

**Innovative Abwärmenutzung
durch Wärmeverteilung über die Kanalisation
„InnoA2-up“**

**Wirtschaftlichkeitsbewertung und
Sensitivitätsuntersuchung
zum ‚Erläuterungsbericht Entwurfsplanung
Gebiet 1 von ECO.S Energieconsulting
Stodtmeister‘**

Ali Aydemir, Susanne Bieker, Markus Fritz
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Breslauer Straße 48
76139 Karlsruhe

Philipp Müller, Andreas Glöckner
Technische Universität Kaiserslautern
Paul-Ehrlich-Straße 14
67663 Kaiserslautern

Karlsruhe, 05/2020

Im ‚Erläuterungsbericht Entwurfsplanung Gebiet 1 von ECO.S Energieconsulting Stadtmeister‘ wird die innovative Abwärmenutzung durch Wärmeverteilung über die Kanalisation (InnoA2) für ein mögliches Anwendungsgebiet (Gebiet 1) untersucht. In dem Bericht wird das mögliche Bauvorhaben zunächst erläutert. Darauf aufbauend werden technische Rahmenparameter aufgearbeitet und es wird ein technisches Konzept entwickelt, welches die technische Machbarkeit darstellt. Abschließend werden auf Basis des technischen Konzeptes notwendige Investitionen zur Durchführung eines möglichen Projektes abgeschätzt. **Dieser Bericht knüpft an die Abschätzung der Investitionen an, indem Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen auf Basis der geschätzten Investitionen durchgeführt werden.** Es handelt sich somit um eine Ergänzung zum Erläuterungsbericht Entwurfsplanung Gebiet 1 von ‚ECO.S Energieconsulting Stadtmeister‘. Für sämtliche technischen Rahmenbedingungen wird soweit diese nicht in diesem Bericht explizit benannt sind auf den Erläuterungsbericht verwiesen.

Nachfolgend werden auf Basis der geschätzten Investitionen exemplarische Wirtschaftlichkeitsbetrachtung aus einzelwirtschaftlicher Perspektive des Wärmenehmers, der für die Investitionen aufkommen müsste, vorgenommen. Dies wäre im Gebiet 1 die Caritas. Diese Betrachtung hat zum Ziel eine grobe Abschätzung zur Wirtschaftlichkeit der Technologie InnoA2 auf Basis aktueller regulatorischer Rahmenbedingungen sowie Energiepreisen und den Gegebenheiten im Gebiet 1 abzuschätzen.

Einzelwirtschaftliche Betrachtung: Vorgehen

Der Anwendungsfall für die Pilotanlage „InnoA2“ wäre nach der Auslegung von Eco.S der **Ersatz der Wärmequelle für das bestehende Heizungssystem des Wärmenehmers** (Caritas). Da der Wärmenehmer bereits im Jahr 2013 seine Heizungsanlage modernisiert hat, besteht aktuell kein Handlungsdruck (und auch keine Möglichkeit) einer Modernisierung der Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung (d.h. Heizkörper etc.) am Standort. Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird also die Situation angenommen, dass für die bestehende Heizungsanlage lediglich Betriebs-, Instandsetzung sowie Wartungskosten anfallen. Für die Pilotanwendung InnoA2 fallen zudem Investitionen an. Für die Wirtschaftlichkeitsbewertung werden somit die folgenden zwei Handlungsalternativen einander gegenübergestellt.

1. Bestehendes Heizungssystem unverändert beibehalten.
2. Bestehendes Heizungssystem in der Wärmezufuhr durch „InnoA2“ ersetzen

Für die Wirtschaftlichkeitsbewertung wird der **Projektkostenbarwert der beiden Handlungsalternativen** berechnet. Dabei wird der Diskontierungsfaktor für eine progressiv

jährlich steigende Kostenreihe gebildet. Aus Sicht des Wärmenehmers ist aus dieser Perspektive diejenige Handlungsalternative lohnenswerter, die einen niedrigeren Projektkostenbarwert (PKBW) aufweist. InnoA2 wäre also dann im Vorteil, wenn der PKBW für diese Handlungsalternative niedriger ist, als für die Alternative die Wärmeversorgung mit der bestehenden Heizungsanlage unverändert fortzuführen.

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von InnoA2 werden **mehrere Varianten** gerechnet. Die Varianten unterscheiden sich zunächst im Hinblick auf die Jahresarbeitszahl (JAZ) der Wärmepumpe. Die **Jahresarbeitszahl (JAZ)** gibt Auskunft darüber, **wie effizient die eingebaute Wärmepumpe arbeitet**. Vereinfacht ausgedrückt ist die JAZ der Quotient aus erzeugter Heizwärme und dem dafür benötigten Strom, was sich in einer Formel so ausdrücken lässt:

$$\text{JAZ} = \text{Heizwärme (kWh/a)} / \text{Strom (kWh/a)}$$

Die JAZ abhängig von der Quellen- und Senktemperatur. Dabei wird die Quelltemperatur beim InnoA2-Ansatz durch die Kanaltemperatur bestimmt und die Senktemperatur durch die Temperatur des Heizungsvorlaufes.

- **Variante JAZ 3,5** setzt eine Kanaltemperatur von 12°C voraus. Für den Heizungsvorlauf wird 70°C angenommen. In dieser Variante wird der Vorteil von InnoA2 somit nicht genutzt, es handelt sich somit um eine konventionelle Nutzung von Abwasserabwärme mittels Wärmepumpe. Die JAZ beträgt dann nur 3,5. **Diese Variante liegt dem Bericht von EcoS zugrunde.**
- **Variante JAZ 4,2** geht davon aus, dass die Abwärme in den Kanal eingespeist wird und eine Kanaltemperatur von 25°C vorliegt. Für den Heizungsvorlauf wird 70°C angenommen. In diesem Fall werden die Vorteile des InnoA2-Ansatzes somit genutzt und die JAZ beträgt 4,2.
- **Variante JAZ 7,1** geht davon aus, dass die Abwärme in den Kanal eingespeist wird und eine Kanaltemperatur von 25°C vorliegt. Zudem wird die Vorlauftemperatur der Heizungsanlage auf 50°C gesenkt. Dies wäre in einem angepassten System der Fall, wenn durch eine Modernisierung der Wärmeverteilung im Gebäude erzielt werden. Das System wird somit im Hinblick auf den Betrieb einer Wärmepumpe optimiert, in diesem Fall beträgt die JAZ 7,1.

Die Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpensystemen, insbesondere im InnoA2-Ansatz, hängt maßgeblich von der Größe (d.h. der zu liefernden Leistung) aller Teil-Systeme ab, da eine Vielzahl der notwendigen Investitionen nur wenig bis gar nicht mit der zu bereitstellenden Leistung (bspw. Tiefbau, Planungsarbeiten, MSR-Technik usw.) korrelieren. Daher wurden für die **Variante JAZ 4,2 ebenfalls Fälle gerechnet, indem der aktuelle Wärmebedarf des Wärmeabnehmers (250.000 kWh pro Jahr) um das vier-, fünf-,**

und sechsfache erhöht wurde. Für diese Fälle wurden die Investitionen für die Komponenten mit maßgeblicher Leistungsabhängigkeit in den Kosten, somit der Abwärmewärmetauscher sowie die Wärmepumpe proportional zur Zunahme der notwendigen Leistung erhöht.

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird zudem eine Förderquote von 35% angenommen. Dies entspricht der Förderquote des aktuellen Marktanreizprogramms (auch für Wärmepumpen). Weitere zentrale Eingangsparameter der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1 Zentrale Eingangsparameter der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Strompreis	0,18 €/kWh
Gaspreis	0,06 €/kWh
Kalkulationszins	1,7 %
Preis-/Kostensteigerungsrate	0,5 %
Betrachtungszeitraum	20 Jahre
Förderquote der Anlage	35 %

Wird die Nutzung von Abwärme treibhausgasneutral bewertet, führt die **Nutzung des InnoA2-Ansatzes zu einer Reduktion von THG-Emissionen** im Vergleich zur bestehenden Heizungsanlage. THG-Emissionen können Umweltkosten zugeordnet werden, die volkswirtschaftlich anfallen. Dem wird Rechnung getragen, indem die einzelwirtschaftliche Betrachtung vergleichsweise mit und ohne Umweltkosten (bzw. Klimakosten) durchgeführt wird. Für die Betrachtung mit Umweltkosten werden in Anlehnung der Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von **Umweltkosten** des Umweltbundesamtes Kosten in Höhe von **180 EUR pro Tonne CO₂-Äquivalent** angenommen (vgl. Matthey, A., & Bünger, B. (2019)). Für die Entwicklung der CO₂ - Emissionen der Stromerzeugung werden Daten der Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland verwendet (vgl. Pfluger et al. (2019)).

Ergebnisse

In **Abbildung 1** sind die Projektkostenbarwerte (PKBW) exklusive Klimakosten der untersuchten Varianten für die Handlungsalternativen dargestellt. Die schwarze Linie stellt die Alternative dar das bestehende Heizungssystem unverändert beizubehalten (nicht-abgestimmtes und damit ungünstiges Gesamtsystem). Die orangefarbene Linie im Diagramm stellt die **Variante JAZ 3.5**, die blaue **Variante JAZ 4.2**, die grüne **Variante JAZ 7.1** dar.

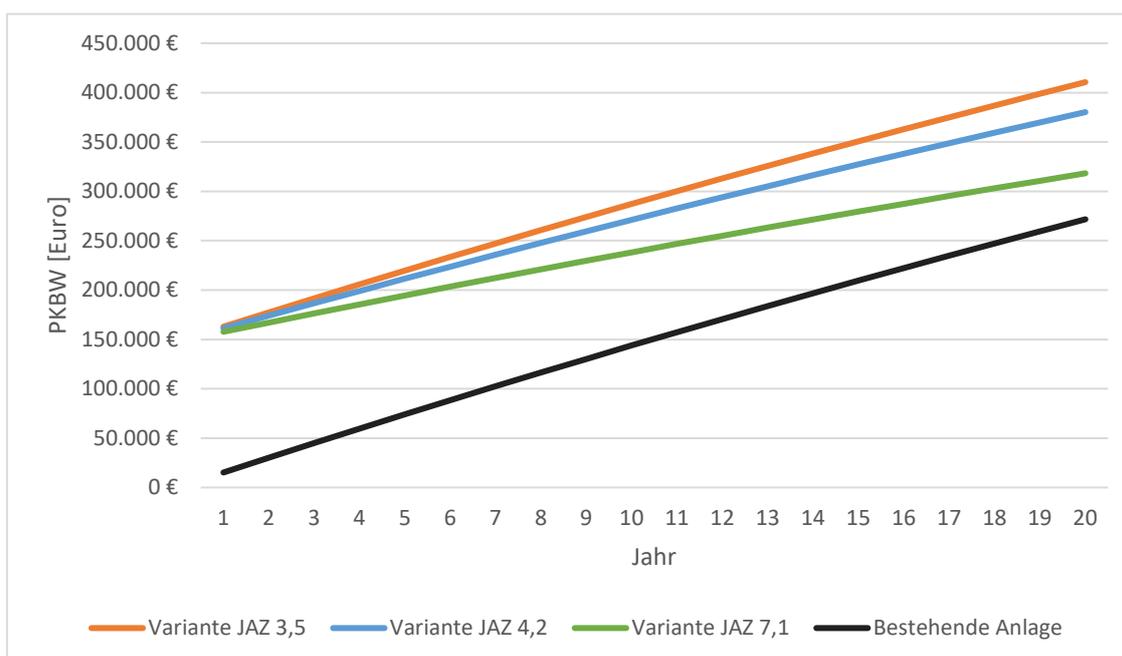


Abbildung 1 Projektkostenbarwerte in Euro verschiedener Varianten, exkl. Klimakosten

In **Abbildung 1** ist zu erkennen, dass alle drei InnoA2-Varianten einen höheren PKBW aufweisen im Vergleich zur bestehenden Anlage. Zudem wird deutlich, dass der Abstand zwischen den Projektkosten des InnoA2 Ansatzes und den Projektkosten der bestehenden Anlage geringer wird, je höher die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe ist. Zusätzlich erkennt man, dass die Steigungen der InnoA2 Varianten geringer ist, als die bestehende Anlage. Dies zeigt, dass **die Anlage mit der InnoA2-Technologie geringere Betriebskosten aufweist, als die bestehende Anlage.**

Für Variante JAZ 4.2 ergeben sich Mehrkosten für den InnoA2-Ansatz (ohne Berücksichtigung von Umweltkosten!) von 40%, was ca. 108.000 € entspricht. Für den Betrachtungszeitraum von 20 Jahren entspricht dies Mehrkosten von ca. 5.400 € pro Jahr. Die Hauptursachen des höheren PKBW liegen in den notwendigen Investitionen sowie dem **Preisunterschied zwischen Strom und Gas.**

Im aktuellen Projekt sind die Investitionen vor allem deswegen so hoch, weil der relative Anteil der Tiefbaukosten sehr hoch ist. Bei Neubauaktivitäten und direkter Planung des InnoA2-Konzepts würden sich diese Kosten deutlich reduzieren, ebenso lägen sie spezifisch pro Wärmeeinheit geringer, wäre die Wärmeabnahmemenge größer (weil Tiefbaukosten nicht proportional steigen, sondern im Gegenteil, nur geringfügig steigen würden). Für die Berechnungen in **Abbildung 1** wurde eine Förderquote von 35% angenommen. Dies entspricht der Förderquote des aktuellen Marktanreizprogramms. Um eine Kostenparität der Variante mit einer Jahresarbeitszahl von 4,2 mit der bestehenden Anlage zu erreichen, müsste ohne Berücksichtigung von Umweltkosten eine Förderquote von ca. 80% vorliegen.

In **Abbildung 2** ist beispielhaft für die Variante JAZ 4.2 dargestellt, wie sich der Wärmepreis abhängig vom Strom- und Gaspreis verändert. Es ist zu erkennen, dass sich der InnoA2-Ansatz auch ohne angepasstes Heizungssystem (!) bereits ab einem Strompreis von 18 ct/kWh und einem Gaspreis von 9 ct/kWh lohnt.

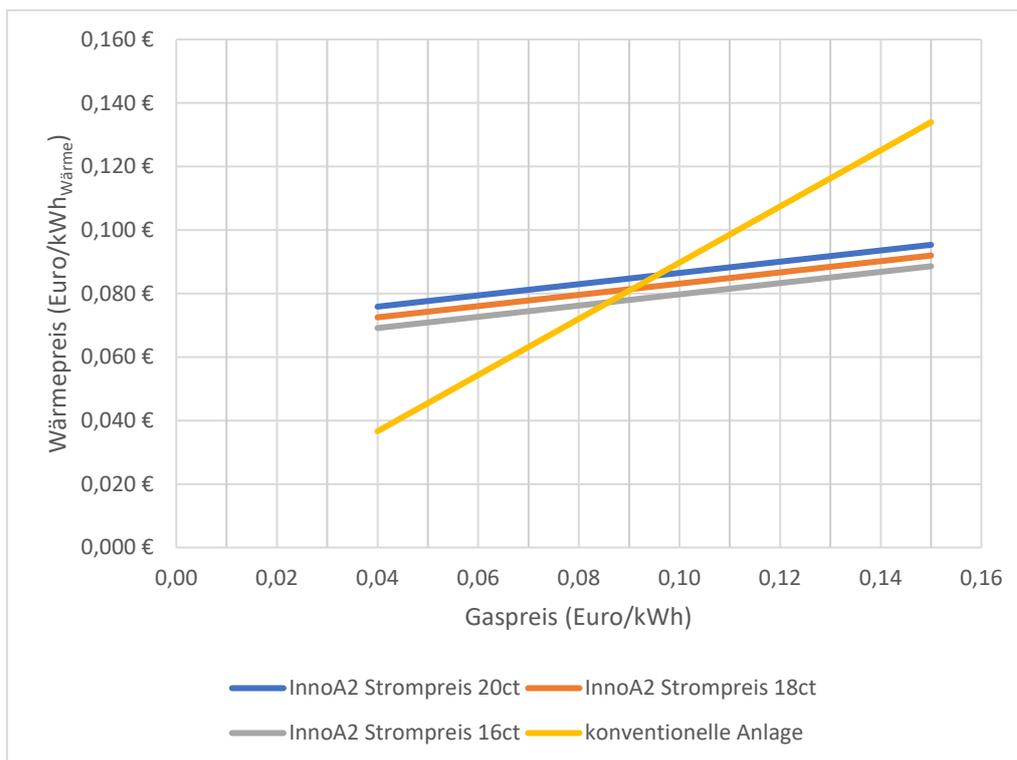


Abbildung 2 Wärmepreis abhängig von Strom- und Gaspreis

In **Abbildung 3** wird der Aspekt der **Größe des Wärmeabnehmers** adressiert und entsprechend die Projektkostenbarwerte für die Variante JAZ 4.2 für den vier-, fünf-, und sechsfachen Wärmebedarf bezogen auf den Ausgangsfall bei der Caritas (250.000 kWh)

dargestellt. Bis zur fünffachen Menge des Wärmebedarfs sind die PKBW des InnoA2-Ansatzes noch leicht unter der bestehenden Anlage, ab der sechsfachen Menge sind die PKBW bereits unter denjenigen der bestehenden Heizung. Dies verdeutlicht, dass der InnoA2-Ansatz aufgrund der niedrigen Betriebskosten insbesondere für größere Wärmeabnahmen geeignet ist.

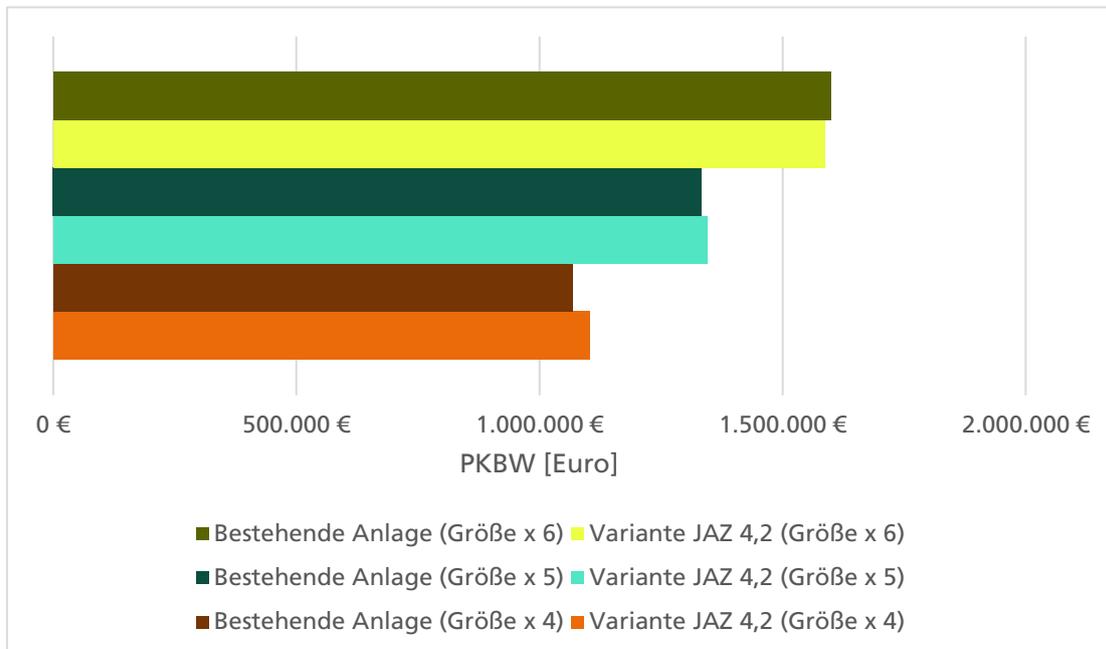


Abbildung 3 Projektkostenbarwerte für Varianten JAZ 4.2 exkl. Klimakosten für unterschiedliche Größen von Wärmeabnehmern

In Abbildung 4 sind die **CO₂-Emissionen der unterschiedlichen Alternativen** für einen Zeitraum von 20 Jahren dargestellt. Es ist zu erkennen, dass alle Varianten des InnoA2-Ansatzes deutlich geringere Treibhausgasemissionen erzeugen als das konventionelle System („bestehende Anlage“). Für die Variante JAZ 4.2 betragen die Emissionen 45% bezogen auf die bestehende Anlage.

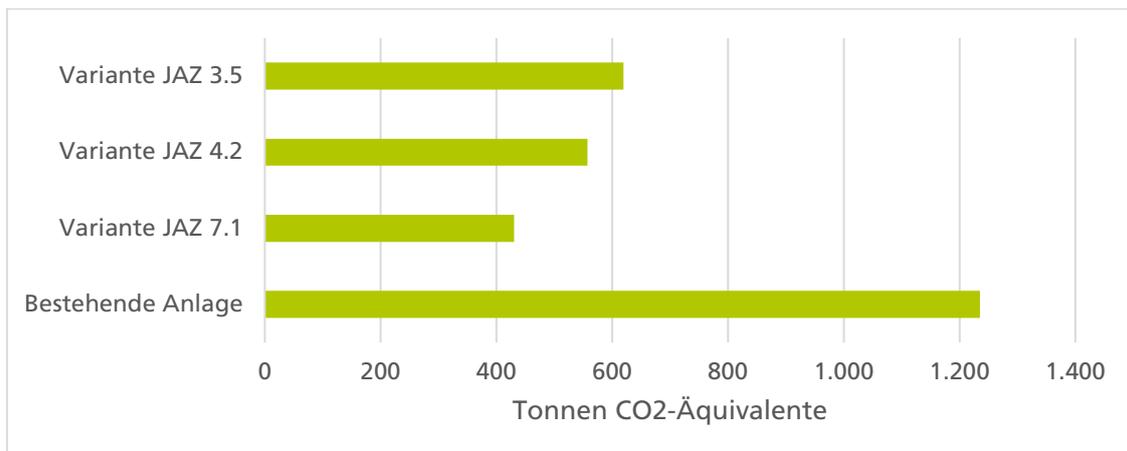


Abbildung 4 CO₂-Emissionen der Alternativen

In **Abbildung 15** sind die Projektkostenbarwerte **inklusive Klimakosten** der untersuchten Varianten für die Handlungsalternativen dargestellt. Die Farbgebung ist dabei identisch zu **Abbildung 1**. Es ist zu erkennen, dass die PKBW der Varianten JAZ 3.5 (konventionelle Abwasserwärmenutzung!) sowie JAZ 4.2 nun auf vergleichbarem Niveau zur bestehenden Anlage liegen. Bei JAZ 3.5 liegen diese leicht über der bestehenden Anlage, bei JAZ 4.2 liegen leicht unter den PKBW der bestehenden Anlage. Die Kosten der Variante JAZ 7.1 liegen in der Betrachtung mit Umweltkosten sogar 20% niedriger als die der bestehenden Anlage. Die **Berücksichtigung von Klimakosten stellt somit einen maßgeblichen Faktor dar, wenn eine innovative Technologie konkurrenzfähig mit Bestandstechnologien sein soll**, die eben diesen ökologischen Vorteil nicht mitbringt.

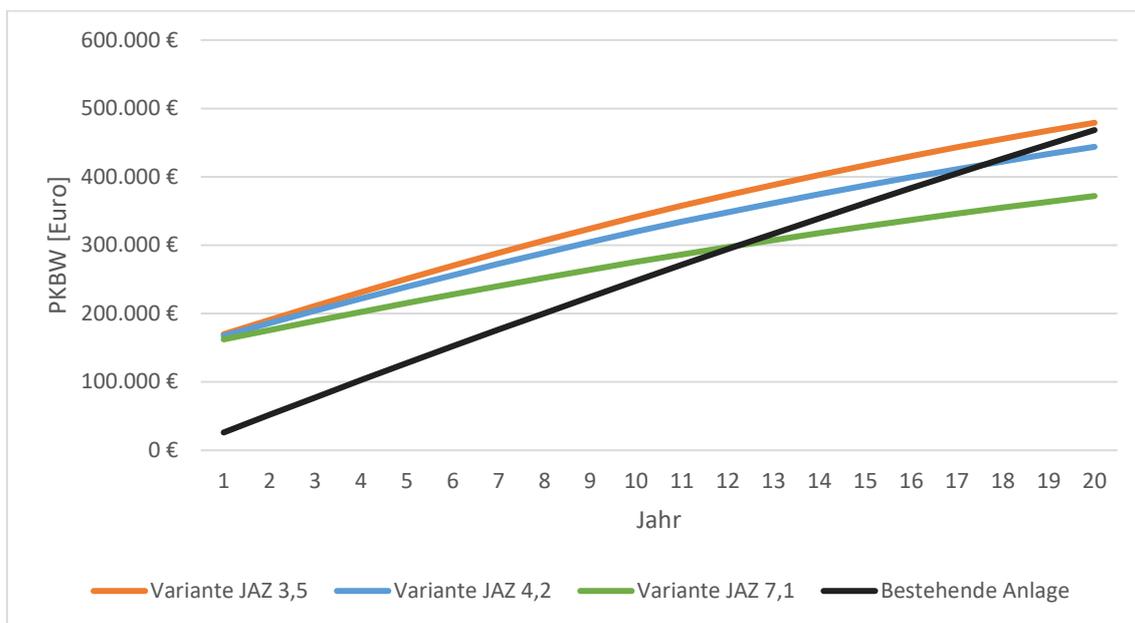


Abbildung 5 Projektkostenbarwerte verschiedener Varianten inkl. Klimakosten

Kritische Würdigung und Zusammenfassung

Die Wirtschaftlichkeitsbewertung deutet auf den ersten Blick darauf hin, dass die Nutzung des InnoA2-Ansatzes (ohne Anpassung der Wärmeerzeugung und -verteilung auf ein Niedertemperatursystem) aus der einzelwirtschaftlichen Perspektive des Wärmeabnehmers (Caritas) eher unattraktiv ist. Dies ist in erster Linie auf die verhältnismäßig geringe Wärmeabnahme zurückzuführen. Die niedrigeren Betriebskosten des InnoA2-Ansatzes gegenüber der bestehenden Heizanlage führen aufgrund der geringen Wärmeabnahmemenge nicht dazu, dass die notwendigen Anfangsinvestitionen über die Laufzeit amortisiert werden. Bei einer höheren initialen (Investitionskosten-)Förderung könnte die Umsetzung im Rahmen eines Pilotvorhabens für den Wärmenehmer aufgrund der geringen Betriebskosten dennoch attraktiv sein.

Die durchgeführte Sensitivitätsuntersuchung der voranstehenden Seiten hat jedoch gezeigt, dass eine **Erhöhung der Wärmeabnahme** relativ schnell dazu führt, dass der **InnoA2-Ansatz niedrigere Projektkostenbarwerte** aufweist, verglichen mit der bestehenden Heizungsanlage. Bei einer größeren Wärmeabnahme ist also davon auszugehen, dass der InnoA2-Ansatz auch gegenüber einer bestehenden Heizungsanlage im Bestand wirtschaftlich darstellbar ist.

An dieser Stelle sei zudem ergänzend erwähnt, dass bei der durchgeführten Wirtschaftlichkeitsbewertung eine Anlage im Bestand gegen eine mögliche Neuanlage abgewogen

wurde. Die Situation ist also nicht für einen möglichen **Neubau** repräsentativ, bei dem die Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Heizungsanlagen miteinander verglichen werden würden. Im Neubau muss das EEWärmeG erfüllt werden, zudem fallen für alle Heizungsalternativen Anfangsinvestitionen an (Investitionen sind entsprechend nicht optional, wie im potenziellen Pilotvorhaben). Die bestehende Anlage der Caritas würde das EEWärmeG nicht erfüllen, der InnoA2-Ansatz jedoch schon. Daher würde eine **Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für den Neubau ggf. deutlich anders ausfallen**, da in diesem Fall nur EEWärmeG-kompatible Anlagen verglichen würde. Dies trifft **auch** für den Fall einer **umfänglichen Modernisierung** zu, in dem ebenfalls das EEWärmeG zur Anwendung kommt. Perspektivisch müsste also auch bei der Caritas eine Erneuerung der Wärmeerzeugungs- und -verteilungsanlage erfolgen, welche kompatibel mit den Anforderungen des EEWärmeG ist. In diesem Fall ist davon auszugehen, dass bspw. zusätzliche Investitionen in Höhe von ca. 50.000 € für einen 50kW Holzpelletkessel investiert werden müssten. Für diesen Anwendungsfall würde sich der InnoA2-Ansatz bei einer Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe von 7,1 auch bei einem Pelletpreis von 0,06 €/kWh und einem Strompreis von 0,18 €/kWh wirtschaftlich lohnen.

Abschließend sei ergänzend darauf hingewiesen, dass der **InnoA2-Ansatz** in sämtlichen gerechneten Varianten im Vergleich zur bestehenden Anlage für einen Zeitraum von 20 Jahren **deutlich weniger CO₂-Emissionen** erzeugt. Werden die Klimakosten der CO₂-Emissionen in der einzelwirtschaftlichen Betrachtung ergänzt, dann ändern sich die Projektkostenbarwerte entsprechend. Es handelt sich dann gewissermaßen um eine einzelwirtschaftliche Betrachtung mit Berücksichtigung volkswirtschaftlich anfallender Klimakosten. In diesem Fall weist der InnoA2-Ansatz ab einer Jahresarbeitszahl von etwa 4 leicht niedrigere Projektkostenbarwerte als die konventionelle Lösung auf. Für ein optimiertes System, d.h. ab einer Jahresarbeitszahl von etwa 7, sind die Projektkostenbarwerte ca. 20% niedriger. **Die Einbeziehung von Klimakosten würde somit maßgeblichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeitsbewertung der Technologien haben.** Dieser Aspekt wird in Zukunft auf Grund der sich erhöhenden CO₂-Preise an Bedeutung und Relevanz gewinnen.

Literatur

- Matthey, A., & Bünger, B. (2019). Methodenkonvention 3.0 Zur Ermittlung von Umweltkosten—Kostensätze (Stand 02/2019). *Dessau-Roßlau, Umweltbundesamt.*
- Pfluger, B., Tersteegen, B., & Franke, B. (2017). Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland: Modul 3: Referenzszenario und Basisszenario. *Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.*