

Projekt 2019-12

Projekttitlel
**CO₂-freie Wärmeversorgung von Wohngebäuden mit
PVT-Kollektoren und Wärmepumpe**

Abschlussbericht



Inhalt

1	Projektüberblick	4
1.1	Ausgangslage	4
1.2	Wissenschaftliche und technische Ziele	4
1.3	Herausforderungen des Vorhabens	6
2	Projektbeschreibung	7
2.1	Projektablauf	7
2.1.1	Projektidee	7
2.1.2	Terminplan	8
2.1.3	Förderungen und Baukostenzuschüsse	8
2.2	Projektplanung	9
2.2.1	Energie- und Leistungsdaten	9
2.2.2	Simulation Energieverbrauch und -produktion.	9
2.3	Technische Umsetzung	12
2.3.1	PVT-Kollektoren	12
2.3.2	Wärmepumpen	14
2.3.3	Pufferspeicher und Warmwasserbereitung	17
2.3.4	Schemata Wärmeerzeugung und Kollektorfeld	18
2.3.5	Gebäudeleittechnik und Netzwerk	20
2.4	Anlagenbetrieb	22
2.4.1	Auswertung der Betriebsergebnisse Wärme	22
2.4.2	Auswertung der Betriebsergebnisse Strom	22
2.4.3	Aufgetretene Störungen und Lösungen im Betrieb	25
2.5	Ökologischer Nutzen	26
2.5.1	Einsparung an Primärenergie	26
2.5.2	Reduktion der CO ₂ -Emission und Schadstoffemission	26
2.6	Betrachtung der Wirtschaftlichkeit	27
2.6.1	Investitionskosten	27
2.6.2	Betriebskosten	27
2.6.3	Verbesserung der Wirtschaftlichkeit	27
2.7	Auswirkungen auf den zukünftigen Betrieb	28
2.8	Weiterführende, resultierende Maßnahmen	28
2.9	Übertragbarkeit der Projektergebnisse	28
3	Öffentlichkeitsarbeit	28
3.1	Führungen und Vorträge	28
3.2	Flyer, Presse, Veröffentlichungen	29

4	<i>Zusammenfassung/Fazit</i>	29
5	<i>Ausblick</i>	30
6	<i>Drei wesentliche Projekterkenntnisse aus dem Projekt</i>	31

1 Projektüberblick

1.1 Ausgangslage

Die badenovaWÄRMEPLUS ist die Säule der badenova AG & Co. KG, die die ökologischen Strom- und Wärmeerzeugungsanlagen in der Region Südbaden umsetzt. Das bedeutet, dass mit eigenem Personal u. a. Windkraftanlagen, Photovoltaikanlagen, BHKWs, Biomasseanlagen, Wärmepumpen und Wärmenetze projektiert, geplant, gebaut und betrieben werden, mittlerweile über 300 Anlagen. Zum Anlagenportfolio gehören auch immer wieder innovative Technologien, die oft noch Pilotcharakter haben oder sich in der Markteinführung befinden.

Im Freiburger Stadtteil Ebnet wurden von der Freiburger Gisinger Gruppe fünf Wohngebäude mit insgesamt 52 Wohneinheiten mit einer Wohnfläche von insgesamt 4.400 m² als KfW-Effizienzhaus 55 errichtet. Außergewöhnlich ist die Holz-Hybrid-Bauweise mit einem Betonkern und einer Holzfassade. Passend zu diesen architektonisch besonderen Gebäuden wünschte der Bauherr auch eine innovative und ökologische Wärmeversorgung auf Basis erneuerbarer Energien.



Nach Fertigstellung, Süd-Ost-Seite



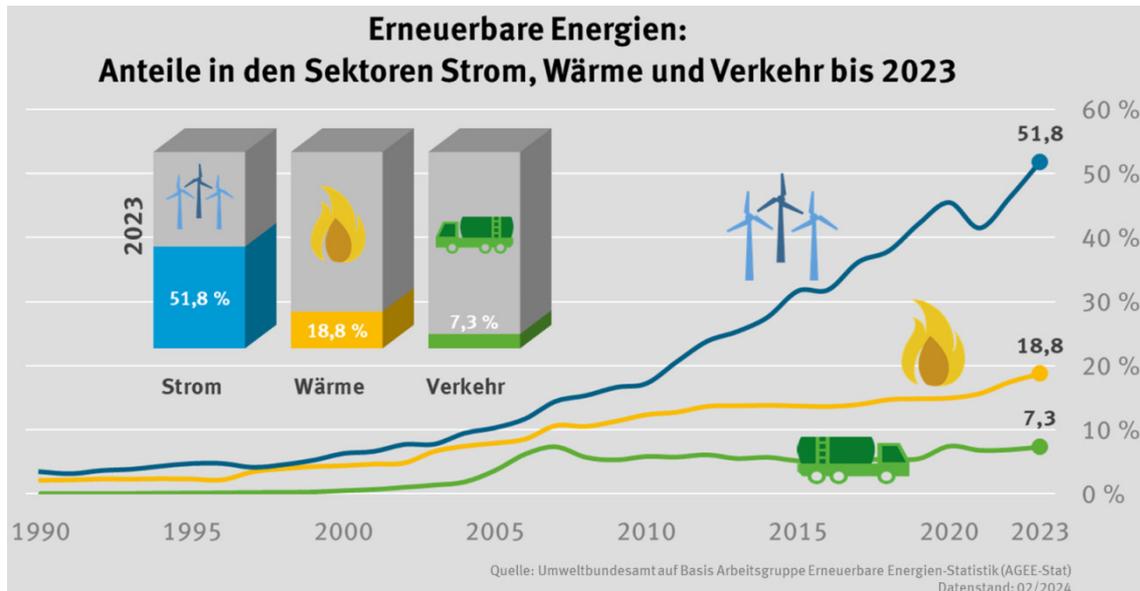
Straße Bäumleacker, West-Seite

Ressourcenschonende Technologien standen daher von Anfang an im Mittelpunkt der Planungen. Als innovative Technologie wurde der Einsatz von Photovoltaik-Thermie-Kollektoren (kurz: PVT-Kollektor) in Verbindung mit Wärmepumpen gewählt. Das System verbindet die hohe Effizienz der Sole-Wärmepumpen mit den Vorteilen von Luft-Wärmepumpen. Lautloser Betrieb und ein flexibler Einsatz auf Dächern oder Fassaden machen den PVT-Kollektor als Energiequelle für Strom und Wärme attraktiv. Jedes der einzelnen Gebäude erhielt eine eigene Anlage. Die vier Gebäude Bäumleacker 1-7 sind baugleich mit jeweils 11 Wohneinheiten, das fünfte Gebäude Bäumleacker 9 (oben im Bild links) ist etwas kleiner mit 8 Wohneinheiten.

1.2 Wissenschaftliche und technische Ziele

Der Anteil erneuerbarer Wärme an der Wärmeerzeugung betrug in Deutschland 2023 nur 18,8 %, der überwiegende Teil wird noch mit fossilen Energieträgern gedeckt. Wärmepumpen werden als große Chance gesehen, die Wärmewende und Abkehr von fossilen Energien zu

beschleunigen, zumal der Anteil erneuerbaren Stroms 2023 bereits bei 51,8 % lag. An der Grafik vom Umweltbundesamt ist auch zu erkennen, dass der Anteil erneuerbarer Wärme nur sehr langsam ansteigt, während der Anteil erneuerbaren Stroms sehr stark ansteigt. Dieser starke Anstieg erneuerbarer Stromleistung wird an manchen Tagen mit viel Wind oder Sonne zu erheblichen Stromüberschüssen führen, was ein Abregeln der Anlagen zur Folge hat. Um dies zu vermeiden ist die Kopplung mit dem Wärmesektor z. B. über Wärmepumpen oder direkte Power-to-Heat-Anlagen (Elektro-Heizstäbe) sinnvoll.



Die wesentlichen Wärmequellen für Wärmepumpen sind Abwärme, Grundwasser, Erdsonden und Luft.

Der Einsatz elektrisch betriebener Wärmepumpen zur Wärmebereitstellung ist bei Luft-Wärmepumpen aufgrund niedriger Wärmequellentemperaturen und des begrenzten Betriebsbereichs bei niedrigen Außentemperaturen mit geringen Jahresarbeitszahlen verbunden. Für große Wärmepumpen sind sehr große Luftmengen nötig, was die Umsetzbarkeit erschwert oder unmöglich macht.

Der Einsatz von Erdsonden oder Erdreichwärmetauschern in Kombination mit einer Sole-Wärmepumpe ermöglicht höhere Jahresarbeitszahlen, hat jedoch Nachteile wie Flächenbedarf, Bohrrisiko, Regenerationsfähigkeit des umgebenden Erdreichs, und setzt daher vor allem im städtischen Umfeld besondere Rahmenbedingungen voraus. Die Gebäude in Ebnet befinden sich im Wasserschutzgebiet des benachbarten Wasserwerkes, was den Einsatz von Glykol als Wärmeträgermedium in den Erdsonden unmöglich macht und den Betriebsbereich einschränkt.

Eine neuartige und vielversprechende Alternative bildete für die Gebäude in Ebnet daher der Einsatz von PVT-Kollektoren zur Strom- und Wärmeerzeugung. Während bislang eine Dachfläche entweder zur Stromgewinnung mittels PV-Anlage oder zur Wärmegewinnung mittels Sonnenkollektoren genutzt werden konnte, ermöglicht die Installation eines PVT-Kollektors die Bereitstellung beider Energieformen bei gleichem Flächenbedarf und damit doppelter Nutzung der Dachfläche. Durch das intelligente Zusammenspiel der Komponenten PVT-Kollektor, Wärmepumpe, Elektro-Heizstab, Wärmespeicher, ggf. auch Stromspeicher und

Stromnetz kann sowohl der Einsatzbereich der Wärmepumpe als auch die Effizienz und Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems erhöht werden. Es werden die Voraussetzungen geschaffen, dass die Anlage zukünftig Teil eines intelligenten Stromnetzes wird und so die Kopplung der Sektoren Strom und Wärme ermöglicht.

1.3 Herausforderungen des Vorhabens

Das PV-Modul auf der Vorderseite des PVT-Kollektors nutzt das zur Verfügung stehende Sonnenlicht zur Erzeugung von elektrischer Energie, während die gleichzeitig anfallende Modulabwärme (nicht in Strom umgewandelte Solarenergie) auf der Rückseite des Kollektors aufgenommen wird. Zusätzlich ist der Wärmeübertrager auf der Rückseite für die direkte Wärmeaufnahme aus der Umgebungsluft ausgelegt. Diese neuartige, innovative Bauart eines PVT-Kollektors wurde vom Lörracher Unternehmen Consolar Solare Energiesysteme GmbH zusammen mit einem holländischen Entwicklungspartner entwickelt und im Jahr 2017 mit dem Umwelttechnik-Preis für Energieeffizienz des Landes Baden-Württemberg ausgezeichnet.

Da die PVT-Kollektoren die einzige Wärmequelle für die Wärmepumpe im Gebäude sind und diese auch nachts bei tiefen Außentemperaturen im Winter aus dem Kollektor Wärme entziehen muss, ist eine bestimmte Größe der Kollektoranlage im Verhältnis zum Wärmebedarf des Gebäudes erforderlich. Consolar gibt bei einer Paralleldachmontage einen Flächenbedarf von ca. 4 m²/kW an. Ein Kollektor hat eine Fläche von 1,96 m², d. h. es sind 2 Kollektoren pro kW Heizleistung erforderlich. Der Wärmeleistungsbedarf bei den Gebäuden wurde mit 25,3 kW angegeben, was ca. 50 Kollektoren ergibt. Auf der Dachfläche konnten aber nur 44 Kollektoren installiert werden, obwohl das Dach bis an die äußersten Dachkanten belegt wurde. Dieser zwingend erforderliche Flächenbedarf kann bei machen Vorhaben ein K.O.-Kriterium sein. Durch den Einsatz von zweistufigen Wärmepumpen und Elektro-Heizstäben in den Puffern konnte die Unterschreitung von 12 % der erforderlichen Kollektorfläche noch akzeptiert werden.

Die etwas schiefwinklig geneigte Dachform mit nur 17° Neigung und die speziellen Dachplatten stellten weitere Herausforderungen dar.

Bei hohen Heizleistungen und niedrigen Außentemperaturen kann sich das Wärmeträgermedium (Sole) auf bis zu -15 °C abkühlen, was eine besondere Wärmedämmung analog zu Kälteleitungen aus flexiblem, geschlossenzelligem Weichschaum (Beispiel Fabrikat Armaflex) erforderlich macht. Die tiefen Soletemperaturen führen zu Kondensat- und sogar Eisbildung. Die Rohrführung innerhalb des Gebäudes ist dafür ungünstig, besser wäre eine Rohrführung außen am Gebäude. Damit die Rohre an der Fassade optisch nicht auffallen, könnten sie in einer Regenfallrohrattrappe verlegt werden.

Es gab für diese innovative Technologie noch wenig Erfahrung bei den Planungsbüros, Architekten und ausführenden Heizungs- und Elektroinstallateuren. Besonders beim PVT-Kollektor ist, anders als bei reinen PV- oder Solarthermiemodulen, eine Zusammenarbeit der beiden Gewerke Elektro und Heizung erforderlich. Da die Heizungsinstallation beim PVT-Kollektor aufwändiger und komplexer ist, sollte immer das Gewerk Heizung die Federführung übernehmen.

2 Projektbeschreibung

2.1 Projektablauf

2.1.1 Projektidee

Im Ortsteil Freiburg-Ebnet an der Ortsausfahrt Richtung Stegen sollte ein neues, kleines Baugebiet mit 16 Wohngebäuden entstehen. Die Bebauung erfolgte im Wesentlichen durch zwei große Bauträger aus Freiburg. Das Grundstück oben links (Gebäude 1-3) ist noch unbebaut und soll ggf. durch die Freiburger Stadtbau bebaut werden. Das Grundstück links (Gebäude 4-10) wurde von einem Bauträger errichtet, der die Wärmeversorgung mit einer zentralen Pelletsanlage realisiert hat. Das Gebäude 11 wurde von einem privaten Bauherrn errichtet. Das Grundstück rechts (Gebäude 12-16) wurde von der Gisinger Gruppe erworben und bebaut. Auch hier wurde eine zentrale Wärmeversorgung als eine mögliche Option berechnet. Eine Erdgasversorgung gibt es in dem Baugebiet nicht und die Vorgabe war die Wärmeversorgung auf Basis erneuerbarer Energien.



Da badenovaWÄRMEPLUS bereits in anderen Projekten erfolgreich mit der Gisinger Gruppe zusammengearbeitet hat, wurde sie für die Wärmeversorgung der fünf Gebäude im Contracting angefragt. Maßgabe war der Einsatz erneuerbarer Energien und ein Wärme-Vollkostenpreis, der nicht über dem einer vergleichbaren Wärmeerzeugung einer zentralen Pelletsanlage liegt.

Die Gebäude verfügen über eine gemeinsame Tiefgarage, was den Platzbedarf im Keller einschränkt. Da sehr hochwertige Wohnungen errichtet werden sollten, sollte der Raum im Keller nicht noch zusätzlich durch ein großes Pelletslager eingeschränkt werden. Ferner wollte man Anlieferverkehr, Lärm, Schornstein, Staubemissionen und eine mögliche Geruchsbelästigung einer Holzfeuerung vermeiden.

Als erstes entstand das Gebäude 12 (Inbetriebnahme 02.08.2022), dann kamen die Gebäude 13 und 14 und als letztes

wurde das Gebäude 16 errichtet (Inbetriebnahme 24.05.2023). Es gibt insgesamt drei Wohnungseigentümergeinschaften für die fünf Gebäude. Die unterschiedlichen Eigentumsverhältnisse der Grundstücke würden bei einer zentralen Anlage mit Wärmeleitungen wechselseitige Dienstbarkeiten erforderlich machen. Diese Konstellationen und der Bauablauf sind beim Errichten von mehreren Gebäuden üblich und hier sind fünf einzelne Anlagen in der Bauabwicklung und späteren Verwaltung einfacher als eine zentrale Anlage.

Wärmepumpen waren dann die Lösung, und zwar fünf Einzelanlagen und nicht eine zentrale Anlage. Da sich das Baugebiet im Wasserschutzgebiet Zone III A befindet schied eine Erdsonde mit Glykol oder eine Grundwassernutzung aus. Aus architektonischer Sicht und hinsichtlich möglicher Schallemissionen, wurde auch eine Luft-Wärmepumpe kritisch gesehen. Die Idee von PVT-Kollektoren mit Wärmepumpen, verteilt auf fünf Einzelanlagen war damit geboren.

2.1.2 Terminplan

Nach der Projektidee 2018 wurde am 30.10.2018 der Förderantrag beim Innovationsfonds für Klima- und Wasserschutz der badenova AG & Co. KG eingereicht. Das Konzept wurde 2019 weiterentwickelt und nach dem Einholen von diversen Angeboten und dem Erstellen einer sehr detaillierten Wirtschaftlichkeitsrechnung konnte im August 2019 der Gisinger Gruppe ein Angebot für den Bau und Betrieb der Anlage vorgelegt werden. Nach weiteren Detailabstimmungen wurden im September 2020 die Errichtungsverträge und die Wärmelieferverträge unterzeichnet.

Unmittelbar im Anschluss wurde der Auftrag für die Planung vergeben, die Ausführungsplanung begonnen und ein Leistungsverzeichnis für die Bauleistungen erstellt. Am 22.04.2021 fand die Submission statt, trotz eines großen Bieterkreises und mehrmaligem Nachfragen gingen nur zwei Angebote ein, was zum einen an der hohen Auslastung im Baugewerbe lag, zum anderen aber vermutlich auch mit der Zurückhaltung gegenüber dieser innovativen Technologie zu tun hatte. Im August 2021 wurde der Auftrag an die Fa. Gampp Heizungstechnik GmbH vergeben.

Im Jahr 2022 wurde das erste Gebäude fertiggestellt und am 02.08.2022 ging die erste PVT-Anlage mit der Wärmepumpe im Haus 12 in Betrieb. Der Baufortschritt der weiteren Gebäude war deutlich langsamer als geplant, was unter anderem mit den diversen Schwierigkeiten in der Corona-Pandemie zu tun hatte. Ende Mai 2023 wurde die letzte Anlage in Betrieb genommen.

Seitdem konnten erste Ergebnisse im Betrieb gesammelt werden. Da die zusätzliche Gebäudeleittechnik und der Fernzugriff auf die einzelnen Anlagenteile erst Anfang 2024 in Betrieb genommen werden konnten, liegen noch keine Messdaten aus dem Betrieb für eine volles Jahr vor.

2.1.3 Förderungen und Baukostenzuschüsse

Für das Projekt wurde ein Antrag auf Gewährung einer Förderung aus dem Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova gestellt. Der Antrag wurde mit einer Fördersumme in Höhe von 147.500 € bewilligt.

Ferner wurde ein Antrag auf Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt bei der BAFA (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle) gestellt. Dieser Antrag wurde am 09.12.2020 mit einer Fördersumme von 122.353 € bewilligt. Dieses Förderprogramm wurde von der BAFA nur kurz aufgelegt und war in der Struktur für kleinere Einzelanlagen ausgelegt, was die Abwicklung erschwerte. Beispielsweise war der Bewilligungszeitraum sehr kurz und endete bereits am 12.12.2021, was bei dem größeren Projekt mit den fünf zeitlich versetzten Gebäuden viel zu kurz war. Der Bewilligungszeitraum wurde planmäßig um ein Jahr verlängert und dann in einer Sondergenehmigung nochmal um ein halbes Jahr bis 12.06.2023 verlängert. Alle fünf Anlagen mussten bis zu diesem Termin in Betrieb genommen sein.

Mit dem Bauträger wurde ein Baukostenzuschuss für alle fünf Gebäude in Höhe einer vergleichbaren, einfacheren Wärmeerzeugungsanlage vereinbart. Es ist wichtig, dass bei Contracting-Anlagen von den Bauträgern diese Baukostenzuschüsse geleistet werden, da es sonst zu einer Verlagerung

regulärer Baukosten, zu denen eine Wärmeerzeugungsanlage gehört, auf die Wärmekosten kommt. Die Wärmekosten werden später vom Contractor jährlich von den Kunden erhoben. Im Wärmepreis sollten nur die verbrauchsabhängigen Kosten (z. B. Brennstoffkosten) und die betriebsgebundenen Kosten (z. B. Wartung und Betriebsaufwand), bestehend aus Grund-, Mess- und Arbeitspreis, enthalten sein.

2.2 Projektplanung

2.2.1 Energie- und Leistungsdaten

Der Wärmebedarf der einzelnen Gebäude ist in folgender Tabelle dargestellt. Für die Heizung wurde ein spezifischer Wärmebedarf von 30 kWh/m²a und für die Warmwasserbereitung ein Bedarf von 18 kWh/m²a, in Summe also 48 kWh/m²a angesetzt. Daraus errechnet sich über die beheizte Wohnfläche ein Wärmebedarf in Höhe von ca. 211.000 kWh/a. Die Heizlast wurde von einem Ingenieurbüro nach DIN EN 12831 berechnet.

Gebäude	Wohnfläche in m ²	Wohnein- heiten in St.	Heizung in kWh/m ² a	WWB in kWh/m ² a	Summe in kWh/m ² a	Wärmebedarf in kWh/a	Heizlast in kW
12	641,4	8	30	18	48	30.787	17,3
13	938,9	11	30	18	48	45.067	25,3
14	938,9	11	30	18	48	45.067	25,3
15	938,9	11	30	18	48	45.067	25,3
16	938,9	11	30	18	48	45.067	25,3
Summe	4.397,0	52				211.056	118,5

In der folgenden Tabelle ist die erwartete Stromerzeugung der PV-Anlagen dargestellt. Ein Modul hat 360 W und es wurde mit einem Ertrag von 1.000 kWh/kWp gerechnet. Der erzeugte Strom wird so weit wie möglich direkt von den Wärmepumpen verbraucht.

Die geringe Dachneigung von 17° und die Ausrichtung der PV-Anlagen Richtung Südwest reduzieren den Stromertrag. Der Wirkungsgrad von PV-Modulen ist temperaturabhängig, bei steigenden Temperaturen steigt der elektrische Widerstand in den Solarzellen und die Stromerzeugung ist geringer. Durch die Wärmepumpen wird den PV-Modulen Wärme entzogen und die Kühlung der PV-Anlagen erhöht laut Consolar den Stromertrag um 7 - 10 %.

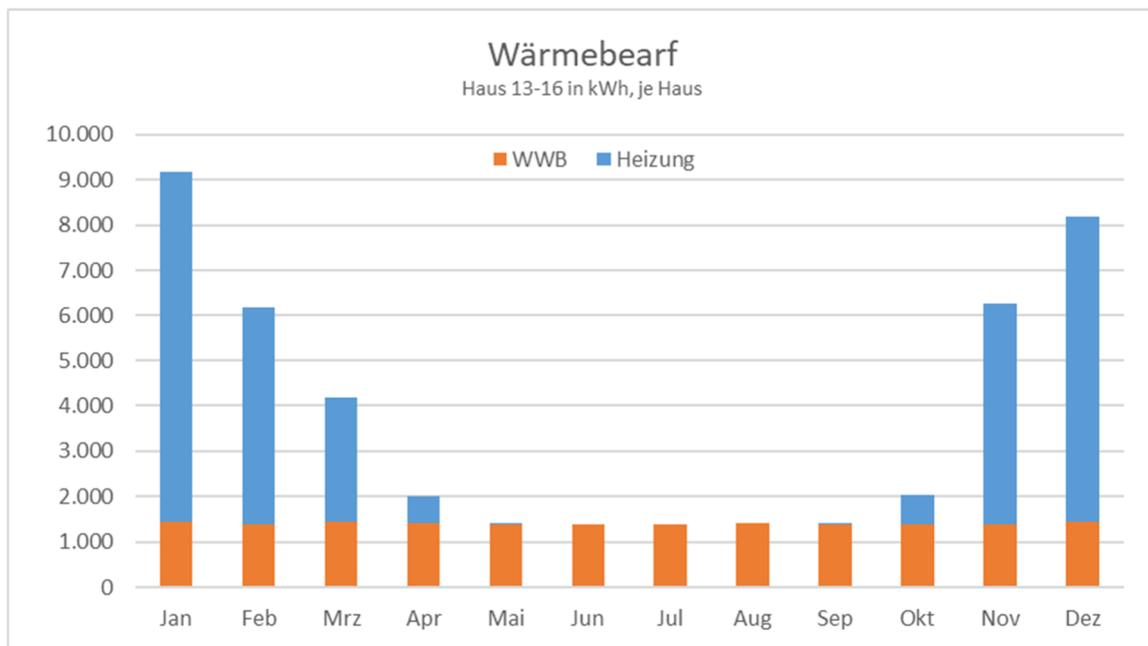
Gebäude	Strombedarf in kWh/a	Modulfläche in m ²	Modulanzahl in St.	Module inst. in St.	PV-Leistung in kWp	Stromerzeugung in kWh/a
12	8.102	79,0	40	35	12,6	12.600
13	11.860	115,7	59	44	15,8	15.840
14	11.860	115,7	59	44	15,8	15.840
15	11.860	115,7	59	44	15,8	15.840
16	11.860	115,7	59	44	15,8	15.840
Summe	55.542				76,0	75.960

2.2.2 Simulation Energieverbrauch und -produktion.

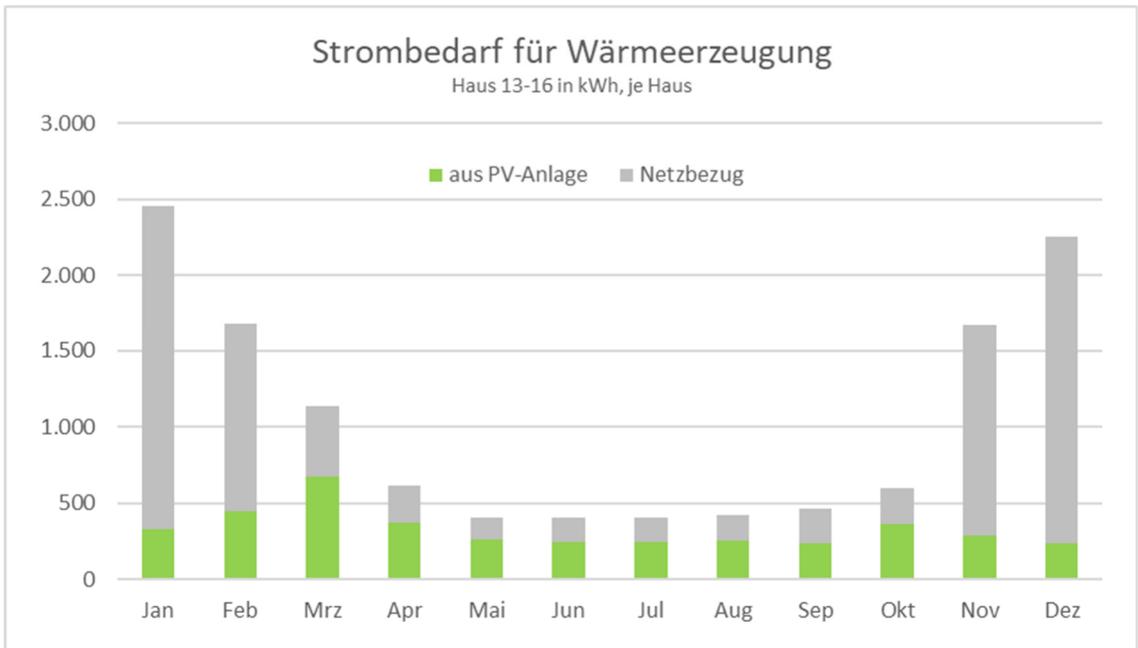
Mittels der Software Polysun wurden in einer Simulation die Energiemengen für jedes Gebäude berechnet. Der Wärmebedarf für die Heizung fällt nur in den Wintermonaten an und beträgt laut

Simulation 28.166 kWh/a. Der Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung ist ganzjährig, relativ konstant vorhanden und beträgt 16.900 kWh/a, was 38 % des gesamten Wärmebedarfs von 45.067 kWh/a entspricht.

Aufgrund der sehr guten Wärmedämmung der Holz-Hybrid-Gebäude wird ein etwas geringerer Heizwärmebedarf erwartet, durch die zentrale Warmwasserbereitung und die damit verbundenen Zirkulationsverluste ist im Betrieb mit einem etwas höheren Warmwasserwärmebedarf zu rechnen. In Summe scheinen die 45.000 kWh/a realistisch.

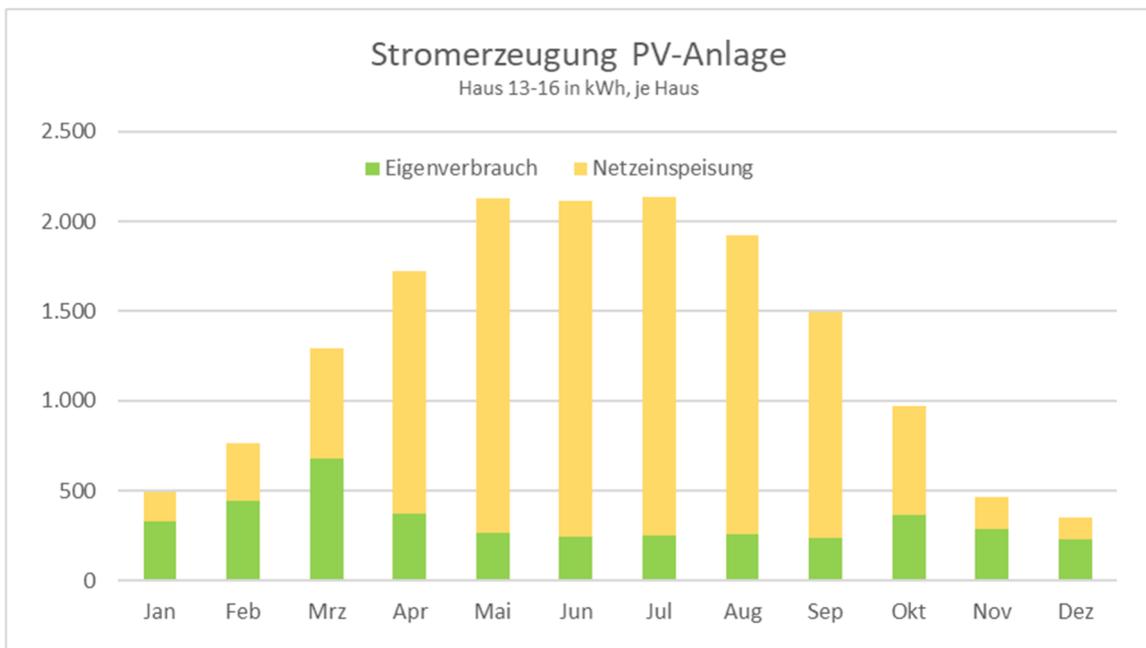


Der COP (Coefficient of Performance) einer Wärmepumpe ist der Quotient aus Wärme-Output zu Strom-Input und ist sehr stark von den Temperaturen der Wärmequelle und Wärmesenke abhängig. Der SCOP (Seasonal Coefficient of Performance) der Wärmepumpe errechnet sich aus den verschiedenen Betriebszuständen innerhalb eines Jahres. Die Simulation hat einen SCOP von 3,80 ergeben. Der Strombedarf der Solepumpe, der externen Regelventile, Regler und Heizstäbe ist im SCOP nicht enthalten. Bei dem im folgenden Diagramm dargestellten Strombedarf sind diese Strommengen enthalten, es ist also der Strombedarf der kompletten Wärmeerzeugungsanlage, der bei ca. 12.530 kWh/a liegen wird, enthalten. Grün dargestellt ist der Teil des Strombedarfs in Höhe von 3.960 kWh/a, der direkt über die PV-Anlage gedeckt wird.



Im Winter muss für den Betrieb der Wärmepumpen zusätzlich Strom aus dem öffentlichen Netz bezogen werden, was im Diagramm grau dargestellt ist. Auch in den Sommermonaten fällt trotz deutlichem Stromüberschuss ein Netzbezug an, da Verbrauch und Erzeugung nicht immer zeitgleich stattfinden. Läuft die Wärmepumpe beispielsweise nachts, muss dafür auch im Sommer Strom bezogen werden. Hier gibt es durch ein intelligentes Puffermanagement und einen abgestimmten Betrieb der Wärmepumpe auf das Solarstromangebot ein gewisses Optimierungspotential.

Beim unten dargestellten Solarertrag ist diese Kurve genau umgekehrt, der Stromertrag fällt im Wesentlichen in den Sommermonaten an. Dies führt dazu, dass im Sommer ein Überschuss an Strom entsteht, der in das öffentliche Netz eingespeist wird (gelb dargestellt). Es wird eine Stromproduktion von 15.840 kWh/a erwartet. Der Eigenverbrauch wird laut Simulation bei ca. 25 % liegen.



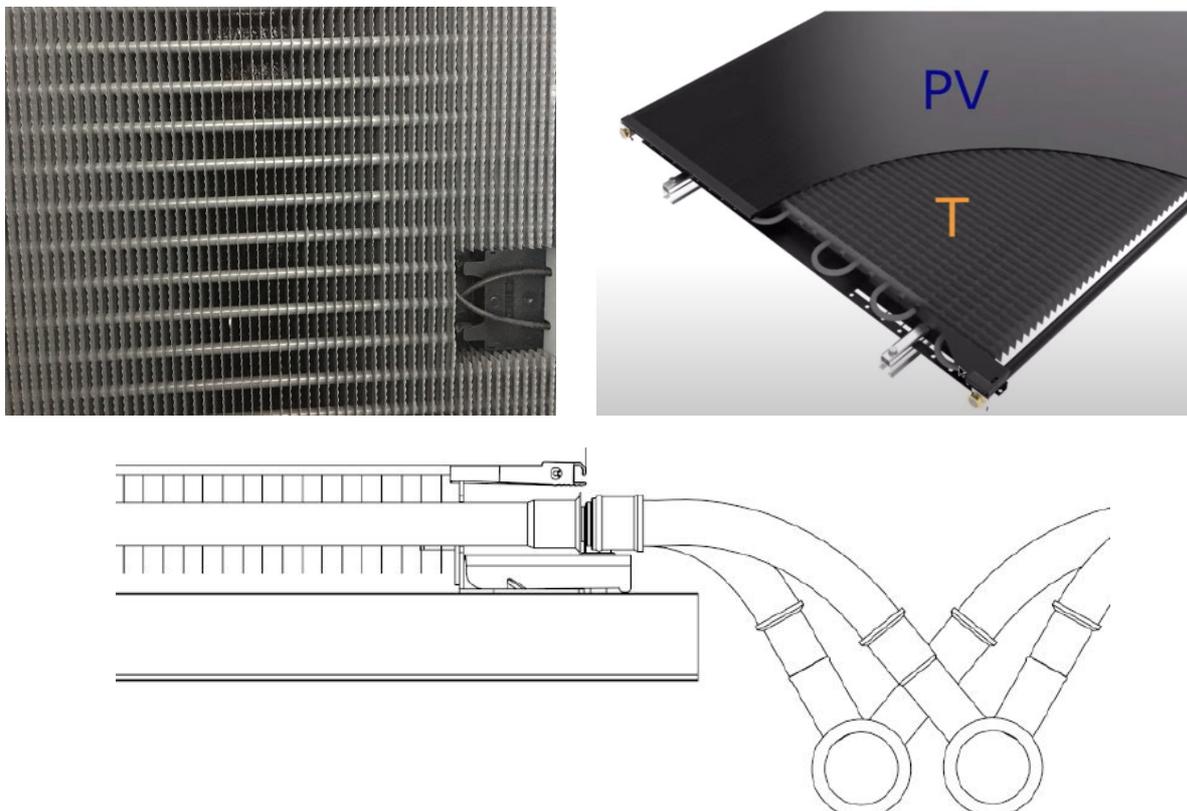
In der Preisgleitformel für den Wärme-Arbeitspreis wurde aufgrund des Eigenverbrauchs von 25 % ein Fixanteil von 25 % und ein zu 75 % mit dem Strompreis und dem Wärmemarkt gleitender Anteil aufgenommen. Dies führt zu stabileren Wärmepreisen für die Kunden.

2.3 Technische Umsetzung

2.3.1 PVT-Kollektoren

Bei dem Projekt wurden PVT-Kollektoren vom Typ SOLINK des Herstellers Consolar eingesetzt. Es handelt sich dabei um PV-Module mit 360 W und einer Größe von 2 m² (1.987 x 995 mm). Auf der Rückseite befindet sich eine Verrohrung mit einem Wärmeübertrager mit Lamellenstruktur, welcher die Wärme vom PV-Modul oder der Außenluft aufnimmt. Da die Temperaturen deutlich unter 0 °C sein können, ist die Anlage mit einer Solarflüssigkeit (Ethylen-Glykol-Fertigmischung, Frostschutz bis -25 °C) zur Frostsicherung zu füllen. Es kommen dann Sole-Wasser-Wärmepumpen zum Einsatz, die in der Regel mit Erdsonden betrieben werden. Beim Einsatz mit PVT-Kollektoren als Wärmequelle fließt die Sole durch das PVT-Kollektorfeld, anstatt durch die Erdsonden.

Ist keine Solarwärme aus dem PV-Modul vorhanden, z. B. nachts, ist dieses System mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe vergleichbar. Beim Betrieb der PV-Anlage stehen höhere Temperaturen zur Verfügung, was die Effizienz der Wärmepumpen verbessert. Ohne PV-Anlagen-Betrieb ist die Temperatur geringer als bei Luft-Wasser-Wärmepumpen, da dort in der Regel ein Wärmeübergang direkt von der Außenluft auf das Kältemittel im Außengerät stattfindet. Bei PVT-Kollektoren findet der Wärmeübergang von der Außenluft auf die Sole und von der Sole auf das Kältemittel in der Wärmepumpe statt. Dieser Sole-Zwischenkreis reduziert die nutzbare Temperatur, was die Effizienz der Wärmepumpe verschlechtert.



Detaillierte Informationen finden sich auf der Homepage von Consolar. Dort sind auch zahlreiche Downloads vorhanden, unter anderem die technische Dokumentation der PVT-Kollektoren.

<https://www.consolar.de/de/pvt-kollektor-solink/>

Als Dacheindeckung wurden vom Bauträger Dachplatten von Braas, Typ Tegalit verwendet. Es wurde entschieden, anstelle der von Consolar angebotenen Dachanker die speziellen Modulstützen von Braas zu verwenden und diese vom Dachdecker installieren zu lassen. Das führte zwar zu Mehrkosten von ca. 40.000 €, ist aber eine saubere Schnittstelle zwischen Dachdecker und Heizungsinstallateur und ist die technisch eindeutig besser Variante. An die Modulstützen wurden Quer- und Längsprofile aus Aluminium installiert. Dies erlaubte die Installation der PV-Module unabhängig von der Position der Modulstützen, was bei der besonderen Dachform und der zwingend erforderlichen, kompletten Belegung wichtig war. Außerdem erhöhen die zwei Lagen der Alu-Profile den parallelen Dachabstand, was die Hinterlüftung der Kollektoren verbessert. Der Dachabstand sollte mindestens 100 mm betragen. Da sich der Wärmetauscher auf der Rückseite der PVT-Kollektoren befindet ist eine ausreichende Hinterlüftung zwingend erforderlich, eine Integration ins Dach ist unmöglich. Zur besseren Hinterlüftung ist auch ein Abstand zwischen den Kollektoren von 100 mm erforderlich, eine Montage Stoß an Stoß, wie das bei reinen PV-Anlagen ausgeführt wird, ist bei diesen PVT-Kollektoren nicht möglich.

Eine besondere Anforderung an die Dachstatik gab es nicht, der PVT-Kollektor ist schwerer als ein reines PV-Modul, aber leichter als ein üblicher Solarthermie-Kollektor.

Am Dachfirst wurden Sekuranten mit einem Seil und Laufkatze installiert, um für spätere Wartungs- und Kontrollarbeiten im Betrieb eine Absturzsicherung zu gewährleisten. Hierfür gibt es im Treppenhaus ein Dachfenster zum Ausstieg. Problematisch ist, dass die Höhe bis zum Dachfenster im Treppenhaus über 4 m beträgt, was den Dachausstieg erschwert.

Die Verrohrung wurde in Edelstahl ausgeführt. Eine kostengünstigere Alternative wäre eine Anschlussverrohrung aus Kunststoff. Bei Kunststoffrohren ist aber die Längenausdehnung bei Erwärmung deutlich höher und das Rohr muss im Außenbereich gegen die UV-Strahlung der Sonne geschützt werden. Aus optischen Gründen wünschte der Architekt über der seitlichen Verrohrung Abdeckbleche.



Montage Modulstützen
links Sekuranten und Seil zur Absturzsicherung



Montage der Alu-Profile, quer und längs



Montage der PVT-Kollektoren



Anschlussverrohrung mit seitlichem Abdeckblech

2.3.2 Wärmepumpen

Es wurden Wärmepumpen des Herstellers Waterkotte gewählt (Typ EcoTouch 5034.5T im kleinen Haus Bäumleacker 9 und EcoTouch 5045.5T in den größeren Häusern Bäumleacker 1-7). Es sind Wärmepumpen mit 2 Verdichtern und können damit zweistufig in der Leistung betrieben werden, eine stufenlose Leistungsmodulation wie bei Inverter-Wärmepumpen ist bei diesem Typ nicht möglich. Es ist eine Sole-Wasser-Wärmepumpe, die in der Regel mit Erdsonden eingesetzt wird. Da Consolar eine Kooperation mit Waterkotte eingegangen ist, haben wir uns davon versprochen, dass das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten gut funktioniert. Die Wärmepumpen werden mit dem Kältemittel R410A betrieben, die Füllmenge beträgt 5,0 kg bei den größeren und 4,0 kg bei der kleineren Wärmepumpe.



Vorderseite Wärmepumpe
im Hintergrund Pufferspeicher
rechts Heizkreis, CONTROL 602 Regler



Rückseite Wärmepumpe,
Sole- und Heizkreispumpe (Fabr. Wilo, grün)
Soleleitung (schwarze Dämmung)

In der folgenden Tabelle ist die Heizleistung in Abhängigkeit der Quelltemperatur (Sole vom Kollektor) und des Heizungsvorlaufs dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die Leistung sehr stark

schwankt, von minimal 22,0 kW (bei Quelle -15 °C / Senke 50 °C) bis maximal 56,3 kW (bei Quelle 20 °C / Senke 30 °C). Auf dem Datenblatt wird bei Sole-Wasser-Wärmepumpen in der Regel die Leistung B0/W35 angegeben, das heißt die Quelle hat 0 °C und die Senke 35 °C. Im Diagramm ist dieser Betriebspunkt grün markiert. Für die Auslegung im Zusammenhang mit PVT-Kollektoren sind aber die niedrigeren Temperaturen zu beachten, die bei kalten Außentemperaturen relevant sind. Dort tritt auch der höchste Wärmeleistungsbedarf auf. Beispielsweise beträgt bei einer Soletemperatur von -15 °C (entspricht einer Außentemperatur von ca. -10 °C) und einer Fußbodenheizung (35 °C) die Heizleistung der Wärmepumpe nur noch 22,8 kW.

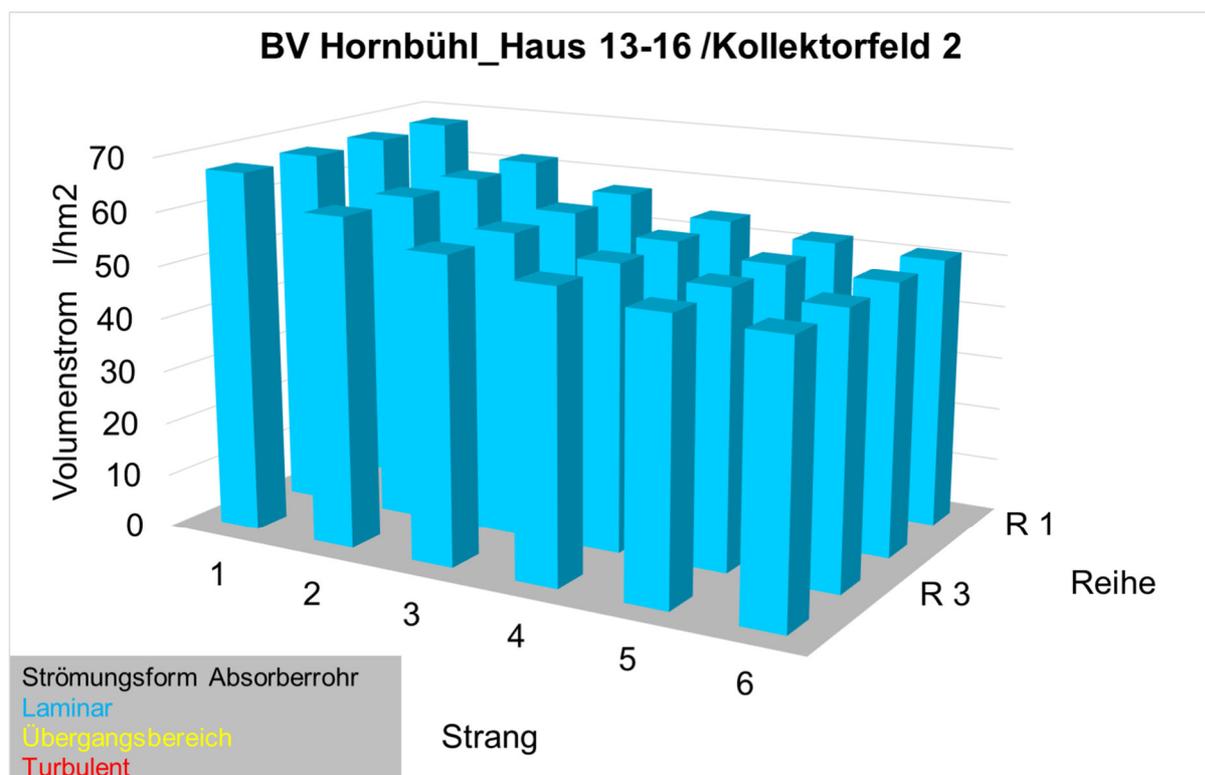
Im Diagramm ist auch ersichtlich, dass bei negativen Soletemperaturen nur noch Heizungstemperaturen zwischen 50 und 60 °C erreicht werden. Die DVGW fordert bei einer zentralen Warmwasserbereitung mindestens 60 °C Trink-Warmwassertemperatur, die dann von der Wärmepumpe ohne Unterstützung eines E-Heizstabs nicht mehr erreicht werden. Es ist daher zu empfehlen, die Trinkwassererwärmung dezentral mit Wohnungsstationen zu realisieren.

		Heizleistung [kW]							
		Temperatur Quelle Ein [°C]							
		-15	-10	-5	0	5	10	15	20
Heizung-Vorlauf [°C]	30	23,2	26,7	30,6	35,0	39,7	44,8	50,4	56,3
	35	22,8	26,3	30,1	34,3	38,9	43,9	49,3	55,1
	40	22,5	25,8	29,5	33,6	38,0	42,9	48,1	53,8
	45	22,2	25,5	29,0	32,9	37,2	41,9	47,0	52,5
	50	22,0	25,1	28,5	32,3	36,4	41,0	45,9	51,2
	55		24,8	28,1	31,7	35,7	40,0	44,8	49,9
	60			27,7	31,2	35,0	39,1	43,7	48,6
	65				30,7	34,3	38,3	42,6	47,4

In der folgenden Tabelle ist der COP bei den einzelnen Betriebspunkten dargestellt und auch hier ist die große Schwankung in Abhängigkeit der Temperaturen zu erkennen. Der COP geht von minimal 2,27 bis maximal 8,02, beträgt laut Datenblatt 4,44 (bei B0/W35) und ist im Mittelwert bei 3,88. Die Simulation hat 3,80 ergeben, liegt also ziemlich nah am arithmetischen Mittelwert. Dies ist bei diversen Berechnungen dringend zu beachten! Häufig wird der Fehler gemacht, dass nur die Werte aus dem Datenblatt beim Betriebspunkt B0/W35 verwendet werden.

		Leistungszahl - COP (EN 14511)							
		Temperatur Quelle Ein [°C]							
		-15	-10	-5	0	5	10	15	20
Heizung-Vorlauf [°C]	30	3,46	3,92	4,44	5,01	5,65	6,36	7,15	8,02
	35	3,11	3,51	3,95	4,44	4,97	5,57	6,23	6,95
	40	2,79	3,14	3,52	3,93	4,39	4,89	5,44	6,04
	45	2,52	2,81	3,14	3,49	3,87	4,30	4,76	5,26
	50	2,27	2,52	2,79	3,09	3,42	3,77	4,16	4,58
	55		2,26	2,49	2,74	3,01	3,31	3,64	3,99
	60			2,21	2,43	2,66	2,91	3,18	3,47
	65				2,15	2,34	2,55	2,78	3,02

Die Temperaturspreizung im Solekreis beträgt ca. 5 K, d. h. die Wärmepumpe kühlt die Sole vom Kollektor kommend um 5 °C ab. Diese kleine Spreizung führt zu hohen Volumenströmen im Kollektorkreis. Bei großen Anlagen muss daher der Druckverlust im Kollektor und die maximal mögliche Reihenschaltung der Kollektoren in einem Strang berücksichtigt werden. Die Kollektoren und Kollektorfelder sollten einigermaßen gleichmäßig durchströmt werden. Consolar bietet dafür eine hydraulische Berechnung mit dem Programm HYDRA an. Diese Berechnung ist auf jeden Fall zu empfehlen, da sie Einfluss auf die Rohrdimensionierung, hydraulische Verschaltung, Auswahl der Kollektorkreispumpe und ggf. Wärmepumpe hat. Im folgenden Diagramm ist das Ergebnis für das Kollektorfeld 2 mit 6 Kollektoren hintereinander in einem Strang und vier Reihen dargestellt. Es ist ersichtlich, dass der 1. Kollektor im Strang stärker durchströmt wird als der 6. Kollektor, da der Druckverlust zwischen dem 1. und 6. Kollektor zunimmt. Das lässt sich nicht vermeiden, der Unterschied im Volumenstrom sollte aber maximal 25 % betragen. Zwischen den einzelnen Reihen gibt es kaum einen Unterschied, da der Druckverlust in der Sammelleitung im Vergleich zu dem in den Kollektoren vernachlässigbar ist. Die Sammelleitung und Steigleitung dürfen nicht zu knapp dimensioniert werden. Im vorliegenden Projekt war das eine Edelstahl-Leitung der Dimension DN50.



Die Einsatzgrenze auf der Verdampferseite (Wärmeaufnahme) liegt bei maximal 25 °C. Da der PVT-Kollektor in den Sommermonaten höhere Temperaturen erreicht, ist ein Runtermischen der Soletemperatur erforderlich. Diese Regelung übernimmt ein Drei-Wege-Ventil und ein externes Regelgerät von Consolar (CONTROL 602 SOLINK). Die Untergrenze der Soletemperatur liegt bei -15 °C. Diese sehr tiefen Temperaturen sind für viele Sole-Wasser-Wärmepumpen nicht mehr möglich. Häufig wird hier eine minimale Temperatur von -5 bis -10 °C angegeben, was die Auswahl der Hersteller deutlich einschränkt.

Es ist zu beachten, dass es sich auf der Solesseite um Kälteanlagenbau und nicht um klassischen Heizungsanlagenbau handelt. Bei der Dämmung ist zwingend ein geschlossenzelliger Weichschaum (Beispiel Fabrikat Armaflex) erforderlich. Besonders Augenmerk muss auf die Qualität der Dämmung gelegt werden, da die Oberfläche luftdicht sein sollte, was aber in der Praxis teilweise schwer umzusetzen ist. Beispielsweise durchdringt die Antriebsstange des oben genannten Drei-Wege-Ventils zur Regelung der Wärmepumpen-Eintrittstemperatur die Dämmung und diese Stelle ist schwer abzudichten. Alle Entleerungsventile müssen mit Dämmkappen versehen werden, im Betrieb zeigt sich aber, dass diese Dämmkappe beim erforderlichen Betätigen des Ventils entfernt und im Anschluss oft nicht mehr richtig angebracht wird. Bei den kalten Temperaturen kommt es dann zur Eisbildung durch die Luftfeuchtigkeit im Raum, was auf den folgenden Bildern ersichtlich ist. Bei steigenden Temperaturen taut das Eis und es kommt zur Kondensatbildung, die auch bei Temperaturen über dem Gefrierpunkt und unterhalb des Taupunkts entsteht.

Auch die Kühlrippen auf der Kollektorrückseite vereisen bei tiefen Außentemperaturen, was den Wärmeübergang verschlechtert und die Wärmeleistung reduziert. Da das in den Zeiten des höchsten Wärmeleistungsbedarfs der Gebäude passiert, ist ein Enteisen der Kollektoren erforderlich. Hierfür gibt es eine Enteisungsfunktion, welche vom Consolar-Regler gesteuert wird. Die Strömung im Kollektorkreis wird umgekehrt und Wärme wird vom Pufferspeicher zum Kollektorfeld transportiert, um diesen zu enteisen.



Kugelhahn, Entleerung



Kabeldurchführung



Ventilantrieb

2.3.3 Pufferspeicher und Warmwasserbereitung

Es wurden zwei Pufferspeicher mit jeweils 1.000 l Volumen parallel installiert. Über ein Drei-Wege-Umschaltventil wird die Beladung durch die Wärmepumpe auf den jeweiligen Puffer umgeschaltet. An dem Speicher FBH hängt der gemischte Heizkreis für die Fußbodenheizung und aus diesem Speicher wird auch die Wärme für die Kollektorenteisung entnommen. Dieser Speicher wird nur während der Heizperiode auf 35 °C beladen. An dem Speicher FRIWA hängt die Frischwasserstation zur Trink-Warmwasserbereitung. Dieser Speicher wird ganzjährig auf 63 °C beladen. In beiden Speichern ist ein elektrischer Heizstab mit 15 kW Leistung installiert. Sowohl E-Heizstab als auch Speicher wurden von Waterkotte (Typ Ecostock) eingesetzt. Auch die Frischwasserstation wurde von Waterkotte (Typ EcoPack 100) gewählt. Die Entnahmemenge beträgt bei einer Erwärmung des Trinkwassers von 10 auf 50 °C maximal 35,8 l/min. Hierfür ist eine hohe Entnahmeleistung von 100 kW erforderlich, was den Einsatz eines Pufferspeichers erforderlich macht, da die Heizleistung der Wärmepumpe deutlich kleiner ist.



Pufferspeicher
in der Mitte, E-Heizstab



Frischwasserstation
rechts, Warmwasser-Zirkulation

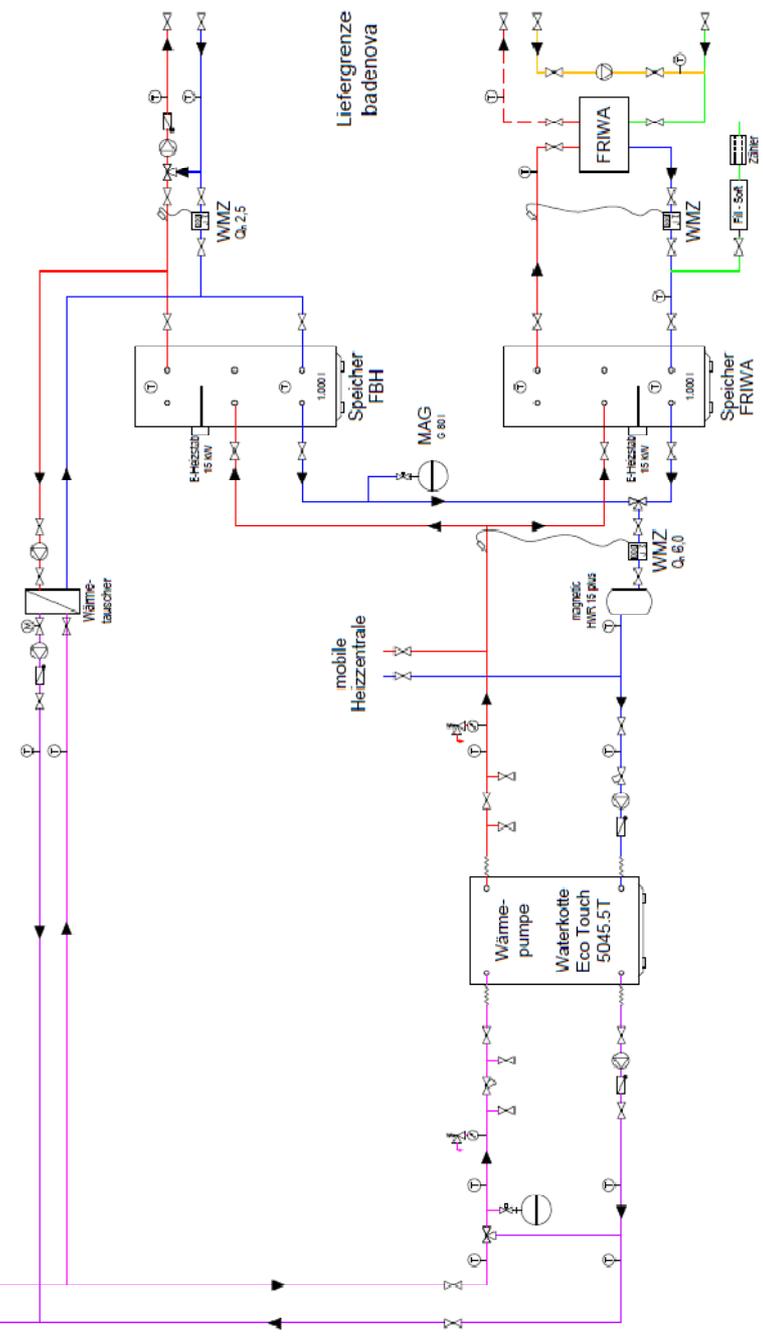
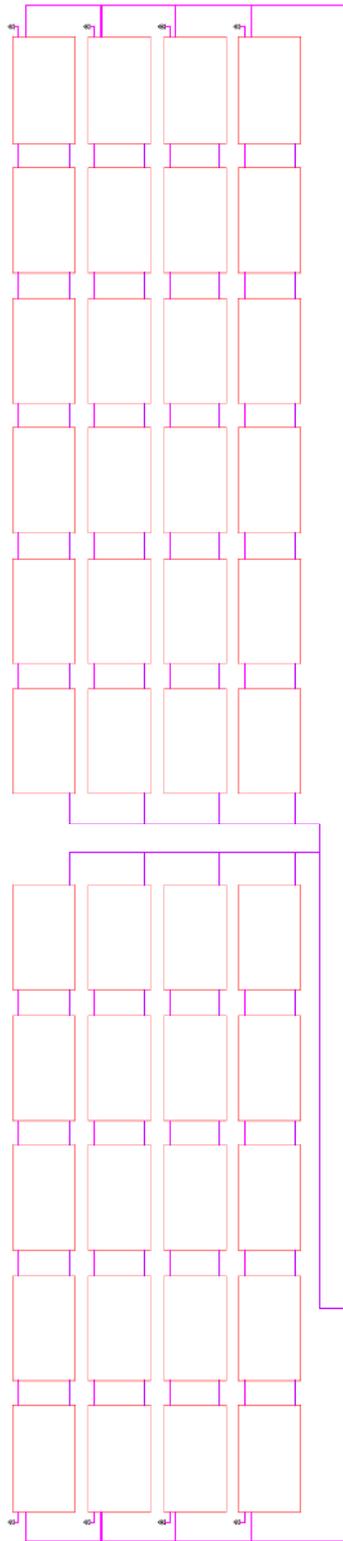
Es wurde bewusst ein Mischen unterschiedlicher Fabrikate vermieden, da davon ein besseres Zusammenspiel aller Komponenten, klare Zuständigkeiten und weniger Schnittstellen erwartet wurden.

2.3.4 Schemata Wärmeerzeugung und Kollektorfeld

Im Folgenden ist das Hydraulikschema der Wärmeerzeugungsanlage dargestellt. Die Anlage befindet sich im jeweiligen Technikraum im Untergeschoss der Gebäude. Es ist dort auch die Liefer- und Betreuungsgrenze der badenovaWÄRMEPLUS ersichtlich.

Im Schema ist auch das Kollektorfeld mit 44 PVT-Kollektoren auf den Gebäuden Bäumleacker 1 – 7 dargestellt. Aus den bereits beschriebenen Gründen des Druckverlustes und der gleichmäßigen Durchströmung der Kollektoren können nur maximal 6 Kollektoren in Reihe geschaltet werden. Die Kollektoren wurden daher auf zwei Kollektorfelder aufgeteilt, eines mit 6 in Reihe (rechts) und eins mit 5 in Reihe (links). Je Kollektorfeld gibt es 4 Stränge parallel.

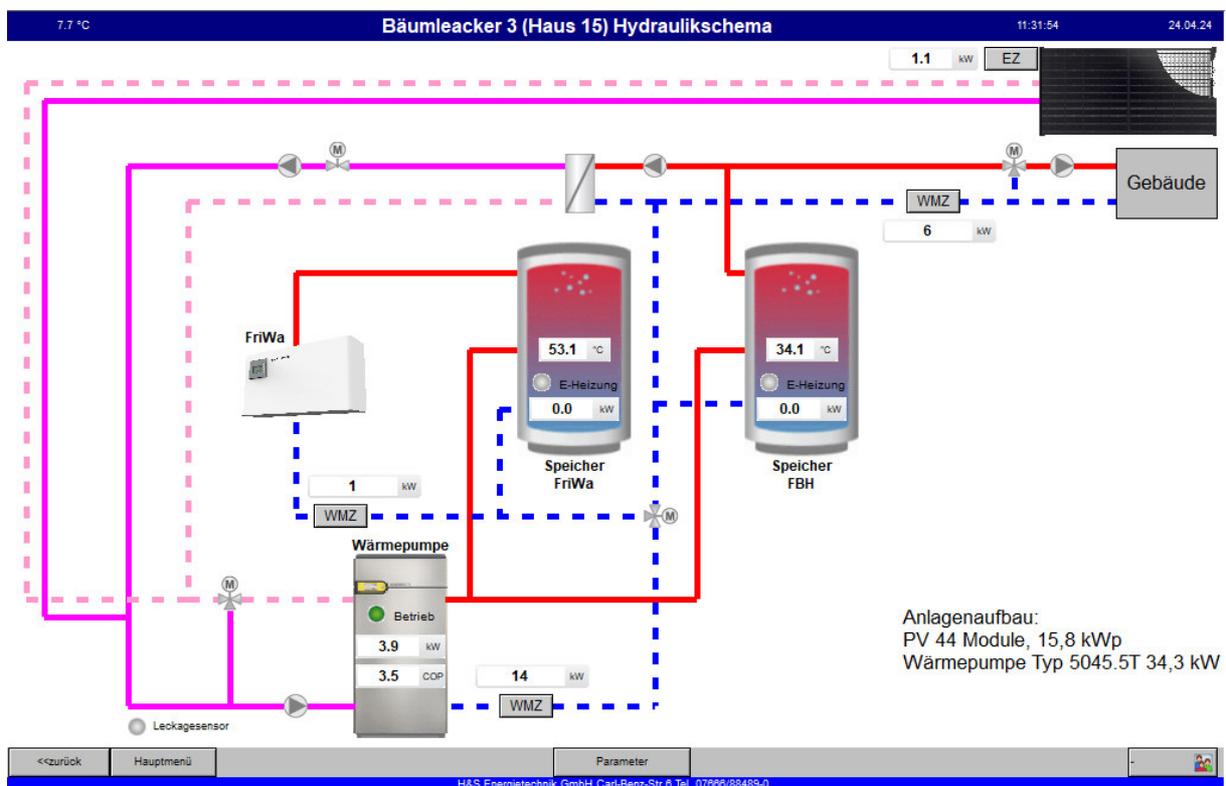
An den Anschlussstutzen für ein mobile Heizzentrale könnte ein elektrisches Heizgerät angeschlossen werden und bei einem längeren Schaden am Kollektorfeld die Wärmeversorgung sicherstellen.



- rot Heizungsvorlauf
- blau Heizungsrücklauf
- rosa Kollektorstromlauf vom Kollektorstromfeld
- magenta Kollektorstromrücklauf zum Kollektorstromfeld
- grün Trinkwasser, kalt
- rot, gestrichelt Trinkwasser, warm
- gelb Trinkwasser, Zirkulation

2.3.5 Gebäudeleittechnik und Netzwerk

Die fünf Gebäude sind über eine gemeinsame Tiefgarage verbunden und über diese wurde ein Licht-Wellen-Leiter-Netzwerk (LWL) aufgebaut, um die Gebäudeleittechnik (GLT) auf eine Zentrale aufzuschalten. Diese Zentrale ist über einen DSL-Anschluss auf die zentrale Leitstelle der badenovaWÄRMEPLUS aufgeschaltet, über die der Fernzugriff und die Störmeldeweiterleitung realisiert wird. Es wurde ein System des Herstellers Saia eingesetzt und die Umsetzung hat die Fa. H&S Energietechnik realisiert. Da ursprünglich keine GLT geplant war, wurde mit der Planung und Umsetzung erst später begonnen und erst im März 2024 konnte die Gebäudeleittechnik in Betrieb genommen werden. Die Betriebszustände jeder Anlage werden mit dem Hydraulikschema visualisiert. Beispielhaft ist in folgendem Screenshot der Betriebszustand der Anlage Bäumleacker 3 am 24.04.24 um 11:31 Uhr dargestellt.



Neben der Datenerfassung der drei Wärmemengenzähler und der vier Stromzähler erfolgt über die GLT auch die Regelung des E-Heizstabes im Speicher FBH. Dieser war bisher unregelt, da die Wärmepumpe nur *einen* externen Wärmeerzeuger ansteuern kann, seitens der Wärmepumpe wurde also nur der E-Heizstab im Speicher FRIWA angesteuert, was ein untragbarer Zustand war und zu Fehlfunktionen führte. Im Folgenden Screenshot ist die Erfassung der Zählerdaten dargestellt. Neben den Wärme- und Strommengen werden auch die Leistungen und bei der Wärme auch Durchfluss und Vor- und Rücklauftemperatur erfasst.

WMZ	Wärmemenge	Volumen	Durchfluss	Leistung	VL-Temp	RL-Temp
Wärmepumpe	41.78 MWh	12907.7 m ³	3.6 m ³ /h	10 kW	32.0 °C	30.0 °C
Frischwasserstation	13.88 MWh	13293.0 m ³	1.9 m ³ /h	1 kW	53.0 °C	53.0 °C
Heizung Gebäude	25.62 MWh	4411.5 m ³	1.0 m ³ /h	6 kW	34.0 °C	29.0 °C
Elektrozähler	Zählerstand	Leistung				
P2 PV	4002 kWh	1.0 kW				
P3 WP	6593 kWh	4.0 kW				
P4 EHZ Heizung	31 kWh	0.0 kW				
P5 EHZ Warmwasser	4 kWh	0.0 kW				

Auf dem folgenden Bild ist links der Schaltschrank für die Gebäudeleittechnik, in der Mitte der Wechselrichter (Fabrikat Fronius, Typ Symo), der Rundsteuerempfänger und rechts der Schaltschrank für die Wärmeerzeugungsanlage dargestellt. In diesem Schaltschrank befinden sich auch die Strom-Unterzähler. Es sollten M-Bus-fähige Stromzähler gewählt werden, diese sind unwesentlich teurer als einfache Zähler mit Impulsausgang, bieten für die Fernauslesung aber deutlich mehr Möglichkeiten. Auf dem rechten Bild ist ein Wärmemengenzähler dargestellt. Es wurden Ultraschall-Zähler von Landis+Gyr, Typ UH50 eingesetzt. Alle abrechnungsrelevanten Zähler wurden mit einem LORAWAN-Modul ausgerüstet, was eine Fernauslesung und damit einfache Zählererfassung zur Wärmeabrechnung ermöglicht.



Schaltschränke, Wechselrichter, Rundsteuerempfänger



Wärmemengenzähler

Zwischen Wechselrichter und rechtem Schaltschrank ist der Rundsteuerempfänger ersichtlich. Gemäß EEG müssen PV-Anlagen größer 25 kW mit so einem Regelgerät ausgestattet werden, welches dem Netzbetreiber ein Abschalten der Anlage ermöglicht, sollte es zu einem Leistungsüberschuss im Netz kommen. Alternativ könnte auch der Wechselrichter dauerhaft auf eine Leistung von 70 % begrenzt werden. Um einen möglichst hohen Stromertrag zu bekommen, wurde auf diese dauerhafte Leistungsbegrenzung verzichtet. Bei Projektbeginn war die Grenze noch bei 10 kW und alle fünf Anlagen wurden mit einem Rundsteuerempfänger ausgerüstet. Während der

Projektumsetzung änderte sich das Gesetz und die Grenze wurde auf 25 kW angehoben und alle fünf Rundsteuerempfänger wurden wieder demontiert. Da jeweils zwei Gebäude aber über einen gemeinsamen Hausanschluss verfügen und für den Netzbetreiber der Netzverknüpfungspunkt maßgeblich ist, mussten bei zwei Anlagen diese Rundsteuerempfänger wieder installiert werden, da eine Anlage zwar nur 15,8 kW hat, zwei zusammen aber mit 31,6 kW über der Grenze von 25 kW liegen. Die sich während der Projektumsetzung schnell verändernden Gesetze, Richtlinien und Förderungen stellten eine Herausforderung dar.

2.4 Anlagenbetrieb

Da die Wärmepumpenanlagen noch nicht so lange in Betrieb sind und die übergeordnete Gebäudeleittechnik erst 2024 in Betrieb genommen werden konnte, liegt noch keine Datenaufzeichnung über einen längeren Zeitraum vor. Die Gebäude wurden sukzessive bezogen, der bisher erfasste Wärmeverbrauch ist daher geringer als bei einem vollständigen Bezug aller Wohneinheiten. Es kam während oder kurz nach der Inbetriebnahme zu einigen Störungen und Unregelmäßigkeiten im Betrieb. Jetzt laufen die Anlagen aber sehr stabil und weitestgehend störungsfrei. Die meisten Störungen treten an der Wärmepumpe und der Regelungstechnik auf und sind unabhängig von den PVT-Kollektoren. Am Kollektor traten keine Störungen auf.

Es wurde befürchtet, dass die Reinigung der Lamellen auf der Kollektorrückseite erforderlich ist. Bisher war dies aber nicht erforderlich. Es kommt dort zu starken Temperaturschwankungen, Luftströmung, zu Tauwasserbildung und im Winter auch zu Eisbildung, was eine Ansiedlung von Insekten oder Vögeln eher verhindert als dies bei trockenen Anlagen der Fall ist.

2.4.1 Auswertung der Betriebsergebnisse Wärme

Das Gebäude Bäumleacker 9 wurde als erstes bezogen und ist mittlerweile auch komplett bezogen. Dort wurden manuell die Wärmemengen für das zweite Halbjahr 2023 abgelesen und diese durch eine Verdoppelung auf die Jahresmengen hochgerechnet und den Planzahlen gegenübergestellt. Es ist aus den Wärmemengen in der Tabelle ersichtlich, dass die Wärmemengen und auch die Aufteilung auf Warmwasserbereitung und Heizung sehr gut mit den Planwerten übereinstimmen.

Wärme	Halbjahr	Jahr	Plan	
WWB	5.185	10.370	11.545	kWh/a
Heizung	10.372	20.744	19.242	kWh/a
Summe	14.580	29.160	30.787	kWh/a

2.4.2 Auswertung der Betriebsergebnisse Strom

Der Hersteller der Wechselrichter, die Fa. Fronius, hatte die Bestellung der Wechselrichter aufgrund von massiven Lieferschwierigkeiten storniert und den Liefertermin auf April 2023 verschoben, was eine rechtzeitige Inbetriebnahme der PV-Anlagen unmöglich macht. Erst Ende Mai 2023 konnten dann die PV-Anlagen in Betrieb genommen werden. Über das 2024 fertiggestellte Datennetzwerk konnte auch der Fernzugriff auf die Wechselrichter über die Plattform von Fronius realisiert werden.

Es wurden daher auch die Stromzähler wie die Wärmehzähler für das 2. Halbjahr 2023 manuell abgelesen und die Jahresmenge durch Verdoppelung hochgerechnet. Die Daten sind in folgender

Tabelle jeweils für die fünf Gebäude dargestellt. Bei den vier großen Gebäuden war die von der PV-Anlagen erzeugte Strommenge ca. 18.000 kWh/a und bei allen Gebäuden sehr ähnlich. Sie lag damit um 14 % über der Prognose von 15.800 kWh/a.

Der Anteil des Eigenverbrauchs war bei den Gebäuden Bäumleacker 1 und 3 relativ gering, was daran lag, dass dort die Wärmepumpen erst später in Betrieb gegangen sind. Bei den Gebäuden Bäumleacker 5 bis 9 liegt der Eigenverbrauchsanteil bei ca. 20 % und damit unter der Prognose von 25 %. Durch Optimierungsmaßnahmen, wie z. B. der Nutzung der Smart-Grid-Ready-Schnittstelle (SGR) der Wärmepumpe über den Wechselrichter oder die Verschiebung von Pufferladetemperaturen in Abhängigkeit vom Solarstromangebot könnten die 25 % erreicht werden. Eine Erhöhung des Eigenverbrauchs von 5 % würde allerdings nur ca. 850 kWh/a bedeuten, was bei einer Differenz von Strombezugspreis und EEG-Vergütung von z. B. 20 Ct./kWh einen Mehrerlös von ca. 170 €/a bedeutet. Mit den einfachen Regelungen dieser kleinen Anlagen können diese Optimierungen kaum realisiert werden und eine zusätzliche, komplexe Regelung ist bei den geringen Mehrerlösen wirtschaftlich schwer darstellbar. Auch die Installation eines Stromspeichers (Batterie) ist wirtschaftlich kaum darstellbar. Es gibt aber Überlegungen wenigstens ein Gebäude z. B. mit einer 10 kWh Batterie auszustatten. Da die Gebäude und Anlagen exakt baugleich sind, könnte damit die Steigerung des Eigenverbrauchs durch den Einsatz einer Batterie genau bestimmt werden.

Sehr auffallend ist der Stromverbrauch der E-Heizstäbe. Er ist in den meisten Gebäuden viel zu hoch und deutet auf eine Fehlfunktion hin. In den Gebäuden Bäumleacker 5 und 7 ist der Stromverbrauch für den E-Heizstab WWB exorbitant hoch. Hier schaltet die Wärmepumpe vermutlich zu früh ab und der E-Heizstab macht den letzten Temperaturhub auf 63 °C. Bei Soletemperaturen unter 0 °C ist das normal, da die Wärmepumpe die geforderte Temperatur dann gar nicht mehr erzeugen kann. Bei höheren Soletemperaturen muss die Wärmepumpe aber den gesamten Temperaturhub ohne E-Heizstab schaffen. In den Gebäuden Bäumleacker 5 und 9 ist auch der Stromverbrauch für den E-Heizstab Heizung sehr hoch. Das liegt im Wesentlichen daran, dass dieser E-Heizstab von der Wärmepumpe nicht angesteuert werden kann und so der Pufferspeicher Heizung auch im Sommer unsinnigerweise auf 35 °C aufgeheizt und gehalten wurde. Dies war einer der Gründe, warum die GLT nachgerüstet wurde und jetzt die Steuerung des Heizstabes übernimmt. Hier gibt es also großes Optimierungspotential und es ist ein bekanntes Problem von Wärmepumpen in Kombination mit E-Heizstäben, dass diese unkontrolliert und viel zu viel parallel mitbetrieben werden und dies aufgrund der fehlenden Datenaufzeichnung nicht bemerkt wird.

Beruhigend ist das Gebäude Bäumleacker 3, hier sind beide Heizstäbe kaum gelaufen und es ist exakt die gleiche Anlage, vom gleichen Inbetriebnehmer in Betrieb genommen. In der Simulation wurde ein Anteil der E-Heizstäbe am gesamten Stromverbrauch von 2,7 % errechnet. Im Gebäude Bäumleacker 3 liegt der Anteil sogar nur bei 0,6 %.

Adresse	Strom	Zählerstände in kWh		Halbjahr	Jahr
		04.07.2023	03.01.2024		
Bäumleacker 1 79117 Freiburg	Netzbezug	3.125	8.513	5.388	10.776
	Netzeinspeisung	4.152	12.285	8.133	16.266
	Erzeugung PV (Px)	4.662	13.804	9.143	18.286
	PV-Eigenverbrauch				2.020
	Verbrauch WP (Px)	1.432	6.940	5.508	11.016
	Verbrauch Heizstab Hzg.	2.161	2.196	35	70
	Verbrauch Heizstab WWB	33	857	824	1.648
Summe Verbrauch				12.733	
Bäumleacker 3 79117 Freiburg	Netzbezug	257	5.852	5.595	11.190
	Netzeinspeisung	3.908	11.693	7.785	15.570
	Erzeugung PV (Px)	4.136	12.940	8.805	17.609
	PV-Eigenverbrauch				2.039
	Verbrauch WP (Px)	480	7.023	6.543	13.086
	Verbrauch Heizstab Hzg.	2	34	32	64
	Verbrauch Heizstab WWB	0	10	10	21
Summe Verbrauch				13.171	
Bäumleacker 5 79117 Freiburg	Netzbezug	15.544	27.374	11.830	23.660
	Netzeinspeisung	3.891	11.124	7.233	14.466
	Erzeugung PV (Px)	4.635	13.709	9.074	18.148
	PV-Eigenverbrauch				3.682
	Verbrauch WP (Px)	10.504	14.855	4.351	8.702
	Verbrauch Heizstab Hzg.	1.322	2.668	1.346	2.692
	Verbrauch Heizstab WWB	4.436	12.377	7.941	15.882
Summe Verbrauch				27.276	
Bäumleacker 7 79117 Freiburg	Netzbezug	15.381	28.741	13.360	26.720
	Netzeinspeisung	3.891	11.126	7.235	14.470
	Erzeugung PV (Px)	4.630	13.644	9.014	18.029
	PV-Eigenverbrauch				3.559
	Verbrauch WP (Px)	11.219	14.839	3.620	7.240
	Verbrauch Heizstab Hzg.	2.847	3.175	328	656
	Verbrauch Heizstab WWB	1.871	13.248	11.377	22.753
Summe Verbrauch				30.649	
Bäumleacker 9 79117 Freiburg	Netzbezug	22.415	29.891	7.476	14.952
	Netzeinspeisung	3.311	9.483	6.172	12.344
	Erzeugung PV (Px)	3.899	11.526	7.627	15.254
					2.910
	Verbrauch WP (Px)	9.567	15.038	5.470	10.941
	Verbrauch Heizstab Hzg.	9.398	12.147	2.749	5.498
	Verbrauch Heizstab WWB	3.756	4.014	258	515
Summe Verbrauch				16.954	

2.4.3 Aufgetretene Störungen und Lösungen im Betrieb

Wärmepumpe

Es sind bisher relativ wenige Störungen im Betrieb der Wärmepumpen entstanden. Bei einer Wärmepumpe treten vermehrt Hochdruckstörungen im Kältekreis ein. Diese entstehen bei der Erzeugung von hohen Temperaturen, die einen hohen Druck im Kältekreis erfordern. Die Wärmepumpen laufen stabiler, wenn die hohen Temperaturen nicht erzeugt werden müssen, was dann aber den Einsatz der E-Heizstäbe im Speicher für Warmwasserbereitung erhöht, da dort mindestens 63 °C benötigt werden, um eine Trinkwarmwassertemperatur von 60 °C zu erreichen, die zur Vermeidung von Legionellen gefordert wird. Das spricht eindeutig für den Einsatz von dezentralen Wohnungsstationen mit geringeren Temperaturanforderungen.

PVT-Kollektor

Die Regelung der Abtaufunktion ging ein paar Mal auf Störung, da der Abtauvorgang zu lange dauerte. Während des Abtauvorgangs wird die Wärmepumpe gesperrt, d. h. er darf nicht zu lange dauern, sonst kommt es zu einer Unterversorgung der Heizung. Das Problem war die zu geringe Temperatur im Speicher FBH, aus dem die Wärme für die Abtauung entnommen wird.

Bei einer Anlage kam es zur Abstellung der Wärmepumpe durch den Consolar-Regler, da die Eintrittstemperatur zu lange über dem Maximalwert von 25 °C lag. Dies geschieht zum Schutz der Wärmepumpe und die Sperrung stellt sich nicht wieder zurück, sollte die Temperatur unter den Maximalwert sinken. Hier lag ein Problem mit dem Drei-Wege-Ventil vor.

Bei einer Anlage kam es zum Soleaustritt im Heizraum. Die Ursache war unklar. Es musste dann wieder Sole nachgefüllt werden, um den erforderlichen Betriebsdruck im Kollektorkreis zu erreichen. Für solche Fälle sollte auf jeden Fall Sole in einem Kanister im Heizraum vorgehalten werden. Zum Nachfüllen der Sole braucht es eine spezielle Pumpe. Da diese oft nicht vorhanden ist, wird bei thermischen Solaranlagen manchmal der Fehler gemacht einfach Leitungswasser nachzufüllen. Das reduziert die Frostschutzgrenze der Sole und kann zu erheblichen Schäden führen. Es ist ratsam Sole und eine Befüllpumpe vor Ort vorzuhalten, damit schnell reagiert werden kann. Der PVT-Kollektor ist die einzige Wärmequelle für die Wärmepumpe und muss immer betriebsbereit sein.

Heizungsanlage

In einer Anlage kam es zur Störung der Wärmepumpe, da der Volumenstrom auf der Heizungsseite zu gering war und die Wärme nicht abgeführt werden konnte. Hier war wiederholt ein Schmutzfänger verstopft, was auf erhöhte Verschmutzung der Wärmeverteilungsanlage während der Bauphase zurückzuführen war. Sehr hilfreich war hier die Installation eines Wärmemengenzählers nach der Wärmepumpe, an welchem der Volumenstrom sehr genau abgelesen werden und der Fehler damit schnell gefunden werden konnte.

Es kam auch vermehrt zu Beschwerden, dass die Beheizung einzelner Wohnungen und Räume unzureichend war. Da diese Beschwerden nur aus einzelnen Wohnungen kamen, deutete es schon auf ein Problem der Wärmeverteilung und nicht der Wärmeerzeugung hin. Es lag teilweise an Einstellungen der Einzelraumregelung oder fehlerhaften Stellantrieben auf den Heizkreisverteilern in den Wohnungen.

Warmwasserbereitung

An den Frischwasserstationen zur Warmwasserbereitung sind keine Störungen aufgetreten.

MSR-Technik

Aufgrund der nicht vorhandenen Ansteuerung des Heizstabes im Speicher FBH kam es zu den bereits beschriebenen Fehlfunktionen, z. B. viel zu lange Betriebszeiten. Um das zu vermeiden, wurde der E-Heizstab über die Sicherung im Schaltschrank manuell gesperrt. Im Störfall der Wärmepumpe sollen die Heizstäbe die Wärmeversorgung übernehmen, was nach einer manuellen Abschaltung natürlich nicht mehr funktionierte.

Der Fernzugriff auf die Wärmepumpen ist noch nicht möglich. Hierfür ist eine separate Remote-Box erforderlich, die einen VPN-Tunnel zur sicheren Datenübertragung aufbaut. Es wurde je Wärmepumpe eine Remote-Box installiert und in das Netzwerk integriert. Bei vier Anlagen haben Remote-Box und Wärmepumpe einen unterschiedlichen Nummernkreis der IP-Adressen und damit funktioniert die Einwahl nicht. Ein Ändern der IP-Adresse ist nur durch einen Waterkotte-Techniker möglich. Die eine Anlage, bei der die Nummernkreise passen, konnte über das Internet erkannt werden und es wurde festgestellt, dass dort eine defekte SD-Karte eingebaut ist.

Die Ferneinwahl über das Netzwerk und MSR-Technik ist sehr kompliziert, was besonders an den vielen Einzelgeräten liegt. Das erzeugt unnötigen Betriebsaufwand, ist sehr mühsam und unbefriedigend.

2.5 Ökologischer Nutzen

2.5.1 Einsparung an Primärenergie

Bilanziell wird im Jahresverlauf mehr elektrische Energie in der PV-Anlage erzeugt als von der Wärmepumpe verbraucht wird. Das versorgte Gebäude ist also ein Plusenergiehaus in dem Sinn, dass die benötigte Energie für die Wärmeversorgung (Heizwärme und Trinkwassererwärmung) am Gebäude selbst erzeugt wird. Im Winter muss Strom aus dem Netz bezogen werden und im Sommer wird der Stromüberschuss der PV-Anlage in das Netz eingespeist.

Unter Berücksichtigung der monatlichen Energiebilanz gemäß EnEV beträgt der Primärenergiefaktor 0,38.

2.5.2 Reduktion der CO₂-Emission und Schadstoffemission

Durch die positive Bilanz aus Stromerzeugung und -verbrauch sind die CO₂-Emissionen gleich Null. Nicht berücksichtigt ist bei dieser bilanziellen Betrachtung, dass im Sommer bei der Einspeisung des Stromüberschusses im öffentlichen Netz bereits ein hoher Anteil an erneuerbarem Strom besteht, die Einsparung also gering ist. Im Winter hingegen muss Strom aus dem öffentlichen Netz bezogen werden und dann ist der Anteil erneuerbaren Stroms im öffentlichen Netz in der Regel geringer und dadurch die CO₂-Emission der Stromerzeugung höher. Die Strommengen im Sommer können also hinsichtlich CO₂-Emission nicht 1 zu 1 mit Strommengen im Winter verglichen werden. Durch den starken Ausbau erneuerbarer Stromerzeugung wird die CO₂-Emission strombasierter Wärmezeugung in Zukunft immer geringer.

Aufgrund von Strom als Endenergieträger entstehen für die Wärmeversorgung keinerlei lokale Schadstoff-Emissionen. Bei Holzpelletanlagen treten z. B. höhere Staubemission aufweisen.

Im Vergleich zu Luft-Wasser-Wärmepumpen ist bei dem System mit PVT-Kollektoren keinerlei Schallemission durch Luft-Wärmetauscher mit Ventilatoren im Außenbereich vorhanden.

2.6 Betrachtung der Wirtschaftlichkeit

2.6.1 Investitionskosten

In der folgenden Tabelle sind die gesamten Investitionskosten dargestellt. In der Position Heizungsinstallation sind die Wärmepumpen und PVT-Kollektoren enthalten. Die Elektroinstallation beinhaltet auch das LWL-Netzwerk zwischen den fünf Gebäuden. Die Position MSR-Technik ist die zusätzliche Gebäudeleittechnik, welche nachgerüstet wurde. Insgesamt lagen die Projektkosten damit über der ursprünglichen Kostenkalkulation. Dies hatte zum einen mit der teilweise geänderten Ausführung und diversen Ergänzungen zu tun, lag aber auch an den hohen Preissteigerungen, besonders im Bereich der Wärmepumpen.

Heizungsinstallation	566.000 €
Elektroinstallation	81.000 €
MSR-Technik	56.000 €
Dach, Montagestützen	38.000 €
Planung	32.000 €
Projektleitung	54.000 €
Summe	827.000 €

2.6.2 Betriebskosten

Die verbrauchsabhängigen Betriebskosten bestehen im Wesentlichen aus Stromkosten für die Wärmepumpen. Die Stromkosten sind beim Einsatz von PVT-Kollektoren als Wärmequelle aufgrund der höheren Effizienz geringer als bei Luft-Wasser-Wärmepumpen. Den Stromkosten steht die EEG-Vergütung aus der Stromeinspeisung der PV-Anlagen gegenüber. Die EEG-Vergütung für PV-Strom sinkt gemäß EEG jährlich ab und durch die Bauverzögerung beim Errichten der Gebäude und der Lieferengpässe bei den Wechselrichtern kommt es jetzt zu einer etwas geringeren EEG-Vergütung als ursprünglich geplant.

Ferner entstehen Kosten für Wartung und Instandhaltung der gesamten Anlage sowie spezielle Kosten für die Regelwartung der Wärmepumpen, Personalkosten für den Anlagenbetrieb und die Rufbereitschaft und Kosten für Versicherungen.

2.6.3 Verbesserung der Wirtschaftlichkeit

Maßnahmen zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit können nur schwer quantifiziert werden. Die Wärmeerlöse der Kunden decken im Wesentlichen nur die laufenden Kosten aus dem Betrieb. Um die Anlage wirtschaftlich darstellen zu können sind demnach Baukostenzuschüsse und Förderungen zwingend erforderlich. Sollten letztere bei künftigen Projekten wegfallen oder geringer ausfallen, sind höhere Baukostenzuschüsse erforderlich oder die Investitionskosten müssen reduziert werden. Hier gibt es durch mehr Erfahrungen, Weiterentwicklungen und eine Vereinfachung der Anlagen, z. B. weniger separate Regelungen, durchaus Möglichkeiten der Kostenreduktion.

Ferner könnten die Wärmepreise in Zukunft etwas angehoben werden, da auch die Referenzpreise aus einer fossilbasierten Wärmezeugung in Zukunft steigen werden, nicht zuletzt aufgrund der CO₂-Abgabe. Auch die Preise für Holzpellets sind in den letzten Jahren gestiegen.

2.7 Auswirkungen auf den zukünftigen Betrieb

Da die Anlage in Hornbühl-Ost die erste Anlage dieser Art bei badenovaWÄRMEPLUS ist, hat sie keine Auswirkungen auf den Betrieb anderer Anlagen. Die bisher gesammelten Erkenntnisse werden sicher Auswirkungen auf die Konzeption neuer PVT-Anlagen haben. Aufgetretene Ereignisse aus den ersten Betriebsmonaten, z. B. die zu hohe Betriebsdauer der E-Heizstäbe, haben bereits zu baulichen Anpassungen der Anlage und Änderungen im Betriebskonzept geführt.

2.8 Weiterführende, resultierende Maßnahmen

badenovaWÄRMEPLUS konzentriert sich auf den Bau größerer Anlagen für Mehrfamilienhäuser, da kleine Anlagen unter einer thermischen Leistung von ca. 100 kW im Contracting häufig nicht wirtschaftlich darstellbar sind. Wir haben bereits mehrere Anfragen erhalten und auch weitere Angebote zur Projektumsetzung unterbreitet, bestimmt wird es in Zukunft zu weiteren Projekten kommen. Im Moment konzentrieren wir uns aber auf die Fertigstellung und Optimierung der Anlage Hornbühl-Ost und wollen Erfahrungen mit dem Anlagenbetrieb sammeln und diese gerne anderen für die Realisierung ihrer Projekte zu Verfügung stellen.

2.9 Übertragbarkeit der Projektergebnisse

In Freiburg und Umgebung entstehen im Moment zahlreiche Neubaugebiete. Aufgrund der städtischen Struktur und der hohen Grundstückspreise entstehen im Wesentlichen größere Geschosswohnungsbauten in enger Bebauung. Da die meisten Neubauten als Effizienzhaus 40 realisiert werden ist die Anforderung an die maximale Temperatur gering. Diese Gebäude sind ein idealer Anwendungsfall für PVT-Kollektoren in Verbindung mit Wärmepumpen. Aber auch Altbauten werden nach einer Sanierung und Wärmedämmung sehr interessant, da es im städtischen Bereich kaum Alternativen gibt. Große Luftwärmetauscher finden kaum Platz oder verursachen eine zu hohe Schallemission. Viele Bohrungen für Erdwärmesonden sind im städtischen Raum auch kaum realisierbar. Sollte die Dachfläche für die erforderliche Wärmeleistung nicht ausreichen, ist auch eine Kombination mit dem meist schon vorhandenen Erdgas-Kessel denkbar. Die PVT-Kollektoren mit der Wärmepumpe würden die Grundlast, der Erdgas-Kessel die Spitzenlast bereitstellen. 50 % der Wärmeleistung decken bis zu 90 % des Wärmebedarfs, eine solche bivalente Anlage wäre nicht klimaneutral, würde aber einen erheblichen Beitrag zur CO₂-Einparung leisten. Die Ergebnisse und Erkenntnisse aus diesem Projekt werden daher für weitere Projekte sehr hilfreich sein.

3 Öffentlichkeitsarbeit

3.1 Führungen und Vorträge

Am 27.11.2018 wurde die PVT-Technologie bereits innerhalb der badenovaWÄRMEPLUS mit einem Plakat auf dem sog. Marktstand beim Teamtag den Kolleginnen und Kollegen vorgestellt. Nachdem Ende 2019 das Projekt Hornbühl-Ost mit dem Bauträger Gisinger finalisiert wurde, wurde am 05.10.2020 das Projekt im Umweltausschuss der Stadt Freiburg mit einer Präsentation vorgestellt, da seitens der Stadt Freiburg großes Interesse an dieser Technologie bestand. Es fanden diverse

Führungen an der Anlage statt, unter anderem mit weiteren Herstellern aus dem Bereich PVT und dem Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme.

Am 27.09.2022 berichtete der Südwestrundfunk (SWR) in der Sendung natürlich! ausführlich über die PVT-Kollektoren von Consolar und stellte in dieser Sendung auch das Projekt Hornbühl-Ost vor. Siehe folgender Link zur ARD-Mediathek.

<https://www.ardmediathek.de/video/natuerlich/sonnenkollektoren-fuer-strom-und-solarthermische-waerme/swr/Y3JpZDovL3N3ci5kZS9hZXgvczE3MzE5NTU>

3.2 Flyer, Presse, Veröffentlichungen

Es wurde ein Referenzblatt mit einer kurzen Beschreibung des Projekts und allen wesentlichen technischen Daten sowie der Energiedaten erstellt. Die Fa. Consolar hat Drohnenaufnahmen von der Anlage für interne Marketingzwecke gemacht.

4 Zusammenfassung/Fazit

Das Projekt konnte erfolgreich abgeschlossen werden. Es gab aufgrund von einigen Hindernissen beim Bau der Gebäude und damit der Wärmeerzeugungsanlagen teilweise Kostensteigerungen und Verzögerungen im Bauablauf. Besonders die Corona-Pandemie erschwerte auch den Bauablauf.

Die aufgetretenen Probleme im Betrieb konnten gelöst werden und die Anlagen laufen stabil. Lediglich die Ferneinwahl auf die Wärmepumpen muss noch fertiggestellt werden. Der Anlagencheck seitens Consolar muss noch durchgeführt werden und der Betrieb muss in den nächsten Monaten noch genau beobachtet und optimiert werden, damit der Einsatz der E-Heizstäbe deutlich reduziert wird.

Folgendes könnte/sollte bei neuen Projekten anders gemacht werden:

- Dachfläche ausreichend groß bemessen, so dass die erforderliche Anzahl der Kollektoren installiert werden kann und dass die Dachfläche nicht so extrem bis an die Dachkante belegt werden muss, was die Zugänglichkeit erschwert
- System der Montagestützen für die Dachmontage nach Möglichkeit gleich im Vorfeld wählen
- Leitungsführung der Steigleitung vom Dach in den Heizraum im Keller an der Außenfassade führen, ggf. mit einem Regenfallrohr (Attrappe) verkleidet
- Heizraum mit Bodenablauf oder Pumpensumpf mit Hebeanlage ausführen
- Einsatz einer dezentralen Warmwasserbereitung mit Wohnungsstationen, um die hohen Puffertemperaturen einer zentralen Warmwasserbereitung zu vermeiden und die Zirkulationsverluste des Warmwassers zu reduzieren
- Einsatz einer Wärmepumpe, die auch höhere Sole-Eintrittstemperaturen als 25 °C verarbeiten kann und diese – falls erforderlich – intern runtermischt, dadurch kann der zusätzliche Consolar-Regler vermieden werden

- Einsatz einer Wärmepumpe, die einen gemischten Heizkreis ohne zusätzliche, externe Steuereinheit regeln kann
- Aufschalten von Strom- und Wärmehzähler auf die Wärmepumpe
- Vermeidung einer zusätzlichen Gebäudeleittechnik (bei einem einzelnen Gebäude auch leichter möglich als bei fünf Gebäuden)
- Strom-Eigenverbrauch erhöhen (z. B. Einsatz Batterie-Speicher, intelligente Regelung, SGR-Schnittstelle nutzen)
- Detaillierte Schulung und Einweisung aller Beteiligten im Vorfeld, Verständnis für diese neue und innovative Technologie entwickeln

5 Ausblick

Die Energiekrise und der Krieg in der Ukraine beschleunigen die Abkehr von den fossilen Energieträgern, insbesondere auch vom Erdgas. Die politischen Rahmenbedingungen wurden entsprechend angepasst und Wärmepumpen gelten als eine wesentliche Chance, den erneuerbaren Anteil im Wärmesektor deutlich zu erhöhen. Häufig wird bei der Diskussion um Wärmepumpen vergessen, dass diese nicht nur mit Strom funktionieren, sie brauchen auch eine Wärmequelle und diese ist oft nicht einfach zu erschließen. PVT-Kollektoren sind eine mögliche, sehr gute Wärmequelle, besonders im Wohnungssektor bei Neubauten oder sanierten Altbauten. Da in der Region Freiburg zahlreiche Neubauten entstehen und es hier überdurchschnittlich viele Sonnenstunden gibt, bekommen wir derzeit von Planern, Architekten und Bauträgern viele Anfragen für weitere Projekte. Aufgrund der städtischen Strukturen entstehen in der Regel größere Mehrfamilienhäuser wie bei dem Projekt Hornbühl-Ost und dort sind die Dachflächen begrenzt und eine Nutzung von Solarthermie neben Photovoltaik häufig nicht möglich. Der PVT-Kollektor bietet hier eine Möglichkeit, die begrenzten Flächen doppelt zu nutzen, für die Stromerzeugung und die Gewinnung von Wärme. Er ergänzt damit ideal die Wärmepumpen, die Strom und Wärme benötigen.

Besonders im städtischen Bereich ohne Fernwärme, sehen wir große Chancen für diese Technologie, da es dort kaum Alternativen für eine klimaneutrale Wärmeversorgung gibt. Es gibt mittlerweile an die 15 Jahre Erfahrung und europaweit über 1.500 installierte PVT-Systeme von Consolar, Tendenz steigend.

6 Drei wesentliche Projekterkenntnisse aus dem Projekt

1.	Einsatz einer dezentralen Warmwasserbereitung mit Wohnungsstationen zur Vermeidung der hohen Puffertemperaturen und Reduzierung der Zirkulationsverluste im Vergleich zu einer zentralen Warmwasserbereitung
2.	Die Komplexität muss so weit wie möglich reduziert werden. Je weniger separate Regelgeräte und Ventile, desto besser, günstiger und betriebssicherer. Auf das regelungstechnische und hydraulische Zusammenspiel der einzelnen Komponenten muss geachtet werden. Dafür ist ein gewisses Maß an Messtechnik erforderlich.
3.	Der Betrieb muss genau überwacht werden. Besonders der unkontrollierte, unregelmäßige oder falsch geregelte Betrieb der E-Heizstäbe ist zu vermeiden.