9. Aufgrund des starken Leistungsabfalls ist der Einsatz von zwei Modulen erforderlich, um Spitzenlasten abdecken zu können.

Die Investitionskosten erhöhen sich dadurch erheblich siehe Abbildung 14. Ein BAFA-Förderzuschuss für den Einsatz von Luft-Wasser-Wärmepumpenanlagen im Bestand kann nicht in Anspruch genommen werden, weil eine Jahresarbeitszahl von 3,0 erreicht wird. Gemäß BAFA-Förderanforderung muss im Bestand eine Jahresarbeitszahl von 3,5 erreicht werden [2]. Erschwerend kommt hinzu, dass die Geräte zur Außenaufstellung im Blickfeld der Mieter zwischen zwei MFH-Blöcken platziert werden müssen. Neben der optischen Beeinträchtigung durch zwei Module sind voraussichtlich weitere Schallschutzmaßnahmen zur Einhaltung der Vorgaben der TA-Lärm erforderlich.

Variante 3 stellt unter den gegebenen Randbedingungen kein zur Umsetzung empfohlenes Anlagenkonzept dar.

5.2.4 Var.4: Luft-WP-zentral/TWW-EDE

In Variante 4 umfasst eine Luft-Wasser-Wärmepumpe zur zentralen Raumheizung sowie eine dezentrale Trinkwarmwasserbereitung mittels elektronisch geregelten Durchlauferhitzern. Wie in Variante 2 sind die Kosten der Dezentralisierung mit 1.000 €/je Wohnung abgeschätzt. Im Falle einer erforderlichen Verstärkung des Elektro-Hausanschlusses wären weitere Kosten zu berücksichtigen. Notwendige Voraussetzung dieser Variante ist ein Absenken der Vorlauftemperatur auf 55 °C.

Hierzu ist eine detaillierte Aufnahme der Heizkörper erforderlich. In der Kostenindikation wird davon ausgegangen, dass die installierten Heizkörperflächen ausreichen, um ein Absenken der Vorlauftemperatur ohne Heizkörperaustausch zu ermöglichen. Vorteilhaft an Variante 4 ist, dass für die Raumheizung eine Jahresarbeitszahl von 3,5 erreicht wird und damit ein BAFA-Zuschuss in Höhe von rund 40.000 € für die Wärmepumpenanlage in Anspruch genommen werden kann. Darüber hinaus entfällt der Verteilungsaufwand für Trinkwarmwasser. Wie bei Variante 3 besteht allerdings das Problem, dass bei monovalentem Betrieb zwei Wärmepumpen-Module eingesetzt werden müssen, um die erforderliche Leistung bei niedrigen Außentemperaturen abbilden zu können. Aufgrund der optischen Beeinträchtigung und Geräuschentwicklung wird diese Variante nicht zur Umsetzung empfohlen.

Variante	4	Luft-Wasser-Wärmepumpe / TWW-dezentral elektrisch			
Beschreibung	Menge	Einheit	Einzel	Gesamt	Kosten je Whg
Luft / Wasser WP	2	Stk.	35.000	70.000	2.917
Fundament Luft / Wasser WP	1	psch.	1.500	1.500	63
Leitungsinstallation WP zu Keller (Annahme ca. 20m)	1	psch.	8.000	8.000	333
Außenwanddurchführung	2	Stk.	350	700	29
Plattenwärmeübertrager / Systemtrennung	1	Stk.	6.000	6.000	250
750-Liter-Heizwasserpufferspeicher	2	Stk.	1.502	3.004	125
Zubehör Heizwasserpufferspeicher (Fühler, Wärmedämmkappen, etc)	2	psch.	350	700	29
Rohrleitungsinstallation	1	psch.	3.500	3.500	146
Elektroinstallation	1	psch.	2.500	2.500	104
elektrische Durchlauferhitzer	24	Whg	500	12.000	500
Maurer- und Malerarbeiten	24	Whg	500	12.000	500
				0	0
				0	0
				119.904	4.996
Planung/Bauaufsicht/Regie			20%	23.981	999
Summe netto Investkosten inkl. Planung				143.885	5.995
Zuschüsse					
BAFA-Förderung für Luft-Wasser-Wärmepumpe 35 % der förderfähigen Kosten				40.280	1.678
Summe Zuschüsse				40.280	1.678
Summe Investitionskosten netto mit Förderung				103.605	4.317

Abbildung 15 Investitionskostenschätzung: Luft-WP-zentral/TWW-EDE (netto)

5.2.5 Var.5: Luft-WP+Gas-BWK zentral/TWW-zentral

Variante 5 stellt eine bivalente Anlagenkombination aus Luft-Wasser-Wärmepumpe und Gas-Brennwertkessel zur Raumheizung und Trinkwarmwasserbereitung dar. Die Trinkwarmwasserbereitung und die Spitzenlastabdeckung erfolgen durch den Gasbrennwertkessel. Hierdurch wird für die Wärmepumpenanlage eine Jahresarbeitszahl von mindestens 3,5 erreicht und der BAFA-Förderzuschuss kann für die Hybridanlage in Anspruch genommen werden.

Zum effizienten Betrieb des Gesamtsystems ist ein Absenken der Vorlauftemperatur auf 55 °C erforderlich. Hierzu ist eine detaillierte Aufnahme der Heizkörper erforderlich. In der Kostenindikation wird davon ausgegangen, dass die installierten Heizkörperflächen ausreichen, um ein Absenken der Vorlauftemperatur ohne Heizkörperaustausch zu ermöglichen.

Abbildung 16 zeigt ein Hydraulikbeispiel der Anlage: Das durch die Wärmepumpe erzeugte Heizwasser wird zum Pufferspeicher gefördert. Von diesem wird der Heizkreis bedient. Ab dem Bivalenzpunkt wird die Verbindung zwischen Pufferspeicher und Heizkreis durch ein Dreiwegeventil gesperrt und der Gas-Brennwertkessel übernimmt direkt die Versorgung des Heizkreises.

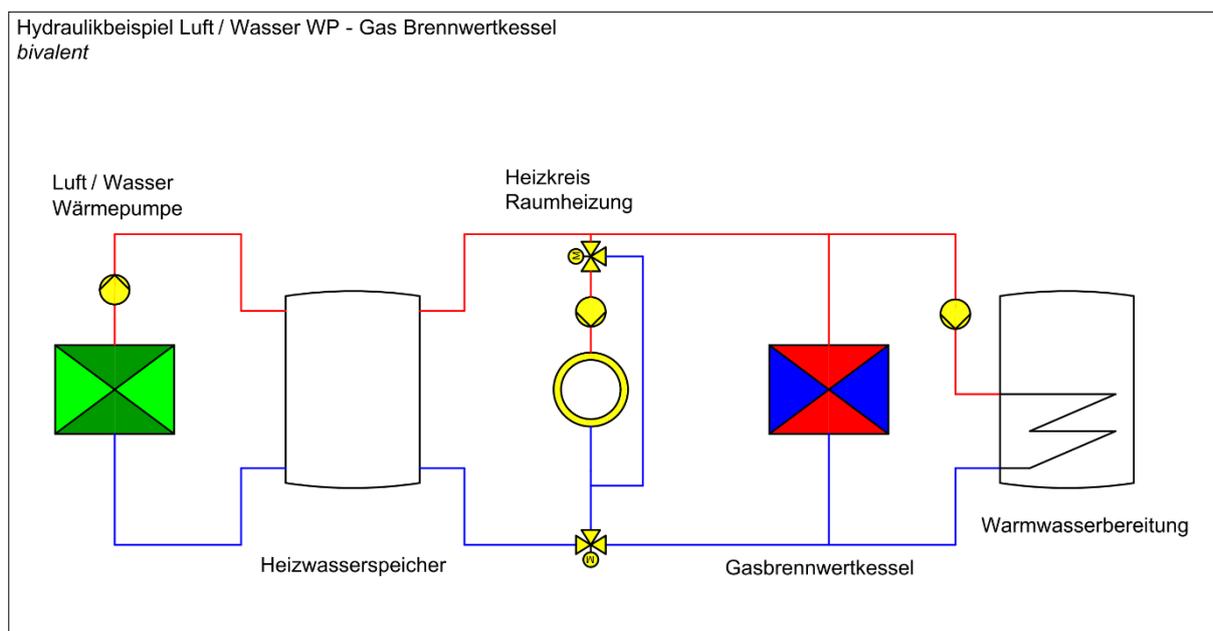


Abbildung 16 Hydraulikbeispiel Luft-WP+Gas-BWK-zentral/TWW-zentral

Variante	Luft-Wasser-Wärmepumpe + Gas-BWK //TWW-zentral				
Beschreibung	Menge	Einheit	Einzel	Gesamt	Kosten je Whg
Luft / Wasser WP	1	Stk.	35.000	35.000	1.458
Fundament Luft / Wasser WP	1	psch.	1.000	1.000	42
Leitungsinstallation WP zu Keller (Annahme ca. 20m)	1	psch.	6.000	6.000	250
Außenwanddurchführung	1	Stk.	350	350	15
Plattenwärmeübertrager / Systemtrennung	1	Stk.	4.000	4.000	167
Gas-BW Kessel 60 kW	1	Stk.	9.000	9.000	375
Abgasanlage	1	psch.	5.000	5.000	208
500-Liter Trinkwasserspeicher (emailliert)	1	Stk.	2.038	2.038	85
Speicherladesystem	1	Stk.	4.000	4.000	167
750-Liter-Heizwasserpufferspeicher	2	Stk.	1.502	3.004	125
Zubehör Heizwasserpufferspeicher (Fühler, Wärmedämmkappen, etc)	2	psch.	350	700	29
Rohrleitungsinstallation	1	psch.	4.500	4.500	188
Elektroinstallation	1	psch.	3.500	3.500	146
				78.092	3.254
Planung/Bauaufsicht/Regie			20%	15.618	651
Summe netto Investkosten inkl. Planung				93.710	3.905
Zuschüsse					
BAFA-Förderung Hybridanlage, 35 % der förderfähigen Kosten				32.799	1.367
Summe Zuschüsse				32.799	1.367
Summe Investitionskosten netto mit Förderung				60.912	2.538

Abbildung 17 Investitionskostenschätzung: Luft-WP+Gas-BWK-zentral/TWW-zentral (netto)

5.2.6 Var.6: Luft-WP+Heizstab-zentral/TWW-zentral

Variante 6 stellt eine monoenergetische Anlagenvariante mit Luft-Wasser-Wärmepumpe und Elektro-Heizstab zur Raumheizung und Trinkwarmwasserbereitung als kostengünstigste Wärmepumpen-Variante dar. Nachteil ist, dass kein BAFA-Förderzuschuss in Anspruch genommen werden kann, weil die erforderliche Jahresarbeitszahl von 3,5 nicht erreicht wird.

Zum effizienten Betrieb des Gesamtsystems ist ein Absenken der Vorlauftemperatur auf 55 °C erforderlich. Hierzu ist eine detaillierte Aufnahme der Heizkörper erforderlich. In der Kostenindikation wird davon ausgegangen, dass die installierten Heizkörperflächen ausreichen, um ein Absenken der Vorlauftemperatur ohne Heizkörperaustausch zu ermöglichen.

Abbildung 18 zeigt ein Hydraulikbeispiel der Anlage: Das durch die Wärmepumpe erzeugte Heizwasser wird zum Trinkwarmwasserspeicher und zum Pufferspeicher gefördert. Ab dem Bivalenzpunkt übernimmt der Heizstab die Warmwasser- und Heizwasserbereitung. Darüber hinaus wird der Heizstab aktiviert, wenn die Heizleistung der Wärmepumpe nicht zur Warmwasserbereitung ausreicht. Nachteilig an dieser Variante ist die schlechte Jahresarbeitszahl des Gesamtsystems und die hohe Empfindlichkeit gegenüber Mehrverbräuchen.

Hydraulikbeispiel Luft / Wasser WP - TWW zentral elektrische Nachheizung
monoenergetisch

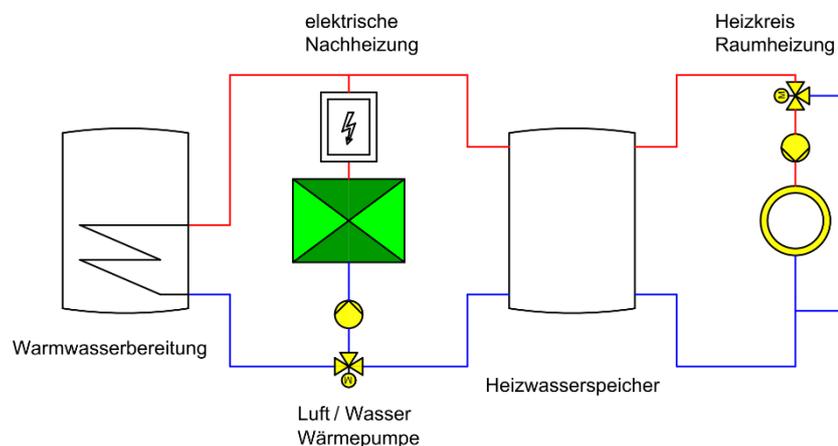


Abbildung 18 Hydraulikbeispiel Luft-WP+Heizstab/TWW-zentral

Variante	6	Luft-Wasser-Wärmepumpe + Heizstab //TWW-zentral			
Beschreibung	Menge	Einheit	Einzel	Gesamt	Kosten je Whg
Luft / Wasser WP	1	Stk.	35.000	35.000	1.458
Fundament Luft / Wasser WP	1	psch.	1.000	1.000	42
Leitungsinstallation WP zu Keller (Annahme ca. 20m)	1	psch.	6.000	6.000	250
Außenwanddurchführung	1	Stk.	350	350	15
Plattenwärmeübertrager / Systemtrennung	1	Stk.	4.000	4.000	167
el. Heizwassererwärmer	1	Stk.	2.500	2.500	104
Trinkwasserspeicher 500l, emailliert	1	Stk.	2.038	2.038	85
Speicherladesystem	1	Stk.	4.000	4.000	167
Heizwasserpufferspeicher 750 l	2	Stk.	1.502	3.004	125
Zubehör Heizwasserpufferspeicher (Fühler, Wärmedämmkappen, etc)	2	psch.	350	700	29
Rohrleitungsinstallation	1	psch.	4.500	4.500	188
Elektroinstallation	1	psch.	3.500	3.500	146
				0	0
				66.592	2.775
Planung/Bauaufsicht/Regie			20%	13.318	555
Summe netto Investkosten inkl. Planung				79.910	3.330

Abbildung 19 Investitionskostenschätzung: Luft-WP+Heizstab/TWW-zentral (netto)

5.2.7 Var.7: Sole-WP zentral/TWW-zentral

Variante 7 als monovalente Anlagenvariante mit Sole-Wasser-Wärmepumpe zur Raumheizung und Trinkwarmwasserbereitung würde einen erheblichen Eingriff in die bestehenden Außenanlagen bedeuten. Die erforderliche Gesamtlänge der Erdwärmesonden wird auf 1.890 m geschätzt. Bei einer Sondenlänge von 90 m entspräche das einer Sondenanzahl von 21. Die nutzbare Grundstücksfläche reicht zur Umsetzung nicht aus. Variante 7 wird daher nur zu allgemeinen Vergleichszwecken weiter betrachtet. Die Inanspruchnahme des BAFA-Zuschuss ist möglich, da eine Jahresarbeitszahl von 3,9 bei Vorlauftemperaturen von 55 °C erreichbar ist.

Variante	7					Sole-Wasser-Wärmepumpe // TWW zentral	
	Beschreibung	Menge	Einheit	Einzel	Gesamt	Kosten je Whg	
Sole / Wasser WP - Master	1	Stk.	22.000	22.000	22.000	917	
Sole / Wasser WP - Slave	1	Stk.	19.000	19.000	19.000	792	
Zubehör Wärmepumpe	1	psch.	5.000	5.000	5.000	208	
Pufferspeicher	2	Stk.	1.500	3.000	3.000	125	
Heizkreis	1	Stk.	3.500	3.500	3.500	146	
Frischwasserstation	1	Stk.	10.000	10.000	10.000	417	
Rohrleitungsinstallation	1	psch.	4.500	4.500	4.500	188	
Elektroinstallation	1	psch.	3.500	3.500	3.500	146	
Erdwärmesonde	1890	m	60	113.400	113.400	4.725	
Sammler und Erdleitungen	1	psch.	10.000	10.000	10.000	417	
Wärmeträgerflüssigkeit	1760	Liter	4	6.160	6.160	257	
					0	0	
					0	0	
					200.060	8.336	
Planung/Bauaufsicht/Regie			20%	40.012	40.012	1.667	
Summe netto Investkosten inkl. Planung					240.072	10.003	
Zuschüsse							
BAFA-Förderung Hybridanlage, 35 % der förderfähigen Kosten					84.025	3.501	
Summe Zuschüsse					84.025	3.501	
Summe Investitionskosten netto mit Förderung					156.047	6.502	

Abbildung 20 Investitionskostenschätzung: Sole-WP/TWW-zentral (netto)

5.2.8 Zusammenfassung Ergebnisse Investitionskosten

In Bezug auf die Investitionskosten schneidet erwartungsgemäß der Kesseltausch als „Stand der Technik Variante“ am günstigsten ab. Bei den Varianten 2 und 4 mit direktelektrischer Trinkwarmwasserbereitung erhöht die Dezentralisierung die Investitionskosten. Bei den Varianten 3, 4 und 6 mit Luft-Wärmepumpe steigen die Investitionskosten um 52.000 bis 94.000 € im Vergleich zum heutigen Standardsystem Gas-Brennwertkessel (Var. 1). Die monovalenten und monoenergetischen Wärmepumpenvarianten 3 und 6 können nicht von der BAFA-Förderung aus dem „Heizen mit Erneuerbaren Energien“-Programm profitieren, weil die erforderliche Jahresarbeitszahl von 3,5 nicht erreicht wird.

Trotz BAFA-Zuschuss liegen die Investitionskosten der Sole-Wärmepumpe um 128.000 € deutlich über dem noch üblichem Kesseltausch. Eine alternative Umsetzung stellt die Kombination aus Luft-Wärmepumpe und Gas-Brennwertkessel dar. Mit Nutzung des BAFA-Zuschusses betragen die Mehrkosten ca. 33.000 € netto.

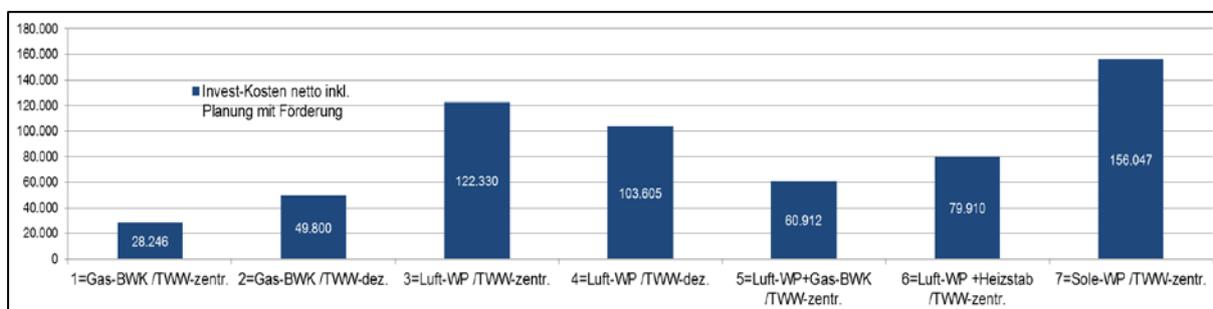


Abbildung 21 Investitionskostenschätzung Versorgungsvarianten inkl. Förderung (netto)

5.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Der Vollkostenvergleich der Wärmeversorgungsvarianten erfolgt nach der Methode von VDI 2067 für einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren und einen Kalkulationszins von 2 %. Die Auswirkungen der Wärmeversorgungsvarianten werden aktorsbezogen jeweils für das Wohnungsunternehmen und die Mieter betrachtet.

5.3.1 Rahmenbedingungen der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Energiekennwerte und Erzeugereffizienz:

- Heizwärme inkl. Verteilungsaufwand: 67 kWh/(m²a)
- Trinkwarmwasser-Nutzen: 17 kWh/(m²a)
- Trinkwarmwasser-Verteilungsaufwand: 22 kWh/(m²a)
- Hilfsstrom Heizkreislaufpumpe 180 kWh
- Hilfsstrom Zirkulation 350 kWh
- Jahresnutzungsgrad (H_s) Gaskessel Bestand (EAV-Messwert Erzeugereffizienz): 68%
- Jahresnutzungsgrad (H_s) Gas-BWK mit TWW: 85%
- Jahresnutzungsgrad (H_s) Gas-BWK ohne TWW: 87%

In den Varianten 5 und 6 wird die Luft-Wärmepumpe mit einem Gas-Brennwertkessel bzw. einem Heizstab kombiniert. Mit Hilfe der Jahresdauerlinie der Liegenschaft wird der Bivalenzpunkt bei -2 °C festgelegt. Die zugehörige Heizleistung kann von einem Modul abgedeckt werden. Der Deckungsanteil des Gas-Erzeugers bzw. Heizstab beträgt etwa 5 %.

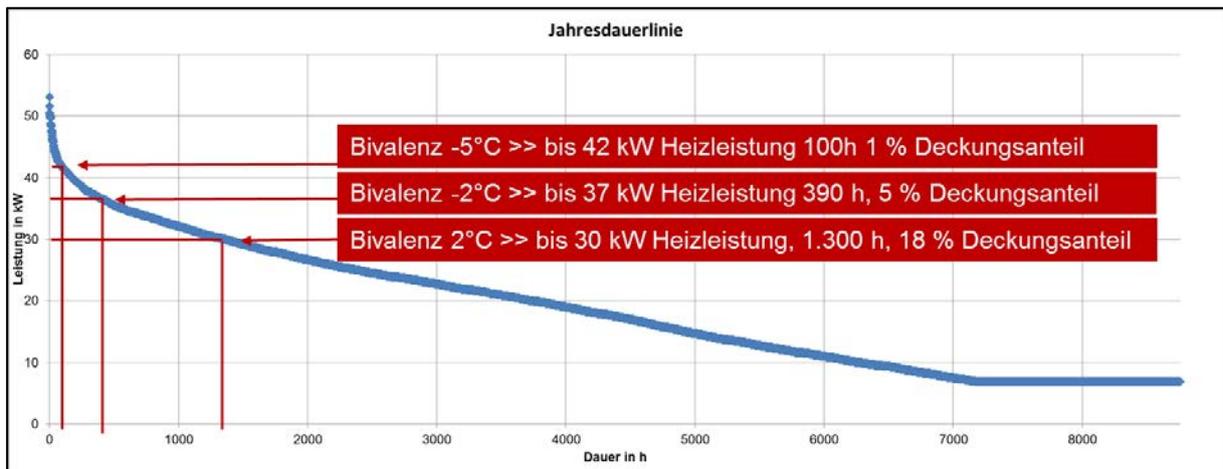


Abbildung 22 Jahresdauerlinie Objekt BS-B23

- Var. 3: Jahresarbeitszahl Luft-Wärmepumpe mit TWW (monovent): 3,0
- Var. 4: Jahresarbeitszahl Luft-Wärmepumpe ohne TWW (monovent): 3,5
- Var. 5: Jahresarbeitszahl Luft-Wärmepumpe ohne TWW (bivalent): 3,7
- Var. 6: Jahresarbeitszahl Luft-Wärmepumpe mit TWW (monoenergetisch): 2,6
- Var. 7: Jahresarbeitszahl Sole-Wärmepumpe mit TWW (monovent): 3,9

Energiepreise:

- Erdgas-Nettopreis: 5,5 Ct/kWh
- Haushaltsstrom-Nettopreis: 25 Ct/kWh
- Preisänderung Energiepreise: 3 % jährlich

CO₂-Preis:

Abbildung 23 zeigt die Entwicklung des CO₂-Bepreisung in den 2021 bis 2025 gemäß den Beschlüssen von Bundesrat und Bundestag im Rahmen des Klimapakets. In den folgenden 15 Jahren ist als Schätzwert einheitlich ein Wert von 55 €/t angesetzt.

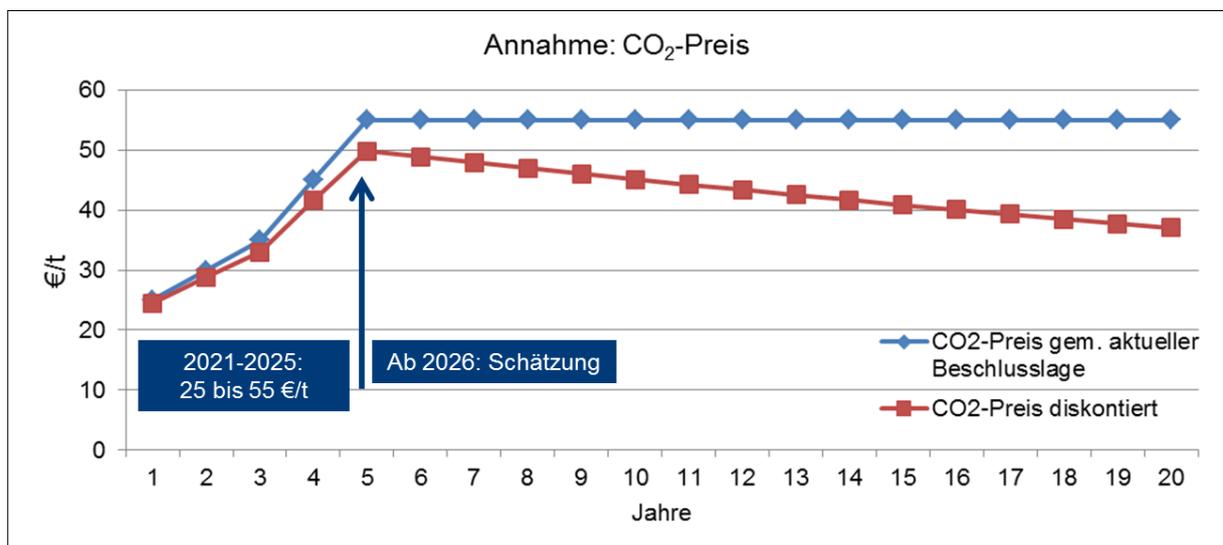


Abbildung 23 Entwicklung CO₂-Bepreisung

Treibhausgase in CO₂-Äquivalenten nach [3]:

- Erdgas: 231 g/kWh_(HI)
- Strom Inland: 505 g/kWh

Betriebskosten (Netto-Werte):

- Instandsetzung: 1 % der Investition Heizsystem
- Wartung/Inspektion: 500 €/a (Var. 1,2), 700 €/a (Var.3,4,6), 1.000 €/a (Var. 5,7) Schätzwerte
- Messdienstleistung: 70 € je Wohnung für Gerätemiete/Ablesung/Abrechnung

5.3.2 Ergebnisse Wirtschaftlichkeitsberechnung

Im Vollkostenvergleich schneidet die Variante Kesseltausch aufgrund der geringen Investitionskosten am günstigsten ab, während Variante 6 mit Luft-Wärmepumpe und Heizstab aufgrund der hohen Stromkosten die höchsten Vollkosten aufweist.

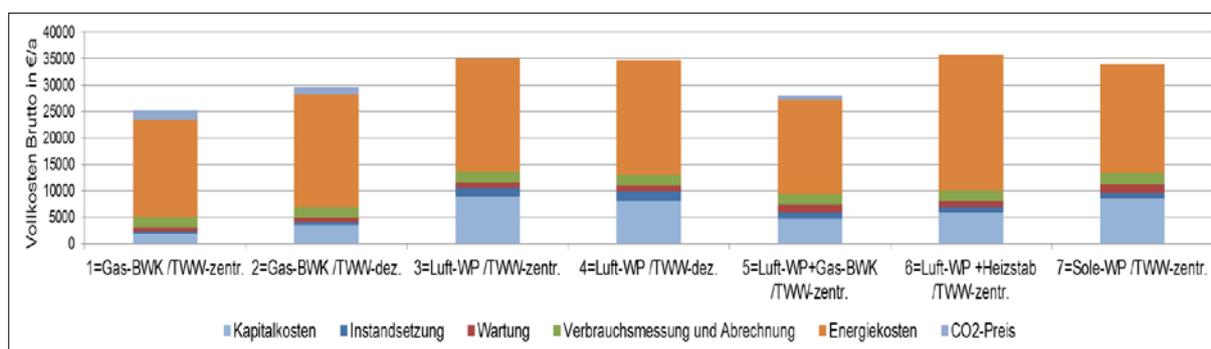


Abbildung 24 Vollkostenvergleich Wärmeversorgungsvarianten

Die Bestandsvariante verursacht Vollkosten von rund 28.000 € jährlich. Die Modernisierungsvarianten 1 (Kesseltausch) und 5 (Hybridanlage) erreichen geringere Vollkosten. Aus Perspektive des Wohnungsunternehmens liegen die Kapital- und Instandsetzungskosten beim Kesseltausch am niedrigsten. Bei Umsetzung der Hybridanlage entstehen um den Faktor 3 höhere Kosten beim Wohnungsunternehmen. Mit rund 10.000 €/a sind die Kosten bei den monovalenten Wärmepumpen-Varianten 3, 4 und 7 am höchsten. Die hohe BAFA-Bezuschussung in Höhe von 35 % wirkt sich günstig auf die Kapitalkosten aus. Bei Variante 7 wirkt sich darüber hinaus die lange Nutzungsdauer der Erdsondenanlage mit Restwertberücksichtigung kostenmildernd aus.

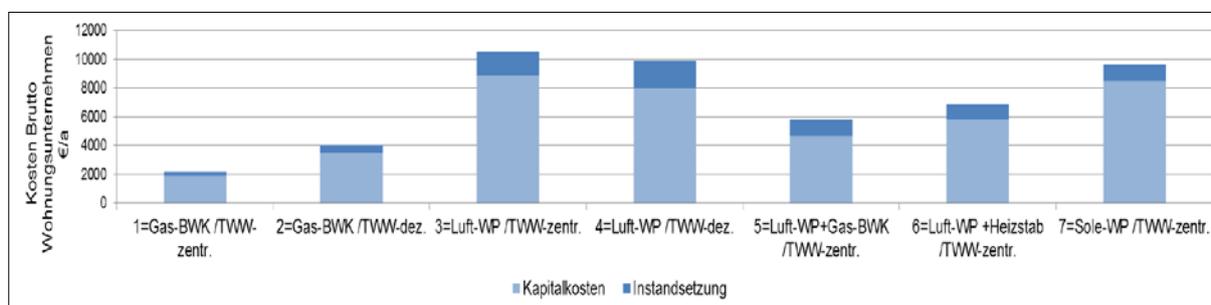


Abbildung 25 Wirtschaftlichkeit aus Perspektive des Wohnungsunternehmens

Über den Betrachtungszeitraum von 20 Jahren verhalten sich die jährlichen Kosten für das Wohnungsunternehmen relativ konstant, weil die gleichbleibenden Annuitäten der Kapitalkosten dominierend sind.

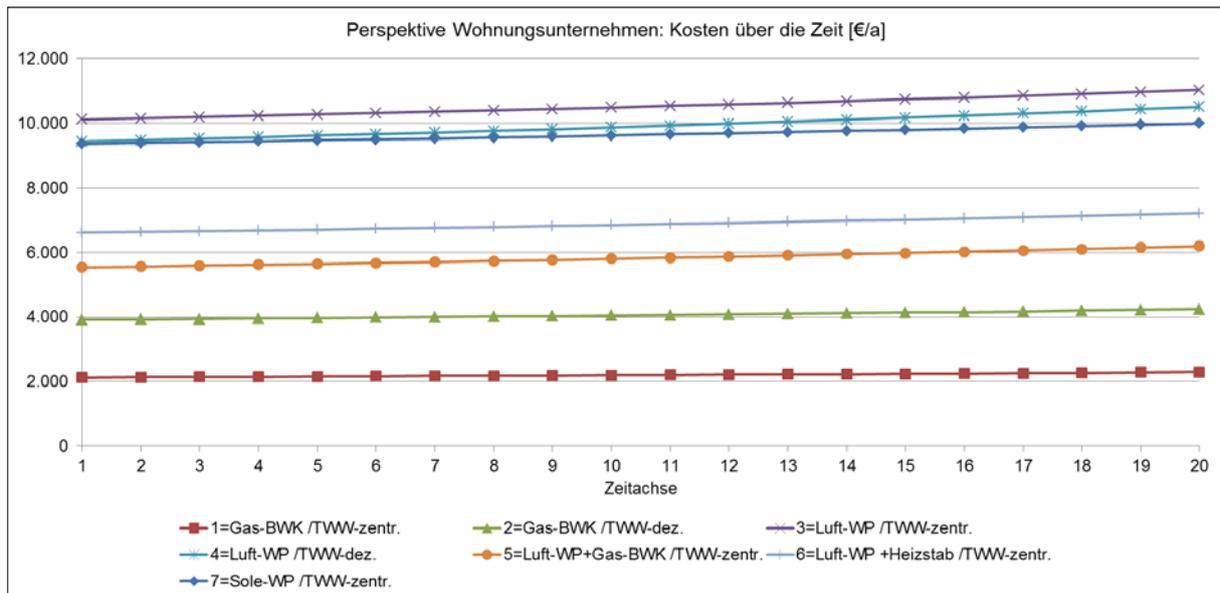


Abbildung 26 Kosten Wohnungsunternehmen über den Betrachtungszeitraum

Aus Mieterperspektive sind die Kosten für Wartung, Verbrauchsmessung und –abrechnung sowie Energiekosten und CO₂-Preis relevant. Der Einstieg in die CO₂-Bepreisung wirkt sich kostenerhöhend auf Varianten mit Gaserzeugung aus, so dass die Hybridanlage am günstigsten abschneidet. Bedingt durch die ungünstige Erzeugereffizienz und die hohen Stromkosten ergeben sich bei der monoenergetischen Variante 6 die höchsten Mieterkosten.

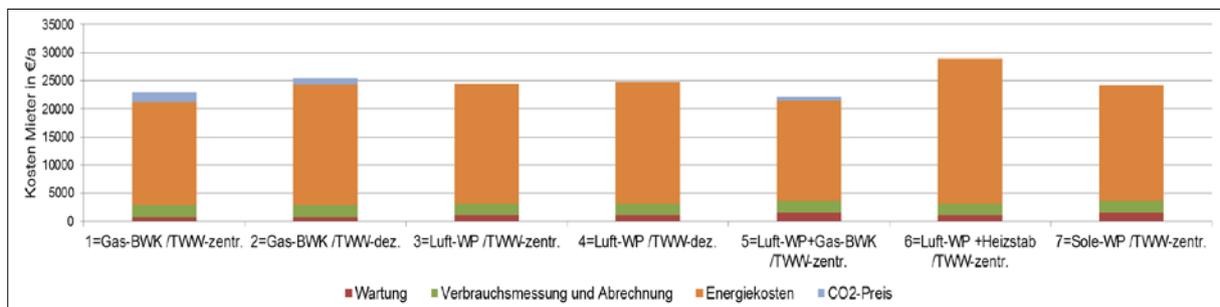


Abbildung 27 Wirtschaftlichkeit aus Mieterperspektive

Über den Betrachtungszeitraum von 20 Jahren wirkt sich die bei den Mietern die Annahme einer jährlichen 3%igen Preissteigerung und der schrittweise Anstieg der CO₂-Bepreisung in den Jahren 2021 bis 2025 aus. Die Ergebnisse sind durch hohe Unwägbarkeiten in der Entwicklung der Energiepreise und CO₂-Bepreisung geprägt. Bei Ansatz einer CO₂-Bepreisung in Höhe von 180 €/je Tonne zur Abbildung von Umweltschäden nach den Empfehlungen des Umweltbundesamtes würde sich die Hybridanlage noch deutlicher von der Kesseltausch-Variante absetzen siehe Abbildung 29.

Im Vergleich zu den Ist-Kosten in Höhe von monatlich 1,15 €/je Quadratmeter schneidet die Variante mit Luft-Wärmepumpe+Heizstab sogar noch ungünstiger ab.

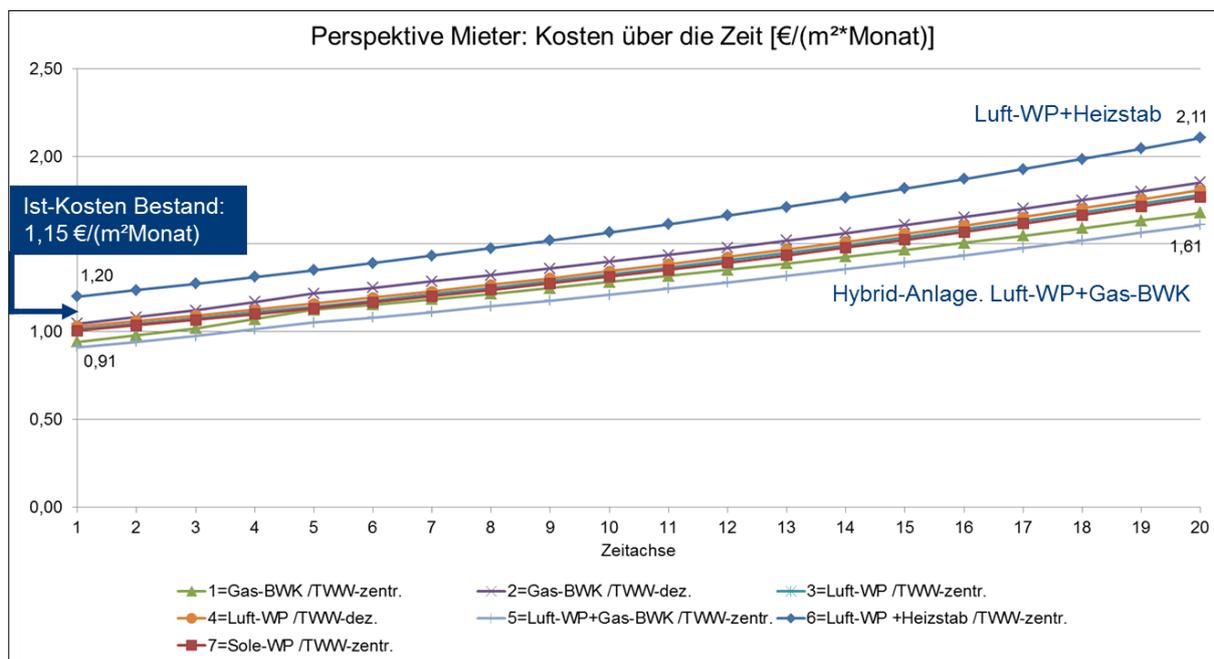
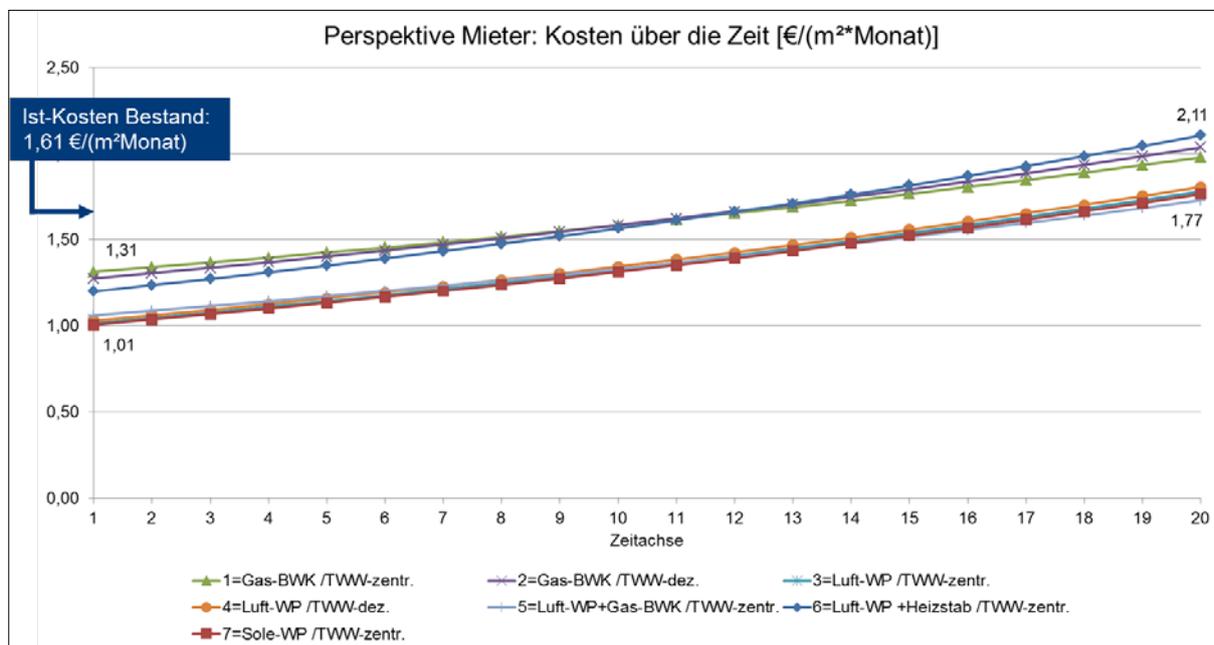


Abbildung 28 Mieterkosten über den Betrachtungszeitraum

Ein CO₂-Preis von 180 €/t wäre insbesondere in der Bestandsvariante mit sehr schlechter Erzeugereffizienz des Gaskessels spürbar. Mieter einer 60-m²-Wohnung müssten mit 28 €/Monat Mehrkosten rechnen. Am günstigsten schneiden die Varianten 4, 5 und 7 ab, die die Schlüsseltechnologie Wärmepumpe einsetzen und gleichzeitig eine hohe Erzeugereffizienz erreichen.

Abbildung 29 Mieterkosten über den Betrachtungszeitraum bei Annahme eines CO₂-Preises von 180 €/t

5.3.3 Ergebnisse CO₂-Emissionen

Abbildung 30 zeigt die Wärmeversorgungsvarianten mit aktuellen CO₂-Emissionsfaktoren. Alle Varianten mit Einbindung von Wärmepumpenanlagen schneiden günstiger ab als Versorgungsvarianten mit Gas-Brennwertkessel. Mit zunehmender Dekarbonisierung von Strom wird sich dieser Effekt verstärken.

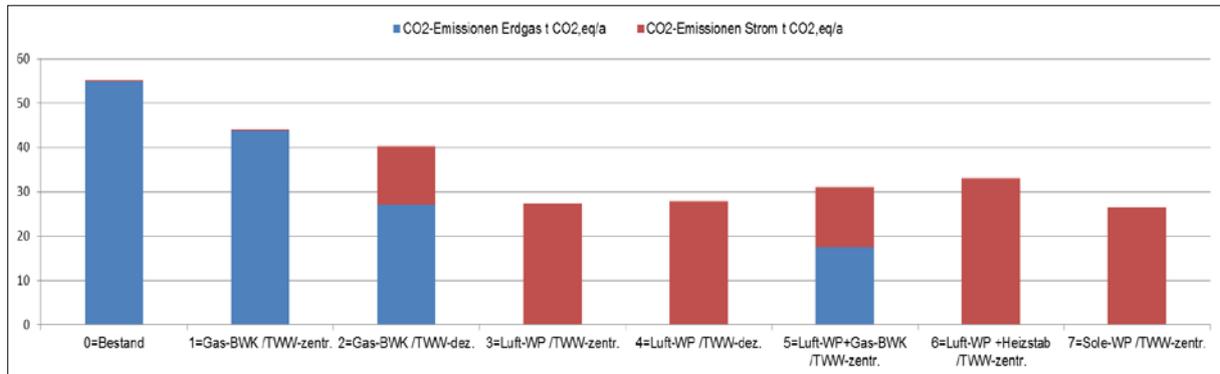


Abbildung 30 CO₂-Emissionen der Wärmeversorgungsvarianten

6 Solarstromerzeugung Objekt BS-B23

Im Folgenden wird das Potenzial der Solarstromerzeugung auf dem Dach der Liegenschaft abgeschätzt.

6.1 Anlagenauslegung

Der SolarDachAtlas¹ bietet eine erste Einschätzung, ob Dachflächen bestehender Gebäude zur Solarenergienutzung geeignet sind. Als Grundlage dienen 3D-Laserscandaten des Landesamtes für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen (LGLN) aus einer Befliegung im Jahr 2019. Hiernach werden die Ost-West-orientierten Satteldachflächen als „geeignet“ eingestuft.

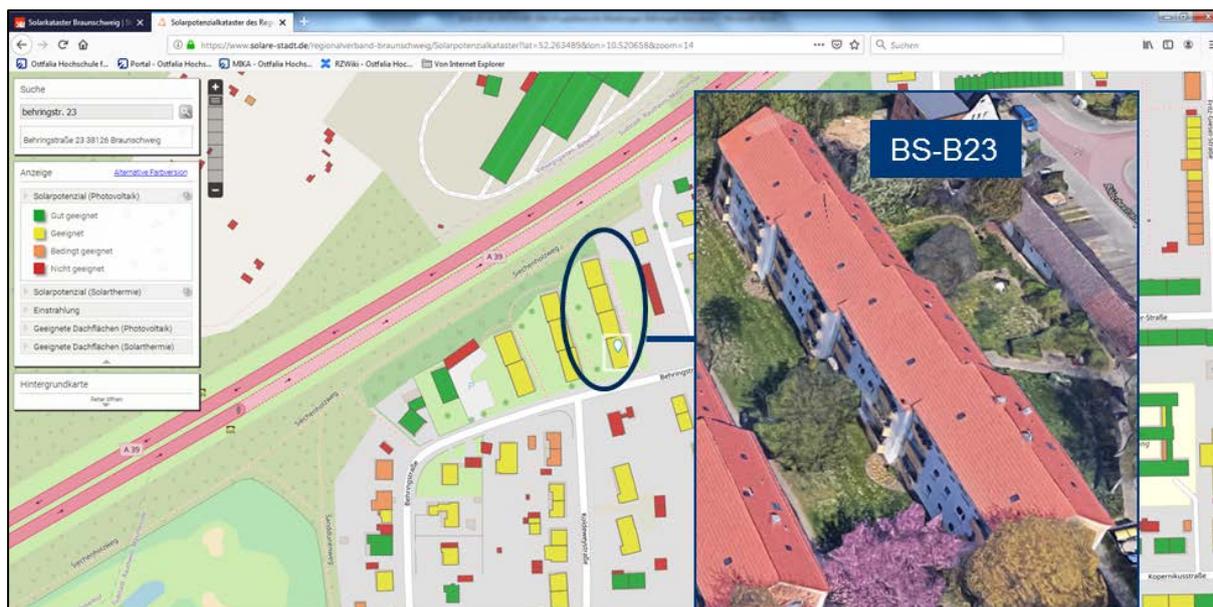


Abbildung 31 Dachflächeneignung gemäß SolarDachAtlas Stadt Braunschweig

Die Solarpotenzial-Bewertung des SolarDachAtlas stellt eine Grob-Einschätzung dar, die im Rahmen einer Vor-Ort-Begehung verifiziert werden muss, da Dachflächenfenster, Schornsteine oder Verschattungen durch Bäume nicht oder verzerrt erkannt werden.

Im Folgenden werden die nutzbaren Ost- und West-orientierten Dachflächen mit Hilfe der Auslegungssoftware PV*Sol 3D abgeschätzt:

- nutzbare Dachfläche: ca. 490 m²
- Module: 1x1,65 m, monokristalline Module, Modulleistung 300 Wp,
- installierbare PV-Leistung: 88 kWp

Für die Anlagensimulation werden Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes für den Standort Braunschweig von 1981 bis 2010 verwendet. Folgende Solarstromerträge ergeben sich:

- jährlicher Solarstromertrag: ca. 69.000 kWh
- spez. Solarstromertrag: ca. 790 kWh/kWp

¹ <https://www.solardach-regionalverband.de/mein-hausdach-pruefen/stadt-braunschweig/>

Neben der vorhandenen Einstrahlung und Verschattung ist eine statische Untersuchung des Daches erforderlich. Eine Prüfung ist im Rahmen der vorliegenden Studie nicht erfolgt. Es wird von einer ausreichenden Tragfähigkeit des Bestandsdachs ausgegangen, da eine dachparallele Montage keine hohen zusätzlichen Lasten verursacht.

Eine weitere Voraussetzung für die PV-Installation ist, dass in den nächsten 25 Jahren keine Erneuerung der Dacheindeckung als Instandsetzungsmaßnahme vorgesehen ist.



Abbildung 32 nutzbare Dachfläche Objekt BS-B23

6.2 Kapital- und Betriebskosten

Die spezifische Anlagenkosten inkl. Planung und Montage werden auf 1.200 €/kWp netto geschätzt. Hinzu kommen Kosten für die Prüfstatik, Gerüstkosten, die Anpassung der elektrischen Leitungsführung sowie die Messtechnik und die notwendigen Zählerschränke. In Summe von einer Anfangsinvestition in Höhe von 120.000 € netto ausgegangen. Darüber hinaus fallen für die Anlagenwartung, Reparatur und Versicherung jährliche Betriebskosten von geschätzt 700 € netto an.

6.3 Wirtschaftlichkeit

Die Stromgestehungskosten ergeben sich durch Bezug aller im Betrachtungszeitraum von 20 Jahren anfallenden Kosten auf die Stromproduktion im Zeitraum. Die Berechnung erfolgt nach der Kapitalwertmethode, wonach sowohl die anfallenden Kapitalkosten als auch die Stromerträge auf den Startzeitpunkt abgezinst werden siehe Abbildung 33.

$$LCOE = \frac{A_0 + \sum_{n=1}^T \frac{A_{B,n}}{(1+q)^n}}{\sum_{n=1}^T \frac{W_n}{(1+q)^n}}$$

mit

LCOE Stromgestehungskosten in €/kWh

A_0 Investitionsausgaben in €

$A_{B,n}$ Betriebskosten im Jahr n in €/a

W_n Stromerzeugung im Jahr n in kWh

q Kalkulationszins

T Betrachtungszeitraum in Jahren

n Jahr n des Betrachtungszeitraumes (1, 2, ..., T)

Abbildung 33 Rechengang Stromgestehungskosten

Bei Ansatz eines Kalkulationszins von 2 %, einem Preisänderungsfaktor von 3 % für die laufenden Betriebskosten sowie einer jährlichen Ertragsminderung von 0,25 % betragen die Stromgestehungskosten 12 Cent/kWh siehe Abbildung 34.

Datum	30.07.2020																					
Projekt	BS-B23																					
Anlagengröße	88 kWp																					
Randbedingungen Anlage		Stromgestehungskosten / Levelized Costs of Electricity (LCOE)																				
Investitionskosten	120.000 €	1.364 €/kWp																		LCOE	0,12 €/kWh	
produzierte Strommenge Jahr 1	69.520 kWh	790 kWh/kV Durchschnitt																		Ø	0,12 €/kWh	
jährliche Ertragsminderung	0,25%																					
Randbedingungen ökonomisch																						
Betrachtungszeitraum	20																					
Zinsfaktor	1,02																					
Preisänderungsfaktor																						
Betriebskosten	1,03																					
Annuitätsfaktor	0,0612	0,98	0,96	0,94	0,92	0,91	0,89	0,87	0,85	0,84	0,82	0,80	0,79	0,77	0,76	0,74	0,73	0,71	0,70	0,69	0,67	
Jahr	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040		
Zeitchse in Jahren	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Kosten																					Gesamtkosten	
Annuität Kapital	TEUR	7.339	7.339	7.339	7.339	7.339	7.339	7.339	7.339	7.339	7.339	7.339	7.339	7.339	7.339	7.339	7.339	7.339	7.339	7.339	7.339	146.776 €
jährliche Betriebskosten	TEUR	700	721	743	765	788	811	836	861	887	913	941	969	998	1.028	1.059	1.091	1.123	1.157	1.192	1.227	18.809 €
undiskontierte Kosten	TEUR	8.039	8.060	8.081	8.104	8.127	8.150	8.175	8.200	8.226	8.252	8.280	8.308	8.337	8.367	8.398	8.429	8.462	8.496	8.531	8.566	165.585 €
diskontierte Kosten	TEUR	7.881	7.747	7.615	7.487	7.361	7.237	7.117	6.998	6.883	6.770	6.659	6.551	6.445	6.341	6.240	6.140	6.043	5.948	5.856	5.765	135.082 €
Produzierte Strommenge																					Gesamt-Strommenge Durchschnitt	
Durchschnitt																						
Produzierte Strommenge im jeweiligen Jahr	kWh	69.520	69.346	69.173	69.000	68.827	68.655	68.484	68.312	68.142	67.971	67.801	67.632	67.463	67.294	67.126	66.958	66.791	66.624	66.457	66.291	1.357.868 kWh
diskontierte Strommenge	kWh	68.157	66.653	65.183	63.745	62.339	60.964	59.619	58.304	57.018	55.760	54.530	53.327	52.151	51.001	49.876	48.775	47.699	46.647	45.618	44.612	1.111.980 kWh

Abbildung 34 Ermittlung Stromgestehungskosten Objekt BS-B23

Für die Solarstromerzeugung auf dem Dach wird seit Juli 2020 eine Einspeisevergütung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) von 6,89 Ct/kWh in der Größenklasse über 40 kWp bis 750 kWp vergütet. Ohne die Stromnutzung vor Ort ist kein wirtschaftlicher Anlagenbetrieb möglich, da die Stromgestehungskosten über der Einspeisevergütung liegen. Der PV-Strom kann in der Liegenschaft als Eigenverbrauch für Allgemeinstrom genutzt werden und die Wohnungen könnten mit Mieterstrom beliefert werden. Hierfür empfiehlt es sich Contracting-Verträge zu nutzen, da der organisatorische Aufwand hoch ist und umfangreiches energiewirtschaftliches Knowhow erfordert. Contracting-Unternehmen benötigen eine Mindest-Objektgröße von ca. 25 bis 30 Wohnungen und kostengünstige Umsetzungsbedingungen für die Installation, da sich sonst die Kosten für Messtechnik und Abrechnungswesen nicht refinanzieren. Eine Abschätzung mit dem Mieterstrom-Tool des Institut für Solarenergieforschung nach [4] lässt einen Verlust erwarten. Bei den derzeitigen Umsetzungsbedingungen für Mieterstrom-Projekte wird sich vermutlich kein Unternehmen finden, das die Belieferung mit Mieterstrom übernimmt.

6.4 Empfehlung

Es empfiehlt sich, die Solarenergieerzeugung in die Sanierungsstrategie zukünftiger Liegenschaften einzubeziehen und Erfahrungen mit Mieterstrom-Projekten zu sammeln. Zur Identifikation besonders geeigneter Projekte kann wie folgt vorgegangen werden:

- Unter Berücksichtigung der Faktoren Dachneigung, Ausrichtung, Verschattung und solare Einstrahlung wird das Solarpotenzial der Liegenschaften ermittelt.
- Abzuziehen sind Dächer ohne ausreichende Tragfähigkeit und Dächer, bei denen in den nächsten Jahren eine Erneuerung der Dachabdichtung oder Dacheindeckung ansteht.
- Dachflächen mit anderweitigen, geplanten Nutzungen wie Dachterrassen oder Einbau von Fenstern bei späterem Dachausbau reduziert sich das Solarpotenzial weiter.
- Zur Umsetzung geeignet sind Projekte, die unter den heutigen energierechtlichen Rahmenbedingungen einen wirtschaftlichen Anlagenbetrieb ermöglichen. Besonders geeignet sind Liegenschaften mit hohen jährlichen Solarstromerträgen (größer 900 kWh/kWp) und sehr guter Nutzbarkeit vor Ort als Allgemeinstrom, Mieterstrom und ggf. für Heizstrom und zum Laden von E-Mobilen. Kostengünstig belegbare Dachflächen in größeren Liegenschaften mit mindestens 25 Wohnungen kommen insbesondere in Betracht, wenn gleichzeitig Modernisierungsmaßnahmen mit Gerüst durchgeführt werden.

zur Solarenergienutzung geeignete Dachflächen

- statisch ungeeignete Dachflächen
- Dachflächen mit Instandsetzungsbedarf
- anderweitige Nutzung
- Unwirtschaftlichkeit



= umsetzbares Potenzial

Abbildung 35 Vorgehen Analyse von Bestandsdächern

7 Literatur

- [1] Techem Energy Services GmbH, „Techem-Energiekennwerte 2019: Wärme,“ Techem, Eschborn, 2019.
- [2] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA), „Merkblatt zu den technischen Mindestanforderungen - Heizen mit erneuerbaren Energien,“ 2020.
- [3] IWU, „Kumulierter Energieaufwand und CO2-Emissionsfaktoren verschiedener Energieträger und -versorgungen,“ 26.02.2020.
- [4] M. Knoop, M. Littwin, M. Kesting, T. Ohrdes, „<https://isfh.de/forschung/solare-systeme/arbeitsgruppen/elektrische-energiesysteme/mieterstom-tool/>,“ Version 3 (08.02.2019). [Online]. [Zugriff am 21 07 2020].