



## **Therme Meersburg**

Machbarkeitsstudie  
für ein Modellvorhaben  
Wärmenetzsysteme 4.0

### **Ergebnisbericht**

Sommer 2021

RBS-Auftrags-Nr. 435363-021

03.09.2021– R.-L. Türk

Die vorliegenden Unterlagen sind unser Eigentum und als solches urheberrechtlich geschützt. Die Veröffentlichung und Vervielfältigung bedarf unserer vorherigen schriftlichen Zustimmung. Wir weisen darauf hin, dass eine Verletzung unseres Urheberrechts zivilrechtliche Schritte bis hin zum Schadensersatzanspruch zur Folge hat.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Vorhaben</b>	<b>4</b>
2.1	Lage/Standort des geplanten Wärmenetzsystems 4.0	4
2.2	Innovationen	6
2.3	Klimaverträglichkeit der genutzten Energieträger	6
2.4	Untersuchung Mindestgröße und Szenarien	7
2.5	Untersuchung Temperaturniveau	8
2.6	Untersuchung Sektor Kopplung und Strommarktdienlichkeit	9
2.7	Rechtliche Genehmigungsfähigkeit	9
<b>3.</b>	<b>Wärmequellen und Wärmeerzeugung Technologien für das Konzept</b>	<b>11</b>
3.1	Allgemeines	11
3.2	Seewärme als Wärmequelle	12
3.3	Einsatz von Erdgas und Kraft-Wärme-Kopplung	13
3.4	Wärmespeicher: Warmwasserspeicher	13
<b>4.</b>	<b>Technisches Konzept Seewärmenutzung Meersburg</b>	<b>14</b>
4.1	Seewassernutzung	14
4.2	Standorte/Größe Heizzentrale	19
4.3	Beschreibung der Anschlussszenarien	20
4.3.1	Szenario 1	20
4.3.2	Szenario 2	21
4.3.3	Szenario 3	22
4.4	Beschreibung der Erzeugervarianten	24
4.4.1	Szenario 1	25
4.4.2	Szenario 2	28
4.4.3	Szenario 3	28
<b>5.</b>	<b>Variantenvergleich</b>	<b>32</b>
5.1	Schätzung der Investitionskosten	32
5.2	Förderungen	34
5.3	Wirtschaftlichkeitsberechnung	35
5.3.1	Berechnung der Wärmegestehungskosten	35
5.3.2	Sensitivitätsanalyse Seewasserfassung	37
5.4	Primärenergiefaktor und Treibhausgasemissionen	39
<b>6.</b>	<b>Ergebnis</b>	<b>42</b>
<b>7.</b>	<b>Anhang</b>	<b>43</b>
7.1	Bürgerbefragung – Fragebogen	43

## 1. Einleitung

Die Therme der Stadt Meersburg zählt durch ihre unmittelbare Lage am Bodensee und die Nähe zum Hafen und zur denkmalgeschützten Altstadt zu den beliebtesten Ausflugszielen der Region. Die Therme wurde Ende 2003 erbaut und 2007 erweitert. Aktuell werden im Zusammenhang mit der strategischen (Neu-)Ausrichtung der Therme, um auf die aktuellen Entwicklungen aufgrund der Pandemie zu reagieren, auch energetische Sanierungsmaßnahmen diskutiert. In diesem Zuge soll auch eine zukunftsfähige Energieerzeugung nach ökologischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten realisiert werden. Durch die prädestinierte Lage besteht dabei die Idee, das Wasser des Bodensees für die Wärmeversorgung zu nutzen. Die Meersburg Therme Betriebsgesellschaft mbH & Co. KG hat dabei nicht nur die Versorgung der Therme im Blick, sondern prüft zusammen mit der Stadt Meersburg auch die Möglichkeit, die ufernahen Bereiche sowie großer Teile des Altstadtgebiets mit Wärme aus dem Bodensee zu versorgen. Mit der Nutzung der Seewärme soll damit eine zukunftsfähige und innovative Verbundwärmeversorgung entstehen.

Die vorliegende Untersuchung soll als Machbarkeitsstudie nach dem Fördermodell „Wärmenetzsysteme 4.0“ des BAFA erläutern, ob sich eine Umsetzung des Vorhabens im Rahmen der Förderbedingungen realisieren lässt. Bei der Erstellung der Machbarkeitsstudie wurde das „Merkblatt zu den Anforderungen an eine Machbarkeitsstudie“ des Fördermittelgebers berücksichtigt.

Während der Bearbeitung hat sich ergeben, dass sich die Seewärmenutzung für den Auftraggeber der Studie nicht verlässlich als wirtschaftlich einschätzen lässt, da mit Blick auf die Seewasserefassung und die Realisierung eines Wärmenetzes im Bestand erhebliche wirtschaftliche Risiken bestehen.

Aus diesem Grund wurde die Machbarkeitsstudie nur im verminderten Umfang durchgeführt und nach der Konzeptionierung beendet.

## **2. Vorhaben**

### **2.1 Lage/Standort des geplanten Wärmenetzsystems 4.0**

Das Untersuchungsgebiet liegt innerhalb des Stadtgebiets von Meersburg. Die Stadt Meersburg ist an einem Steilhang am nördlichen Ufer des Bodensees am Übergang zwischen Obersee und Überlinger See gelegen. Aufgrund der Hanglage wird die Stadt Meersburg in eine Ober- und eine Unterstadt untergliedert, zwischen denen ein Höhenunterschied von 40 Metern besteht. Der Hafen und das Rathaus gehören zur Unterstadt, welche durch einen gut erhaltenen historischen Baubestand geprägt ist. In der Oberstadt liegt der historische Stadtkern, der sich an das Neue Schloss sowie die Burg, das Wahrzeichen der Stadt Meersburg, anschließt und in der Randlage ein Gewerbegebiet sowie mehrere Wohngebiete anbindet.

Die Meersburger Altstadt hat mit dem Alten Schloss, der Burg Meersburg, und den dazu gehörenden Siedlungsteilen ihre Ursprünge vermutlich bereits in merowingischer Zeit, also im 8. Jahrhundert. Genauer datieren lassen sich Bautätigkeiten dann ab dem 13. Jahrhundert, deren Spuren sich auch heute noch im Stadtbild von Ober- und Unterstadt zeigen, wie z.B. die Nikolauskapelle in der Unterstadt, die auf das Jahr 1390 datiert ist oder natürlich die Burg selbst. Im Zuge der Reformation machten die Fürstbischöfe zu Konstanz Meersburg ab Mitte des 16. Jahrhunderts zu ihrer Residenzstadt. In den folgenden 200 Jahren erhielt Meersburg einen Großteil der noch heute das Stadtbild prägenden Gebäude. Die heutige Anmutung der Unterstadt erhielt Meersburg verstärkt in den 1920er Jahren. Meersburg am Bodensee gilt damit nicht nur als „Juwel barocker Städtebaukunst“, sondern ist insgesamt eine städtebaulich lebendige Stadt.

Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich von der Uferpromenade über die Unter- und Oberstadt (Abbildung 1). Bei den geplanten Wärmeabnehmern handelt es sich um einen geplanten Hotel-Neubau, die Therme selbst, direkt an der Uferpromenade gelegene Anschlussnehmer mit Bestandsbebauung (Versorgungsgebiet „Anlieger“, Bestandsbebauung) sowie weitere potenzielle Versorgungsgebiete mit größtenteils Altbau-Bestand („Unterstadt“, „Oberstadt“ und „Schulkomplex“). Im Zuge der Machbarkeitsstudie wurden verschiedene Ausbaustufen untersucht. In einer ersten Ausbaustufe der Wärmeversorgung könnte die Therme und anschließend der Hotelneubau erschlossen werden. Über die neu zu errichtende Wärmetrasse entlang der Uferpromenade würden zukünftig die „Anlieger“ und langfristig auch nach Möglichkeit die Altbau-Areale mit Wärme versorgt.

Ein Luftbild der Stadt Meersburg ist in Abbildung 2 dargestellt.



**Abbildung 1: Untersuchungsgebiet „Altstadt und Uferpromenade“ und Darstellung der untersuchten Anschlussnehmer an das Wärmenetz (Bildquelle: Esri)**



**Abbildung 2: Luftbild von Meersburg mit Blick auf Teile des Untersuchungsgebiets (Quelle: Stadt Meersburg)**

## 2.2 Innovationen

### **Brennstofffreie Wärmeerzeugung**

Es ist geplant mindestens 50 % der jährlich benötigten Wärmeenergie oder mindestens 1,5 GWh/a durch Großwärmepumpen zur Verfügung zu stellen. Als Wärmequelle soll vor allem das Wasser aus dem Bodensee genutzt werden. Die Machbarkeitsstudie soll insbesondere zeigen, welche Wärmemengen durch die Nutzung des Bodenseewassers wirtschaftlich bereitgestellt werden können und inwiefern eine Versorgung der verschiedenen Versorgungsgebiete wirtschaftlich darstellbar ist. Zur Vergleichbarkeit der Seewärmenutzung wird eine Referenzvarianten erarbeitet.

Als weitere Innovation gemäß der Förderrichtlinie wurde im Rahmen der Erstellung der Machbarkeitsstudie das Thema Sektorenkopplung betrachtet und die temporär stromgeführte Betriebsweise von Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung (BHKW) untersucht.

## 2.3 Klimaverträglichkeit der genutzten Energieträger

Die Machbarkeitsstudie untersucht Anlagenkonfigurationen, mit denen mindestens 50 % der Wärmebereitstellung über erneuerbare Energien bzw. Umweltwärme erfolgen kann, wobei der Fokus im Rahmen der vorliegenden Untersuchung auf die Seewärme aus dem Bodensee gelegt wurde. Diese Seewärme wird dabei durch den Einsatz von Großwärmepumpen erschlossen. Im Hinblick auf die Antriebsenergie der Wärmepumpen wird neben dem Strombezug aus dem Netz der Einsatz eines gasbetriebenen BHKWs geprüft.

Hierdurch wird der Einsatz von fossilen Brennstoffen auf ein Minimum reduziert und der Einsatz von Umweltenergie maximiert.

## 2.4 Untersuchung Mindestgröße und Szenarien

In der nachfolgenden Tabelle sind die kurz-, mittel- und langfristig anzuschließenden Wärmeabnehmer (siehe Abbildung 1) dargestellt.

Der Wärmebedarf der Therme wird anhand stundenscharfer Verbrauchswerte ermittelt: hierfür stehen die Daten seit dem Jahr 2017 zur Verfügung. Für die Bedarfsermittlung werden jedoch nur die Jahre 2017 bis 2019 verwendet, da das Jahr 2020 aufgrund der pandemiebedingten Schließung nicht repräsentativ für den Verbrauch ist: hier lag der Jahresverbrauch bei etwa 20% der durchschnittlichen Vorjahresverbräuche.

Die übrigen Wärmebedarfe werden anhand gebäudespezifischer Referenzwerte geschätzt und mit Verbrauchsdaten aus einer Bürgerbefragung (Fragebogen im Anhang 7.1) verifiziert.

Perspektivisch ist der Anschluss von über 200 Abnehmern mit einem jährlichen Wärmebedarf von ca. 23,2 GWh vorgesehen. Beide Mindestkriterien, die die Förderfähigkeit gemäß Wärmenetze 4.0 bestimmen (3 GWh/a und 100 Anschlussnehmer), sind dadurch erfüllt.

**Tabelle 1: Wärmebedarf und max. VL-Temperatur**

Versorgungsgebiet	Anschlüsse	Jährlicher Wärmebedarf	Maximale Vorlauftemperatur
Therme	1	3.800 MWh **	max. 60°C
Hotelneubau	2	3.700 MWh *	max. 60°C
Unterstadt	71	4.800 MWh *	max. 80°C
Oberstadt	122	8.000 MWh *	max. 80°C
Schulkomplex	22	1.800 MWh *	max. 80°C
Anlieger	18	1.100 MWh *	max. 80°C
Summe	223	23.200 MWh	

\* Schätzwerte; \*\* Verbrauchsdaten

Aus den in Abbildung 1 dargestellten Gebieten wurden folgende Anschlusszenarien entwickelt, die einen stufenweisen Ausbau des Wärmenetzes ermöglichen:

**Tabelle 2: Untersuchte Szenarien inkl. Wärmebedarf**

Szenarien	Versorgte Gebiete	Jährlicher Wärmebedarf (inkl. Netzverluste)
Szenario 1	Therme	3.800 MWh
Szenario 2	Therme + Hotelneubau	7.600 MWh
Szenario 3.1	Therme + Hotelneubau + Anlieger II	8.200 MWh
Szenario 3.2	Therme + Hotelneubau + Anlieger II + Anlieger I + Unterstadt	13.600 MWh

Szenario 3.3	Therme + Hotelneubau + Anlieger II + Anlieger I + Unterstadt + Oberstadt + Schulkomplex	23.500 MWh
--------------	--	------------

## 2.5 Untersuchung Temperaturniveau

Beim Neubau des Wärmenetzes soll darauf geachtet werden, eine möglichst geringe Vorlauftemperatur im Netz zu erreichen. Dies soll zur Minimierung der Wärmeverluste im Netz und zur Effizienzsteigerung der Wärmeerzeuger (insb. beim Einsatz von Wärmepumpen und Brennwertnutzung bei Verbrennungsprozessen) beitragen. Zur Umsetzung dieser Zielsetzungen sollen Wärmeleitungen mit hohem Dämmstandard eingesetzt werden, die in Verbindung mit einer optimierten Leitungsführung bewirken, dass es zu minimalen Auskühlungen im Wärmenetz kommt. Eine genaue Untersuchung des außen-temperaturabhängigen Heizbedarfs der Anschlussnehmer ermöglicht eine verbraucher-optimierte Anpassung der Heizlastkurven.

### Temperaturniveaus Therme

Die Therme stellt einen der Hauptverbraucher dar, weshalb der Wärmebedarf der Therme genauer betrachtet wird.

Ein Großteil des Wärmebedarfs der Therme wird für die Nach-/ Beheizung des Beckenwassers (Frischwasserzufuhr) und für die Flächenheizungen bei einer niedrigen Vorlauftemperatur von ca. 45 °C benötigt. Der erforderliche Wärmebedarf der Niedertemperatur wird anhand der Beckenvolumina, der Beckentemperatur, dem vorgeschriebenen Wasseraustausch, der flächenspezifischen Wärmeverluste über die Wasseroberfläche und der tagesscharfen vom Netz bezogenen Wassermenge quantifiziert.

Der Wärmebedarf für die Trinkwassererwärmung (TWE) in der Therme sowie die Wärmerversorgung der Gebäude benötigen eine hohe Vorlauftemperatur zwischen 70°C und 85°C. Der erforderliche Wärmebedarf für die TWE wird anhand personenspezifischer Referenzwerte in Korrelation mit den Besucherzahlen ermittelt. Der verbleibende Wärmebedarf (nach Abzug von Niedertemperatur-Wärmebedarf und TWE) wird als Heizwärmebedarf angenommen.

### Temperaturniveau Netz

Die für das Wärmenetz bereitgestellte Wärme muss komplett auf einem hohen Temperaturniveau erfolgen, da aufgrund des Alters der angeschlossenen Gebäude ein Heizsystem mit hohen Systemvorlauftemperaturen erwartet wird und trotz Übertragungsverlusten eine ausreichend hohe Temperatur bei den Abnehmern vorherrschen muss.

**Tabelle 3: Temperatur-Niveau Wärmeversorgung**

Temperatur-Niveau	Zweck
Niedrig – etwa 45°C VL	Frischwassererwärmung, Flächenheizungen Therme
Hoch – etwa 70-85°C VL	TWE Therme, HT-Heizkörper, Wärmeversorgung Anschlussnehmer (Heizwärme, TWE)

## **2.6 Untersuchung Sektor Kopplung und Strommarktdienlichkeit**

Durch den hohen Bedarf an Strom durch die Wärmepumpen kann die Anlage wesentlich dazu beitragen, Stromspitzen im Netz abzufangen und für eine effiziente Wärmeerzeugung zu nutzen. Dadurch wird Überschuss-Strom aus dem Netz wesentlich effizienter als in Power-to-Heat-Anlagen genutzt.

Für bedarfsoptimierte Stromerzeugung wurde der Einsatz von Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung (BHKW) zur temporären stromgeführten Betriebsweise untersucht.

## **2.7 Rechtliche Genehmigungsfähigkeit**

Neben der Genehmigung der Wärmetrasse ist im Rahmen der Machbarkeitsstudie insbesondere die Genehmigungspflicht für die Nutzung des Bodenseewassers als Wärmequelle zu berücksichtigen. Wesentliche Randbedingungen sind dabei in der Bodenseerichtlinie definiert, welche von der IGKB (Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee) erlassen wurde. Die IGKB ist eine gemeinschaftliche Organisation der Anrainerstaaten am See und des Fürstentum Liechtenstein, welche sich um den ganzheitlichen Zustand des Sees kümmert und den Mitgliedsländern Maßnahmen empfiehlt, um das Ökosystem Bodensee in einem guten, intakten Zustand zu halten.

Folgende Randbedingungen aus der Bodenseerichtlinie sind zu berücksichtigen:

- die maximal zulässige Entnahmetiefe beträgt 40 m
- die zulässige Rückgabetiefe liegt zwischen 20-40 m
- die maximale Rückgabetemperatur ist auf 20°C begrenzt

- Temperaturänderung außerhalb der Mischungszone:  $<1^{\circ}\text{C}$   
(die Mischungszone ist eine virtuelle Wasserbox um die Ausströmöffnung mit den Maßen 20m x 20m x 10m)
- die Lage der Entnahme- und der Rückgabestellen sind so zu wählen, dass keine Kurzschlussströmung auftritt
- Abstand zu Trinkwasserentnahmen:
  - bis zu einer Anlagenleistung von 2,5 MW: 500 m
  - bis zu einer Anlagenleistung von 5 MW: 1000 m

Die nächstgelegene Trinkwasserentnahmestelle liegt zwischen 500 und 1000m von der Therme und der potenziellen Seewasserentnahme entfernt. Die genaue Stelle wurde im Rahmen der Machbarkeitsstudie bei zuständiger Stelle angefragt und lokalisiert. Es kommt bei keinem der untersuchten Anlagenvarianten zu einer Unterschreitung des erforderlichen Mindestabstands. Die genaue Lage war während der Untersuchung bekannt; da die genaue Position jedoch aus Sicherheitsgründen der Geheimhaltung unterliegt, wird auf eine kartografische Darstellung verzichtet.

Während der Machbarkeitsstudie wurde frühzeitig das zuständige Landratsamt (Landratsamt Bodenseekreis Amt für Wasser- und Bodenschutz) über das Vorhaben informiert. Ein Abstimmungstermin bezüglich genehmigungsrechtlicher Aspekte ergab, dass eine solche Anlage genehmigungsfähig ist und ein großes Interesse an einer nachhaltigen Wärmeerzeugung mittels Bodensee-Wärme besteht. Die Wasserrechtliche Erlaubnis hierfür wird befristet für einen Zeitraum von 20 bis 30 Jahren erteilt.

Eine wesentliche Randbedingung für die Genehmigungsfähigkeit durch das Landratsamt ist die Einbindung eines Zwischenkreislaufes zwischen Wärmepumpe und Seewasserfassung. Hierdurch soll sichergestellt werden, dass ein direkter Kontakt zwischen wassergefährdenden Stoffen (bspw. dem Kältemittel der Wärmepumpe) auch im Leckagefall ausgeschlossen werden kann.

Bei den Baumaßnahmen kann es zu Einschränkungen kommen, wenn diese während der Laichzeit stattfinden. Zudem ist zu beachten, dass die Verlegung der Seewasserfassung grabenlos erfolgen muss.

Im Rahmen der Abstimmung hat das Landratsamt auf die aktuelle Problematik der Quagga-Muschel am Bodensee hingewiesen, welche sich in den letzten Jahren zunehmend verbreitet und erhebliche Auswirkungen auf die Wassergewinnung/-nutzung aus dem Bodensee hat, da die Quagga-Muschel ohne entsprechende Gegenmaßnahmen die Seewasserleitungen zusetzt. Aus diesem Grund werden von Seiten des Landratsamts nur noch molchbare Seewasserleitungen genehmigt, wobei die Molchung idealerweise Richtung Land erfolgen sollte. Eine Molchung Richtung See ist zwar aktuell die gängige Praxis und technisch deutlich einfacher zu realisieren, ggf. können aber die in den See ausgetragenen Ablagerungen bei einem langjährigen Betrieb zu Einschränkungen führen. Im Zuge einer Umsetzung wird empfohlen, die aktuellen Erkenntnisse und Forschungsvorhaben im Hinblick auf geeignete Vorkehrungen und Maßnahmen im Umgang mit der Quagga-Muschel entsprechend zu berücksichtigen.

### **3. Wärmequellen und Wärmeerzeugung Technologien für das Konzept**

#### **3.1 Allgemeines**

Zur Erreichung der Zielvorgaben hinsichtlich der einzusetzenden erneuerbaren Energien werden folgende Möglichkeiten grundsätzlich geprüft, um den regenerativen Anteil bei der Wärmeerzeugung zu optimieren, d.h. zu maximieren.

- Seewärme aus dem Bodensee
- Ggfs. ergänzend Strom (im Falle von Stromnetz-Überkapazitäten)

Zudem wird der Einsatz fossiler Energien (Erdgas) in Kraft-Wärme-Kopplung berücksichtigt.

Folgende Energiequellen werden nach Vorüberlegungen nicht weiterverfolgt:

- NaWaRo (Mais, Getreide, Gras, Gülle)
- Windenergie, Kleinwindkraftanlagen
- Wärme aus Umgebungsluft
- Wasserstoff
- Wasserkraft

Darüber hinaus sind zur Optimierung der zeitlichen Verschiebung zwischen Erzeugung und Verbrauch entsprechende Speicherkapazitäten zu berücksichtigen:

- Wärmespeicher
- Ggfs. Stromspeicher

Im Folgenden werden kurz die wesentlichen regenerativen Energieträger im Hinblick auf das Konzept vorgestellt:

## 3.2 Seewärme als Wärmequelle

Hauptwärmequelle des Vorhabens ist die Seewärme aus dem Bodensee. Mit zunehmender Tiefe sinkt die Wassertemperatur und hat ab ca. 40 m Tiefe einen relativ konstanten Wert im Jahresverlauf zwischen 5 und 10°C und kann damit auch in der Heizperiode zuverlässig Wärme zur Verfügung stellen.

Für die Nutzung der Wärmeenergie des Bodensees sollen Wärmepumpen eingesetzt werden. Die Leistungsfähigkeit einer Wärmepumpe in einem Betriebszustand wird durch das Verhältnis zwischen Antriebsenergie und nutzbarer Wärmeenergie (hier Umwelte-nergie aus dem See) durch die Arbeitszahl (COP) beschrieben. Für den Jahresdurchschnitt wird die Leistungsfähigkeit mit der Jahresarbeitszahl (JAZ) angegeben.

Die Leistungszahl (engl. COP) einer Wärmepumpe stellt das Verhältnis von nutzbarer Wärmeenergie ( $\dot{Q}_{ab}$ ) zu eingesetzter Energie (elektr. Leistung,  $P_{el}$ ) dar. Die Leistungs-zahl kann als Art Wirkungsgrad der Wärmepumpe betrachtet werden und sollte mindes-tens 3,5 betragen. Höhere Werte bedeuten eine höhere Effizienz der Wärmepumpe. Die Leistungszahl gilt nur für einen bestimmten Betriebszustand. Maßgebliche Einflussfak-toren der Leistungszahl sind:

- Temperaturniveau Wärmeabgabe (Vorlauf-Temperatur)
- Temperaturniveau Wärmequelle (hier Seewassertemperatur)

$$\text{Leistungszahl (COP)} = \frac{\dot{Q}_{ab} \text{ kW}}{P_{el} \text{ kW}}$$

Die der Wärmequelle entzogene bzw. der Wärmepumpe auf der Verdampferseite zu-geführte Leistung ( $\dot{Q}_{zu}$ ) ergibt sich aus der Differenz der abgegebenen Wärmeleistung und der zugeführten elektrischen Energie zu

$$\dot{Q}_{zu} = \dot{Q}_{ab} - P_{el}$$

Das über einen größeren Zeitraum (bspw. ein Jahr) gebildete Verhältnis zwischen nutzbarer Wärmeenergie und eingesetzter (elektrischer) Energie wird als Jahresarbeits-zahl (JAZ) bezeichnet:

$$\text{Jahresarbeitszahl (JAZ)} = \frac{Q_{ab} \frac{\text{kWh}}{a}}{W_{el} \frac{\text{kWh}}{a}}$$

### **3.3 Einsatz von Erdgas und Kraft-Wärme-Kopplung**

Die Charakteristik der Beheizung von Gebäuden zeigt kurzzeitige Spitzen, die insbesondere an kalten Tagen in den Morgenstunden anfallen, wenn die Raumtemperaturen hochgeregelt werden. In der Regel fallen diese hohen Bedarfe nur wenige hundert Stunden im Jahr an. Der Einsatz von regenerativer Energieerzeugung mit hohen Investitionskosten ist hierfür meist nicht wirtschaftlich, weshalb für die Spitzenlastdeckung günstige Erdgaskessel zum Einsatz kommen. Wegen der geringen Betriebszeiten fällt der Anteil an fossiler Energie über das Jahr gesehen gering aus.

Ein weiterer Einsatz von Erdgas ist in der Kraft-Wärme-Kopplung sinnvoll, da hiermit Wirkungsgrade von annähernd 90 % erreicht werden – somit nicht wesentlich von Kesseln abweichend – wobei fast die Hälfte der erzeugten Energie die hochwertigere Energieform Strom ist. Bei dem Einsatz von Wärmepumpen bietet sich der Einsatz von KWK-Anlagen an, da der für den Betrieb der Wärmepumpen benötigte Strom vor Ort erzeugt werden kann und daher günstiger als der aus dem Stromnetz bezogene Strom ist.

Die Kraft-Wärme-Kopplung ist in Gasmotor-BHKW und Brennstoffzellenanlagen möglich.

### **3.4 Wärmespeicher: Warmwasserspeicher**

Der maßgebliche Anteil an erneuerbaren Energiequellen soll im geplanten Vorhaben aus Umweltwärme aus dem Bodensee stammen. Diese Form der Energiequelle besitzt gegenüber Solar- od. Windenergie einen sehr geringen volatilen Charakter. Die Energiequelle steht ganzjährig zur Verfügung und unterliegt kaum Schwankungen. Ein Überschuss aus dieser erneuerbaren Wärmequelle ist folglich nicht zu erwarten.

Aus diesem Grund wird der Einsatz eines saisonalen Wärmespeichers nicht untersucht. Zur Laufzeitmaximierung der KWK-Anlagen (BHKW) kommen Pufferspeicher zum Einsatz, deren Volumen abhängig von der jeweiligen Anlagenleistung ist

## 4. Technisches Konzept Seewärmenutzung Meersburg

### 4.1 Seewassernutzung

#### Funktionsbeschreibung:

Um die Seewärme zu nutzen, werden je nach erforderlicher Anlagenleistung ein oder mehrere Wärmepumpen eingesetzt.

Das Seewasser wird mit einer Temperatur zwischen 5 und 10°C entnommen und durch einen ersten Wärmetauscher geleitet. In diesem ersten Wärmetauscher wird das Seewasser abgekühlt und gibt die Wärme an den mit Wasser betriebenen Zwischenkreislauf ab. Dieser Zwischenkreislauf dient der Wärmepumpe als Wärmequelle. Die Wärmepumpe hebt damit den Vorlauf des Wärmenetzes bzw. das in der Therme benötigte Frischwasser auf eine Temperatur zwischen 45 und 75 °C an.

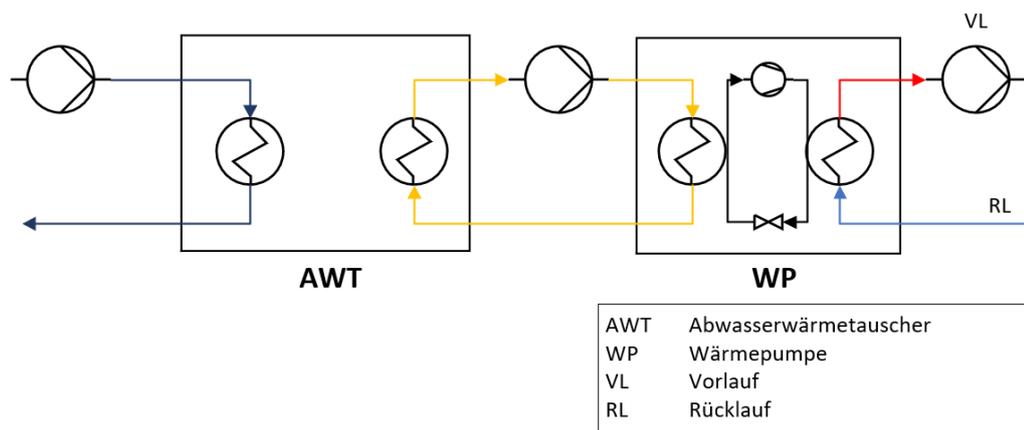


Abbildung 3: Prinzipskizze Seewassernutzung

#### Anlagenbeschreibung:

Die Anlage zur Seewärmenutzung besteht aus folgenden Anlagenteilen:

- Seewasserfassung und Pumpenbauwerk
- Wärmetauscher/Zwischenkreislauf
- Wärmepumpe(n)

### Seewasserefassung:

Die Seewasserefassung dient der Wasserentnahme und Rückführung und besteht aus zwei Leitungen.

Um das Wasser mit einer möglichst konstanten Temperatur zu entnehmen, ist eine Entnahmetiefe von ca. 50 m anzustreben. Daraus ergibt sich eine Länge der Entnahmeleitung von ca. 200 m am geplanten Standort und einem Nenndurchmesser zwischen DN 300 und DN 600 je nach Anschlusszenario und der daraus resultierenden Wassermenge.



Abbildung 4: Hydrogeologische Karte Meersburg (Bildquelle: <https://therm-dis.eawag.ch/de/map-installations>)

Die Rückgabe des Wassers muss in einer Tiefe von mind. 20 m erfolgen und es ist eine Kurzschlussströmung zwischen Rücknahme und Entnahme zu vermeiden. Um die erforderliche Tiefe zu erreichen, ist eine Leitungslänge von etwa 150-200 m erforderlich.

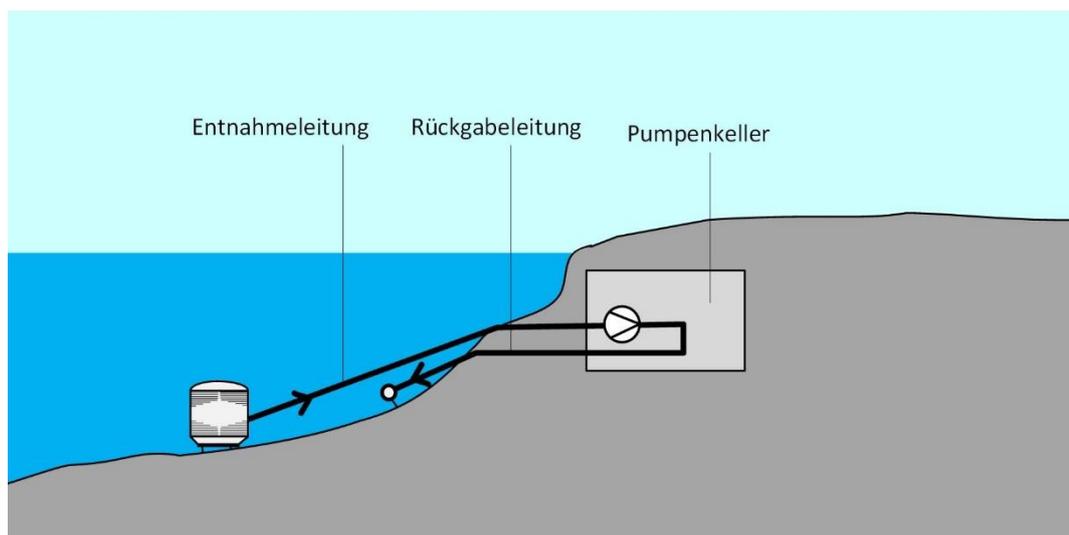


Abbildung 5: Schematische Darstellung Seewasserkreislauf

Eine besondere Anforderung an die Seewasserfassung aus dem Bodensee stellt die Möglichkeit einer einfachen Reinigung der Rohrleitungen dar. Diese wird mittlerweile aufgrund der Verbreitung der Quagga-Muschel gefordert. Die Quagga-Muschel ist eine invasive Muschel-Art, die erstmals 2016 im Bodensee nachgewiesen wurde und der aktuell keine Fressfeinde gegenüberstehen. In 2017 wurde die Quagga-Muschel bereits im gesamten Uferbereich des Bodensees nachgewiesen und besiedelt nun auch zunehmend den Tiefenbereich. Die Ansiedlung der Muscheln in den Seewasserleitungen ist daher auch bei großen Entnahmetiefen zu erwarten. In Seen in Nordamerika, in welche die Quagga-Muschel auch eingeschleppt wurde, wird diese bis in Tiefen von 250 m nachgewiesen.



**Abbildung 6: Die Quagga-Muschel (Bildquelle: [www.neozaen-bodensee.de](http://www.neozaen-bodensee.de))**

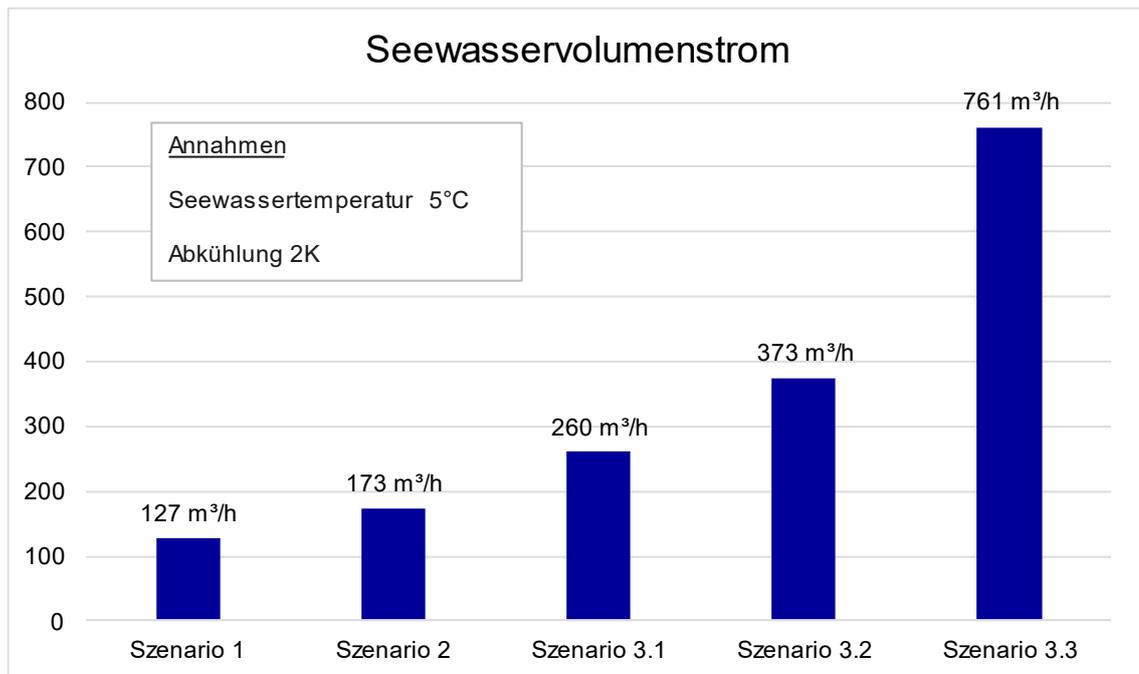
Es werden aktuell zwar verschiedene Maßnahmen untersucht, um das Anhaften der Muscheln an den Rohrwandungen zu vermeiden (z.B. angepasste Strömungsgeschwindigkeiten, Rohrmaterialien), bislang ist der Quagga-Muschel aber nur durch das regelmäßige und aufwändige Reinigen der Rohrleitungen mittels Molch-Verfahren beizukommen. Im Hinblick auf den Wärmeübertrager ist ein geeigneter und reinigbarer Bautyp einzusetzen, ggf. ist aber sogar eine Ultrafiltration zur Abscheidung der Muscheln und Larven vor dem Wärmeübertrager notwendig.

Vor dem Hintergrund der Quagga-Muschel-Problematik bestehen für die Ausgestaltung der Seewasserfassung und -nutzung aktuell keine verlässlichen technischen Standards.

### Pumpenkeller (Schachtbauwerk)

Für die Entnahme von Seewasser mit der Seewasserfassung werden typische Förderpumpen eingesetzt, deren Ansaughöhe auf etwa 7-8 m begrenzt ist, weshalb die Seewasserpumpen unterhalb des Wasserspiegels aufgestellt werden müssen. Hierfür ist ein Schachtbauwerk im Uferbereich notwendig (siehe auch Abbildung 5). Durch die Aufstellung unterhalb des Wasserspiegels wird ein Betrieb der Pumpen in einem optimalen Betriebspunkt ermöglicht.

Für die Dimensionierung der Seewasserpumpen kann der erforderliche Volumenstrom herangezogen werden. Dieser ist von der notwendigen Heizleistung je nach Szenario, der Wassertemperatur und der möglichen Abkühlung abhängig. Abbildung 7 zeigt die erforderlichen Volumenströme der 5 untersuchten Szenarien bei einer Wassertemperatur von 5°C und einer Abkühlung um 2 Kelvin:



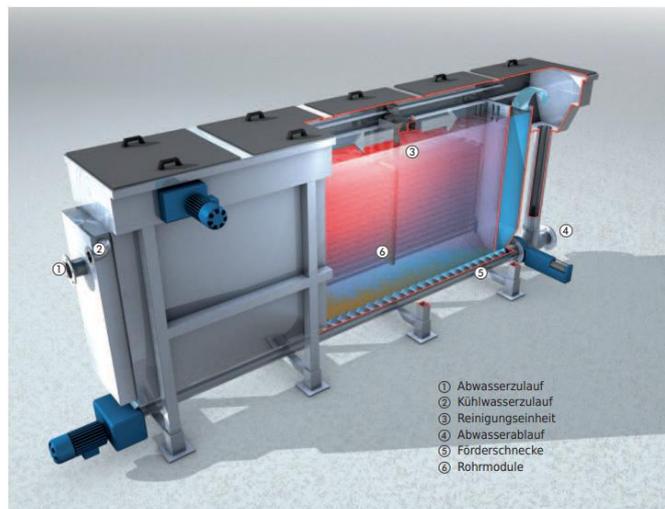
**Abbildung 7: Seewasser-Volumenströme**

Liegt die Wassertemperatur höher, ist eine stärkere Abkühlung möglich und der Volumenstrom verringert sich.

### Wärmetauscher Zwischenkreislauf

Für die Übertragung der Seewärme auf das Medium des Zwischenkreislaufs wird ein Wärmetauscher eingesetzt. Eine Wärmeabgabe des Seewassers direkt in der Wärmepumpe ist nicht möglich, um in einem Leakagefall das Seewasser nicht mit wassergefährdenden Stoffen zu verunreinigen.

Um die derzeit noch nicht abschätzbaren Risiken durch die Quagga-Muschel und eine daraus eventuell resultierende schnelle Verunreinigung herkömmlicher Plattenwärmetauscher zu vermeiden, wird ein Abwasserwärmetauscher empfohlen (siehe Abbildung 8).



**Abbildung 8: Abwasserwärmetauscher RoWin der Fa. Huber (Bildquelle: [www.huber.de](http://www.huber.de))**

Die Aufstellung des Abwasserwärmetauschers sollte ebenfalls im Schachtbauwerk der Seewasserpumpen erfolgen, um die erforderliche Förderleistung der Seewasserpumpen möglichst niedrig zu halten.

### Wärmepumpe:

Für die Bereitstellung von Nutzwärme werden Großwärmepumpen im Leistungsbereich zwischen 400 und 600 kW eingesetzt. Mit zunehmendem Leistungsbedarf werden mehrere Wärmepumpen in Reihe geschaltet, um einen möglichst effizienten Betrieb in einem großen Leistungs- und Temperaturbereich zu ermöglichen.

## 4.2 Standorte/Größe Heizzentrale

Standorte von zentralen bzw. teilzentralen Anlagen zur Wärmeerzeugung und –versorgung sollten im räumlichen Bereich der Abnehmer liegen. Einen wesentlichen Hauptabnehmer der Wärme ist die Therme selbst, weshalb sich dieser Standort gut eignet.

Auf dem Gelände sind mehrere potenzielle Flächen für die Heizzentrale vorhanden:

- Das gesamte Thermengelände ist unterkellert und kann als Aufstellraum für die Aggregate genutzt werden
- Der Parkplatz westlich der Therme kann ebenfalls für die Errichtung einer Heizzentrale genutzt werden.

Die Größe der Heizzentrale hängt vom jeweiligen Anschlussszenario (siehe Kapitel 4.3) und der jeweiligen Anlagenvariante (siehe Kapitel 4.4) ab.

Nachfolgende Tabelle zeigt den geschätzten Platzbedarf der Heizzentrale für das jeweilige Anschlussszenario

**Tabelle 4 Platzbedarf Heizzentrale**

Anschluss-Szenario	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3.1 - 3.3
Platzbedarf in m <sup>2</sup>	ca. 53 m <sup>2</sup>	Ca. 65 m <sup>2</sup>	Ca. 65-140 m <sup>2</sup>



### 4.3.2 Szenario 2

In Szenario 2 wird der Anschluss eines geplanten Hotelneubaus untersucht. Das Hotel befindet sich gegenüber der Therme auf der anderen Seite der Uferpromenade. Abhängig davon, wo eine Heizzentrale auf dem Thermengelände erbaut wird, beträgt die Trassenlänge zum Hotel somit ca. 50 m.

**Tabelle 6: Wärmebedarfe und Trassenlänge - Szenario 2**

	
	<b>Szenario 2</b>
	Szenario 1 + Hotel
<b>Wärmebedarf inkl. Netzverluste</b>	7,6 GWh/a
<b>Trassenlänge</b>	50 m

### 4.3.3 Szenario 3

In Szenario 3 wurde die Anbindung der direkten Anlieger des Thermenkomplexes und verschiedener Stadtbezirke untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 dargestellt und in Folgendem beschrieben.

**Tabelle 7: Wärmebedarfe und Trassenlängen - Szenario 3.1 - 3.3**

	Szenario	Wärmebedarf inkl. Netzverluste	Trassenlänge
	<b>Szenario 3.1</b> Szenario 2 + Anlieger II	8,2 GWh/a	332 m
	<b>Szenario 3.2</b> Szenario 3.1 + Anlieger I + Unterstadt	13,6 GWh/a	1.612 m
	<b>Szenario 3.3</b> Szenario 3.2 + Oberstadt + Schulkomplex	23,5 GWh/a	2.779 m

**Szenario 3.1:** In diesem Szenario wurde der Wärmeverbund die Anlieger südöstlich der Therme und des Hotelkomplexes betrachtet. Es handelt sich dabei lediglich um 9 Gebäude, die sich in dem Gebiet befinden und mithilfe einer rund 330 m langen Wärmetrasse angebunden werden können. Aufgrund der hohen Wärmebedarfe von Hotel

und Therme fallen die Übertragungsverluste in diesem Szenario nur sehr gering aus und damit nicht ins Gewicht.

**Szenario 3.2:** Das beschriebene Szenario 3.1 wird um den Anschluss des gegenüber der Therme liegenden Anliegergebietes sowie die Unterstadt erweitert – dabei handelt es sich um insgesamt 80 weitere Anschlussnehmer, die durch eine rund 1.600 m lange Wärmetrasse angebunden werden.

**Szenario 3.3:** In diesem Szenario wird der Anschluss der verbleibenden Innenstadtbezirke Schulkomplex und Oberstadt untersucht. Das oben beschriebene Szenario 3.2 wird somit um 134 Anschlussnehmer erweitert (22 im Schulkomplex, 112 in der Oberstadt). Die Länge der hierfür benötigten Wärmetrasse beträgt damit insgesamt knapp 2.800 m.

## 4.4 Beschreibung der Erzeugervarianten

Die Bodenseewärme spielt in allen beschriebenen Szenarien eine übergeordnete Rolle. Demnach werden in allen Erzeugervarianten, die im Folgenden beschrieben werden, Wärmepumpen genutzt. In folgendem Kapitel wurde für jede Erzeugervariante der Einfluss von zwei unterschiedlichen Vorlauftemperaturen (40 und 55 °C) untersucht.

Grundsätzlich gilt, dass ein niedrigerer Temperaturhub zu einer effizienteren, also stromsparenden und damit günstigeren Betriebsweise der Wärmepumpe führt. Eine höhere Vorlauftemperatur ist dagegen zwar verbrauchsintensiver, führt dabei aber zu einem höheren Wärmeabsatz und damit zu einem verminderten Einsatz von anderweitigen (ggf. fossilen) Brennstoffen. Erzeugervarianten mit einer bereitzustellenden Vorlauftemperatur von 55 °C werden in Folgendem mit einem \* gekennzeichnet.

Um den Strombedarf der eingesetzten Wärmepumpen (anteilig) zu decken, wird in allen Anschlusszenarien der Einsatz von BHKWs untersucht. Die Erzeugervarianten, die ein BHKW beinhalten, werden durch ein „B“ gekennzeichnet.

In allen Szenarien werden darüber hinaus die Erzeugervarianten A und B mit einer Referenzvariante „R“ verglichen – die Wärmeversorgung wird hier lediglich durch ein BHKW und ohne Wärmepumpen vorgenommen.

Zur Spitzenlastabdeckung wird für alle Varianten ein Erdgaskessel eingesetzt. Dieser soll zusätzlich zur Bereitstellung der Spitzenlast als Redundanz zu den Grundlastwärmeerzeugern BHKW und Wärmepumpen dienen. Die Leistungen der BHKWs und Wärmepumpen ergeben sich aus variantenspezifischen Lastgangsimulation. Diese sind in den nachstehenden Abschnitten 4.4.1 - 4.4.3 für jede Variante ausführlich beschrieben und in Tabelle 8 übersichtlich zusammengefasst.

**Tabelle 8: Erzeugeranteile an der Wärmeerzeugung (in %)**

Variante	Wärmepumpe	BHKW	SLK
1 A	81%		19%
1 A*	85%		15%
1 B	63%	24%	13%
1 B*	67%	15%	18%
1 R	-	67%	33%
2 A	59%	-	41%
2 A*	50%	-	50%
2 B	60%	27%	13%
2 B*	50%	41%	9%
2 R	-	79%	21%
3.1 A	83%	-	17%
3.1 A*	78%	-	22%
3.1 B	70%	28%	2%
3.1 B*	58%	41%	1%
3.1 R	-	72%	28%
3.2 A	71%	-	29%
3.2 A*	67%	-	33%
3.2 B	62%	21%	17%
3.2 B*	55%	31%	15%
3.2 R	-	74%	26%
3.3 A	85%	-	15%
3.3 A*	85%	-	15%
3.3 B	67%	29%	4%
3.3 B*	65%	30%	5%
3.3 R	-	70%	30%

#### 4.4.1 Szenario 1

Die Wärmeversorgung der Therme erfolgt zweistufig gemäß Abbildung 9. In Stufe 1 wird die aus dem Bodensee übertragene Wärme durch die Wärmepumpe auf eine niedrige Vorlauftemperatur von 40 bzw. 55 °C gebracht. Somit kann ausreichend Wärme für die Beheizung des Badewassers, welches eine durchschnittliche Temperatur von 25 °C aufweist, bereitgestellt werden.

In Stufe 2 wird ein höheres Temperaturniveau benötigt. Um einem Legionellenbefall entgegenzuwirken, wird das in Stufe 1 vorgewärmte Trinkwasser nun durch den erdgasbeheizten Spitzenlastkessel und ggf. durch ein BHKW (Variante B) auf 65 °C erwärmt. Die Trinkwassererwärmung wird im Folgenden mit TWE abgekürzt. Das vorgewärmte Heizungswasser wird in Stufe 2 auf 70 °C und damit auf die im Heizkreislauf benötigte Vorlauftemperatur erhitzt.

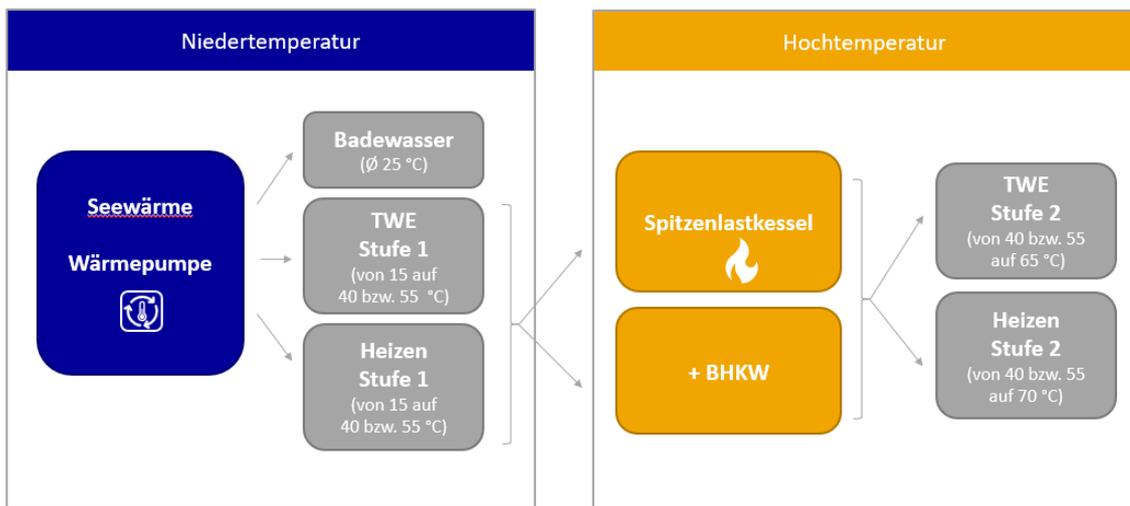


Abbildung 9: Zweistufige Wärmebereitstellung - Szenario 1

Tabelle 9: Anlagentechnik Szenario 1

	A	A*	B	B*	R
<b>Wärmepumpe</b>	380 kW	490 kW	380 kW	380 kW	-
<b>BHKW</b>	-	-	114 kW th. 71 kW el.	179 kW th. 114 kW el.	179 kW th. 114 kW el.
<b>Spitzenlastkessel</b>	800 kW	800 kW	800 kW	800 kW	800 kW
<b>Pufferspeicher</b>	30 m <sup>3</sup>	30 m <sup>3</sup>	30 m <sup>3</sup>	30 m <sup>3</sup>	30 m <sup>3</sup>

Beispielhaft werden in Abbildung 10 und Abbildung 11 die resultierenden Jahresdauerlinien sowie die monatliche Wärmebereitstellung nach Erzeugern der Varianten A und B dargestellt.

Die Jahresdauerlinie zeigt, welche Leistung in welcher Dauer benötigt wird: Im Diagramm als blaue Linie zu erkennen. Die darunterliegenden gefüllten Flächen zeigen die durch die jeweiligen Erzeuger bereitgestellte Wärme. Deutlich erkennbar ist der hohe

Anteil der Wärmepumpe (blaue Fläche). In Abbildung 9 hat zusätzlich das BHKW einen Anteil (graue Fläche). Der Spitzenlastkessel (gelbe Fläche) kommt nur wenige Stunden zum Einsatz.

Eine weitere Auffälligkeit ist die Spitze beim monatlichen Wärmebedarf im Monat Mai. Diese Spitze ist auf die Befüllung und Beheizung des Freibads zurückzuführen, die in diesem Monat erfolgt.

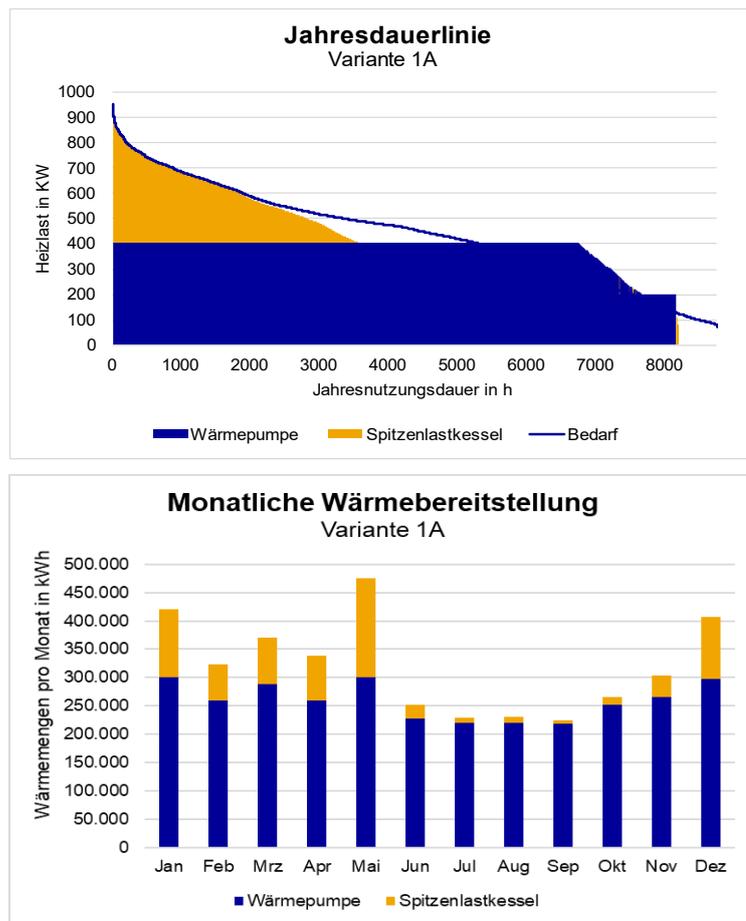


Abbildung 10: Jahresdauerlinie und monatliche Wärmebereitstellung nach Erzeugern - Variante 1A

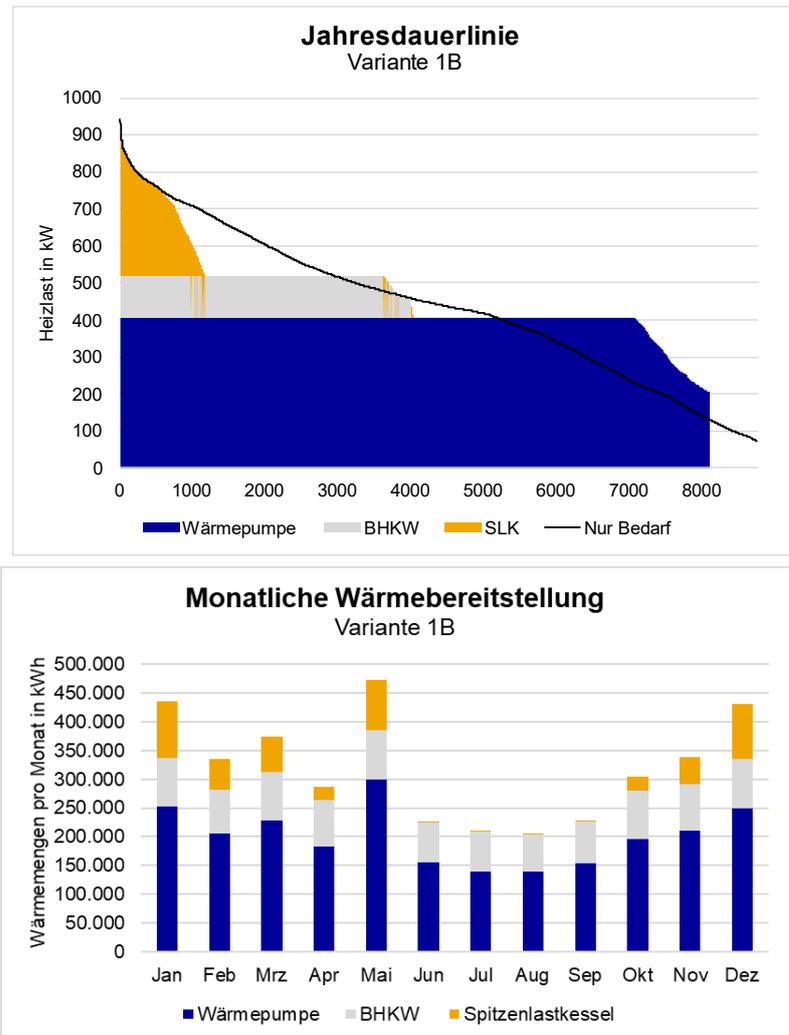


Abbildung 11: Jahresdauerlinie und monatliche Wärmebereitstellung nach Erzeugern - Variante 1B

#### 4.4.2 Szenario 2

In Szenario 2 wird neben der Wärmeversorgung der Therme auch noch die Anbindung eines sich in der Planung befindenden Hotels in Meersburg untersucht. Die Wärmebereitstellung der Therme aus Szenario 1 wird in Szenario 2 grundsätzlich übernommen. Da aber ein zweiter großer Wärmeabnehmer dazu kommt, müssen die Spitzenlastzeuger bzw. BHKWs vergrößert werden. Durch die vermehrte Zuheizung können somit die erforderlichen Temperaturniveaus für Trinkwassererwärmung, Heizen und das Wärmenetz erreicht werden. Die benötigte Anlagentechnik der Erzeugervarianten aus Szenario 2 wird in Tabelle 10 zusammengefasst.

**Tabelle 10: Anlagentechnik Szenario 2**

	<b>A</b>	<b>A*</b>	<b>B</b>	<b>B*</b>	<b>R</b>
<b>Wärmepumpe</b>	490 kW	490 kW	490 kW	490 kW	-
<b>BHKW</b>	-	-	205 kW el., 331 kW th.,	336 kW el., 495 kW th.	637 kW th., 731 kW el.
<b>Spitzenlastkessel</b>	1,5 MW	1,5 MW	1,5 MW	1,5 MW	1,5 MW
<b>Pufferspeicher</b>	30 m <sup>3</sup>	30 m <sup>3</sup>	30 + 40 m <sup>3</sup>	30 + 40 m <sup>3</sup>	30 m <sup>3</sup>

#### 4.4.3 Szenario 3

In den Szenarien 3.1 – 3.3 werden unterschiedliche Anliegergebiete sowie Innenstadtbezirke durch das Wärmenetz mit Wärme versorgt (siehe Abschnitt 4.3.3). Für ihre Versorgung soll auch weiterhin die Bodenseewärme zur Grundlastdeckung genutzt werden. Aus diesem Grund werden die Erzeugervarianten aus Szenario 1 und 2 um weitere Wärmepumpen ergänzt, die die Seewärme direkt auf ein höheres Temperaturniveau von 60°C bringen. In den Erzeugervarianten der Szenarien 3.1 – 3.3 erhöht sich mit steigendem Wärmebedarf auch die Anzahl der eingesetzten Wärmepumpen – um die Teillastfähigkeit und damit den flexiblen Einsatz der Wärmepumpen zu gewährleisten, wurden statt einer großen Wärmepumpe mehrere kleine Wärmepumpen eingesetzt. Dies ist beispielsweise in Abbildung 13 und Abbildung 14 am stufenförmigen Verlauf der Jahresdauerlinie zu erkennen. Durch Zuheizung von erdgasbefeuerten Spitzenlastkesseln und durch das BHKW können somit die benötigten Temperaturen für Trinkwassererwärmung, Heizen und das Wärmenetz erreicht werden. In Abbildung 12 ist dieses Vorgehen noch einmal grafisch veranschaulicht.

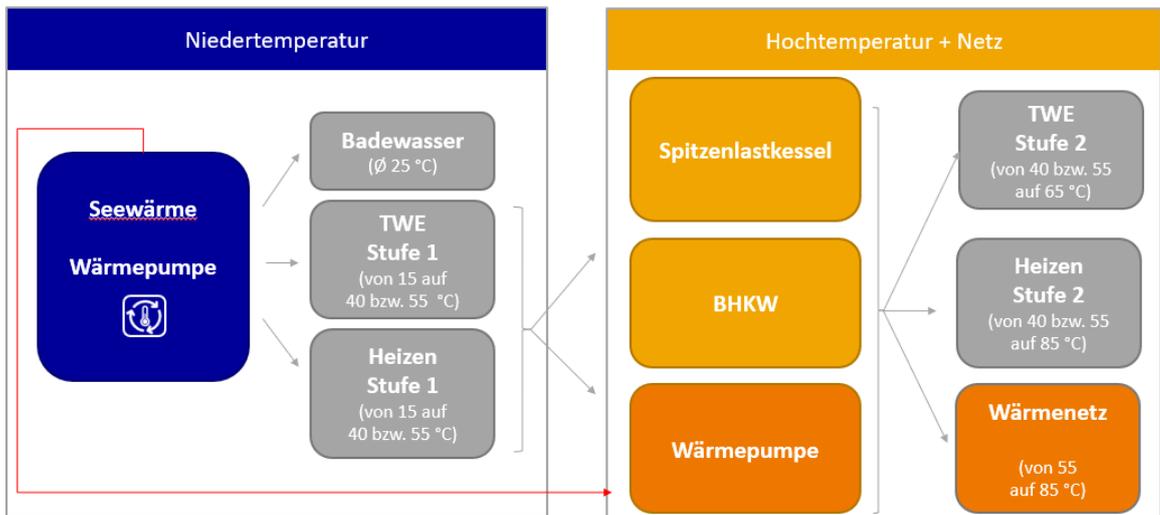


Abbildung 12: Zweistufige Wärmebereitstellung - Szenario 3

Die benötigte Anlagentechnik für die Erzeugervarianten der Szenarien 3.1 – 3.3 ist in Tabelle 11 aufgeführt. Da die Szenarien jedoch eine Vielzahl von Erzeugervarianten beinhalten erscheint in diesem Abschnitt der Übersicht halber lediglich die grafische Darstellung der Jahresdauerlinie und der monatlichen Wärmebereitstellung des größten Szenarios 3.3.

Tabelle 11: Anlagentechnik Szenarien 3.1 - 3.3

Szenario 3.1					
	A	A*	B	B*	R
Wärmepumpe	2 x 490 kW	-			
BHKW	-	-	205 kW el. 331 kW th.	366 kW el. 495 kW th.	500 kW el. 692 kW th.
Spitzenlastkessel	1,5 MW	1,5 MW	1,5 MW	1,5 MW	1,5
Pufferspeicher	30 + 30 m <sup>3</sup>	30 + 30 m <sup>3</sup>	30 + 40 m <sup>3</sup>	30 + 40 m <sup>3</sup>	30 m <sup>3</sup>
Szenario 3.2					
	A	A*	B	B*	R
Wärmepumpe	3 x 490 kW	-			
BHKW	-	-	205 kW el. 331 kW th.	366 kW el. 495 kW th.	2 x 526 kW el. 2 x 634 kW th.
Spitzenlastkessel	1,5 + 0,6 MW	1 + 0,6 MW	1,5 + 0,6 MW	1,5 + 0,6 MW	
Pufferspeicher	50 + 30 m <sup>3</sup>	50 + 30 m <sup>3</sup>	40 + 40 m <sup>3</sup>	40 + 40 m <sup>3</sup>	
Szenario 3.3					
	A	A*	B	B*	R
Wärmepumpe	4 x 620 kW 1 x 490 kW	-			
BHKW	-	-	637 kW el. 790 kW th	637 kW el. 790 kW th.	2 x 1948 kW el. 2 x 1078 kW th.
Spitzenlastkessel	3 x 2 MW	3 x 2 MW	2 x 2 MW	2 x 2 MW	3 x 2 MW
Pufferspeicher	30 m <sup>3</sup>	30 m <sup>3</sup>	30 + 40 m <sup>3</sup>	30 + 40 m <sup>3</sup>	50 m <sup>3</sup>

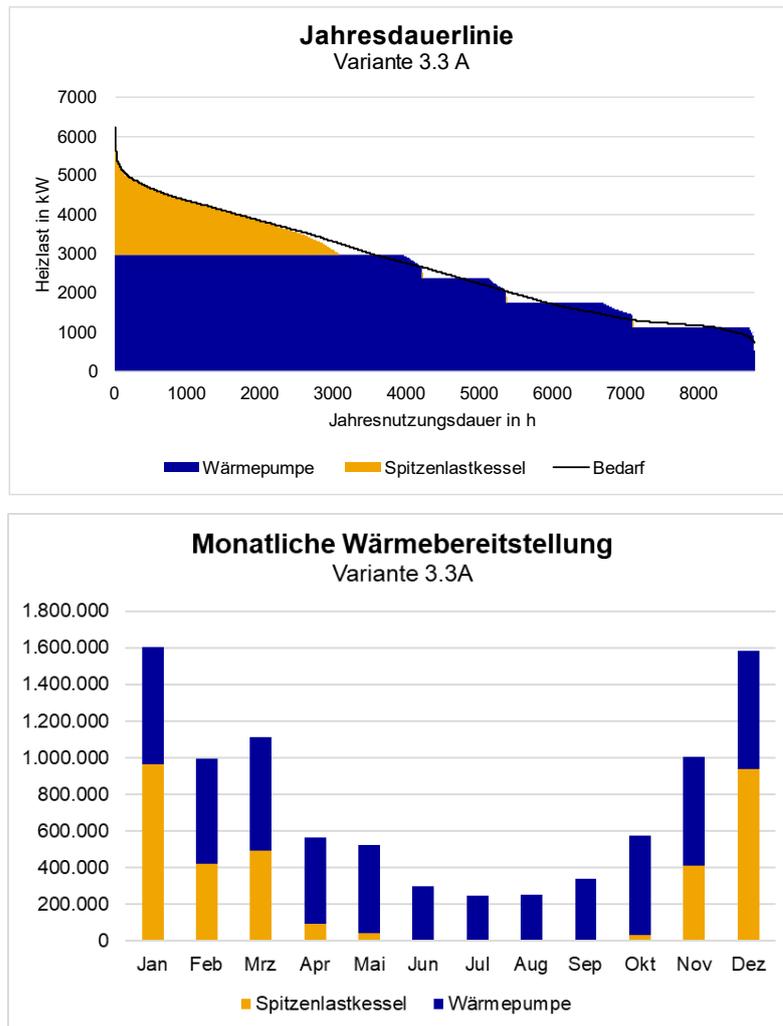


Abbildung 13: Jahresdauerlinie und monatliche Wärmebereitstellung nach Erzeugern - Variante 3.3 A

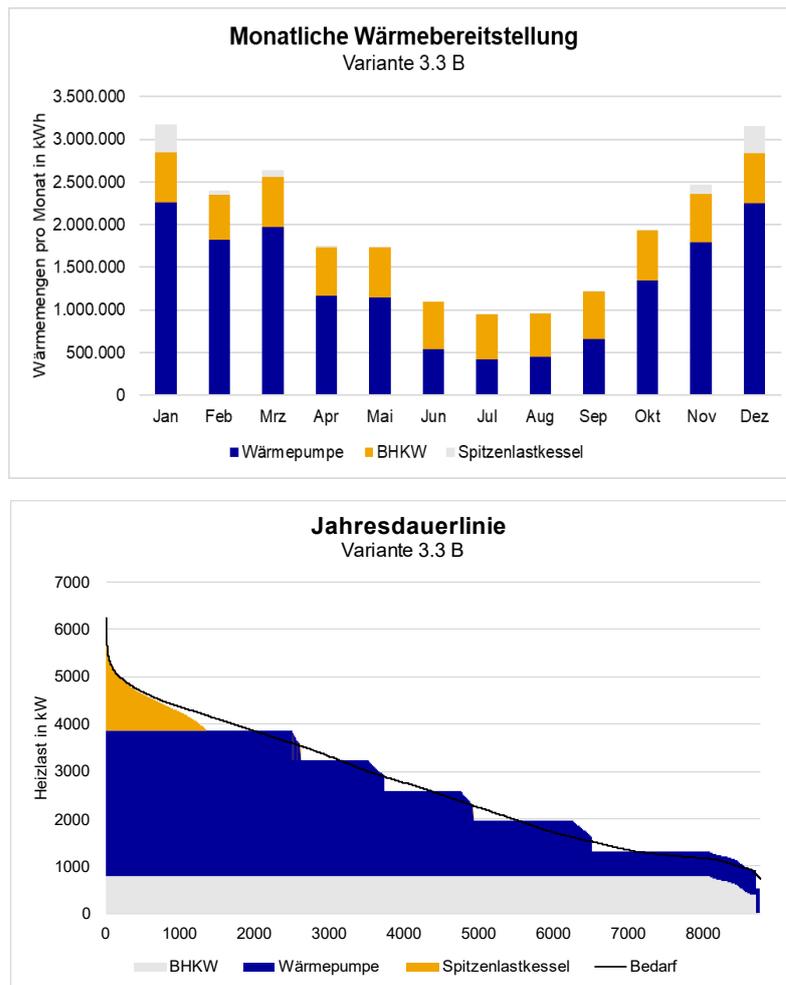


Abbildung 14: Jahresdauerlinie und monatliche Wärmebereitstellung nach Erzeugern - Variante 3.3 B

## 5. Variantenvergleich

### 5.1 Schätzung der Investitionskosten

Eine Schätzung der Investitionen auf Basis der dargestellten Anlagentechnik ist folgend für die Szenarien 1 und 3.3 dargestellt. Die Kostenkalkulation und Dimensionierung basiert auf Angaben der VDI 2067-Richtlinie, diversen Produktkatalogen, dem Baukostenindex BKI, Richtpreisangeboten, vergleichbaren Projekten und eigenen Erfahrungswerten.

Die Investition für die Seewasserfassung wurden anhand bestehender Anlagen abgeleitet. Dabei ist zu bemerken, dass die den verfügbaren Kostendaten zu Grunde liegende Technik die Reinigbarkeit der Rohrleitungen sowie die ggf. notwendige Wasseraufbereitung, um ein Zusetzen der Rohrleitungen und seewasserführenden Anlagenkomponenten zu vermeiden, nicht berücksichtigt. Wie in Kapitel 4.1 erläutert, verstärkt sich die Problematik der Quagga-Muschel aktuell, so dass für die Ausgestaltung der Seewasserfassung und -nutzung keine verlässlichen technischen Standards definiert und somit auch keine belastbaren Kosten erhoben werden können. Die Seewasserfassung stellt dabei auch ohne zusätzliche notwendige Maßnahmen zum Umgang mit der Quagga-Muschel neben dem Wärmenetz den größten Kostenposten dar. Um den Einfluss steigender Investitionen für die Seewasserfassung auf die Wärmegestehungskosten zu untersuchen, wurde in Kapitel 5.3.2 eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt.

**Tabelle 12 Investitionen Szenario 1**

Position	Variante A	Variante A*	Variante B	Variante B*	Referenz
<b>Wärmeerzeugung</b>					
Wärmepumpe	190.000 €	245.000 €	190.000 €	190.000 €	- €
Seewasserfassung	1.385.000 €	1.385.000 €	1.385.000 €	1.385.000 €	- €
Spitzenlastkessel	65.000 €	65.000 €	65.000 €	65.000 €	65.000 €
BHKW	- €	- €	92.000 €	123.000 €	180.000 €
Seewasserpumpen	12.000 €	12.000 €	12.000 €	12.000 €	- €
Zwischenkreislauf/AWT	117.000 €	117.000 €	100.000 €	100.000 €	- €
Einbindung hydraulisch & elektrisch inkl. Pufferspeicher	274.350 €	301.850 €	381.130 €	396.630 €	204.850 €
<b>Wärmeverteilung</b>					
Übergabestationen	- €	- €	- €	- €	- €
Wärmenetz	- €	- €	- €	- €	- €
Netzpumpen	7.500 €	7.500 €	7.500 €	7.500 €	7.500 €
<b>Heizzentrale</b>					
	67.200 €	67.200 €	85.760 €	85.760 €	67.200 €
<b>Zwischensumme</b>					
	2.118.050 €	2.200.550 €	2.318.390 €	2.364.890 €	524.550 €
Baunebenkosten	423.610 €	440.110 €	463.678 €	472.978 €	104.910 €
Wasserkonzession und Genehmig	10.777 €	10.842 €	9.712 €	9.832 €	- €
<b>Investitionen</b>	<b>2.552.437 €</b>	<b>2.651.502 €</b>	<b>2.791.780 €</b>	<b>2.847.700 €</b>	<b>629.460 €</b>

**Tabelle 13 Investitionen Szenario 3.3**

Position	Variante A	Variante A*	Variante B	Variante B*	Referenz
<b>Wärmeerzeugung</b>					
Wärmepumpe	1.240.000 €	1.240.000 €	1.240.000 €	1.240.000 €	1.240.000 €
Seewasserfassung	1.750.000 €	1.750.000 €	1.750.000 €	1.750.000 €	- €
Spitzenlastkessel	354.000 €	354.000 €	236.000 €	236.000 €	354.000 €
BHKW	- €	- €	182.420 €	380.700 €	1.022.000 €
Seewasserpumpen	50.000 €	50.000 €	46.000 €	46.000 €	- €
Zwischenkreislauf/AWT	620.000 €	620.000 €	490.000 €	490.000 €	- €
Einbindung hydraulisch & elektrisch inkl. Pufferspeicher	1.187.000 €	1.187.000 €	1.227.000 €	1.227.000 €	1.207.000 €
<b>Wärmeverteilung</b>					
Übergabestationen	1.672.500 €	1.672.500 €	1.672.500 €	1.672.500 €	1.672.500 €
Wärmenetz	1.980.300 €	1.980.300 €	1.980.300 €	1.980.300 €	1.980.300 €
Netzpumpen	20.000 €	20.000 €	20.000 €	20.000 €	20.000 €
<b>Heizzentrale</b>					
	240.000 €	240.000 €	240.000 €	240.000 €	240.000 €
Zwischensumme	9.113.800 €	9.113.800 €	9.084.220 €	9.282.500 €	7.735.800 €
Baunebenkosten	1.752.760 €	1.748.260 €	1.739.386 €	1.798.870 €	1.212.360 €
<b>Investitionen</b>	<b>10.866.560 €</b>	<b>10.862.060 €</b>	<b>10.823.606 €</b>	<b>11.081.370 €</b>	<b>8.948.160 €</b>

Zur Bestimmung der jährlichen Kosten bedingt durch die Investitionen wird die Annuitätenmethode anhand eines Zinssatzes von 7% und spezifischen Abschreibungszeiten angewendet. Die Abschreibungszeiten entsprechen den angenommen Nutzungsdauern und teilen sich auf in:

- Wärmenetz und bauliche Maßnahmen: 40 Jahre
- Anlagentechnik: 20 Jahre
- BHKW: 10 Jahre
- Baunebenkosten inkl. Planung: 20 Jahre

Die Wartungs- und Instandhaltungskosten werden mit 5% der Investitionssumme für das BHKW und mit 2,5% der Investitionssumme der restlichen Anlagentechnik angesetzt. Die Versicherungskosten werden mit 0,5% der gesamten Anlagenkosten veranschlagt.

## 5.2 Förderungen

Für alle untersuchten Varianten mit Einsatz von Wärmepumpen wird die Förderungen von Modul II des Förderprogramms Wärmenetze 4.0 einkalkuliert. Für die Referenzvariante (keine Förderung nach WNS 4.0) kann keine Förderung in Anspruch genommen werden, da der erforderliche Anteil der Wärme aus KWK von mind. 75% nicht erfüllt wird. Es wird nur die Förderung nach KWKG für die eingespeiste Strommenge einbezogen.

Analog zu Kapitel 5.1 sind die Förderungen folgend für die Szenarien 1 und 3.3 dargestellt.

**Tabelle 14 Förderungen Szenario 1**

Position	Variante A	Variante A*	Variante B	Variante B*	Referenz
<b>Wärmenetze 4.0</b>					
Förderfähige Kosten Modul I	- 22.960 €	- 22.960 €	- 22.960 €	- 22.960 €	
Basisförderung Modul II	- 776.285 €	- 800.252 €	- 815.089 €	- 822.705 €	0
<b>BAFA Wärmenetze</b>					
<b>Investive Förderungen</b>					
	- 799.245 €	- 823.212 €	- 838.049 €	- 845.665 €	0
<b>Einspeisevergütung gesamt nach</b>					
KWKG					- 360.000 €

**Tabelle 15 Förderungen Szenario 3.3**

Position	Variante A	Variante A*	Variante B	Variante B*	Referenz
<b>Wärmenetze 4.0</b>					
Förderfähige Kosten Modul I	- 22.960 €	- 22.960 €	- 22.960 €	- 22.960 €	
Basisförderung Modul II	- 678.083 €	- 821.971 €	- 538.363 €	- 572.765 €	
<b>BAFA Wärmenetze</b>					
<b>Investive Förderungen</b>					
	- 701.043 €	- 844.931 €	- 561.323 €	- 595.725 €	- €
<b>Einspeisevergütung gesamt nach</b>					
KWKG	0	0	- 224.162 €	- 28.606 €	- 1.377.000 €

## 5.3 Wirtschaftlichkeitsberechnung

### 5.3.1 Berechnung der Wärmegestehungskosten

Die Wärmegestehungskosten berechnen sich als Quotient der jährlichen Vollkosten zur gelieferten Wärmemenge an die Wärmeabnehmer. Diese enthalten die kapitalgebundenen Kosten auf Basis der Investitionen nach der Annuitätenmethode (Abschreibungszeitraum und Zinssatz), den verbrauchsgebundenen Kosten (Brennstoff- und Energiepreise), sowie den betriebsgebundenen und sonstigen Kosten (Wartung, Instandhaltung, Versicherung).

#### Kosten Seewassernutzung

Für die Nutzung des Seewassers ist neben der einmaligen Konzessionierung einer bestimmten Wassermenge auch ein Wassernutzungsentgelt (Wasserzins) zu entrichten. Über die jeweilige Höhe kann seitens der Behörde noch keine Aussage getroffen werden, da bisher in Deutschland keine vergleichbaren Anlagen existieren. Für die Erstellung dieser Studie wurden folgende Werte anhand aus der „Planungshilfe Wärme- und Kältenutzung aus dem Bodensee“ des Amtes für Wasser und Energie der Schweiz angesetzt:

- Wasserkonzession                      0,5 Rappen/m<sup>3</sup> → 0,47 ct/m<sup>3</sup>
- Wassernutzungsentgelt            0,5 Rappen/m<sup>3</sup>\*a → 0,47 ct/m<sup>3</sup>\*a

#### CO<sub>2</sub>-Steuer

Im Jahr 2021 wurde eine CO<sub>2</sub>-Steuer auf fossile Brennstoffe eingeführt, die unmittelbar alle Versorgungsvarianten betrifft. Der aktuelle Preis pro Tonne CO<sub>2</sub> beträgt 25 € und steigt geplant bis zum Jahr 2025 auf 55 € pro Tonne. Nach dem Jahr 2025 werden lediglich noch Preiskorridore mit einem Mindestpreis vorgegeben.

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung wurde ein CO<sub>2</sub>-Preis von 100 € pro Tonne CO<sub>2</sub> angenommen, da langfristig eine Annäherung an diesen Preis anzunehmen ist.

In folgender Übersicht sind die Wärmegestehungskosten (netto) der einzelnen Erzeugervarianten für die Szenarien 1 und 3.3 dargestellt.

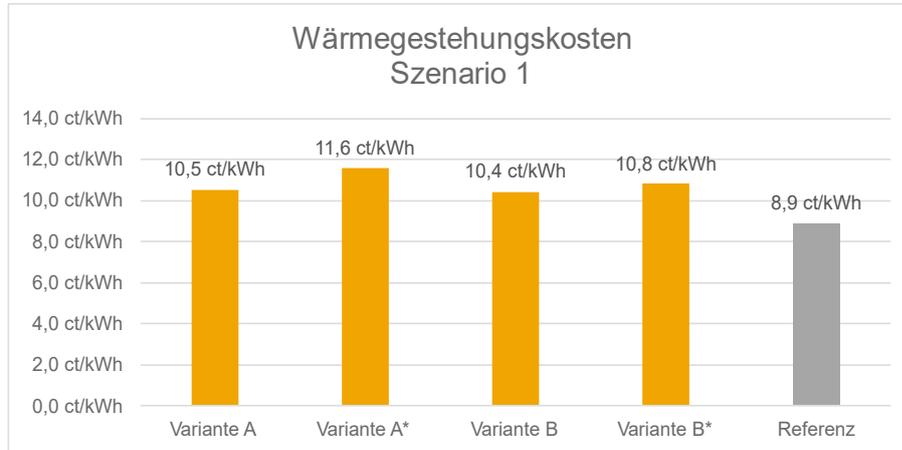


Abbildung 15 Wärmegestehungskosten Szenario 1

Bei der alleinigen Versorgung der Therme (Szenario 1) hat die Referenz-Variante mit BHKW und Spitzenlastkessel die niedrigsten Wärmegestehungskoste von ca. 8,9 ct/kWh. Die Erzeugervarianten mit Seewärmenutzung liegen deutlich höher im Bereich zwischen 10 und 12 ct/kWh. Die Kombination von Wärmepumpe und BHKW (Variante B und B\*) weisen bei den Varianten mit Seewärmenutzung die geringsten Wärmegestehungskosten auf.

Bei dem größten Versorgungsszenario (Szenario 3.3) liegen die Erzeugervarianten mit Seewärmenutzung bei etwa gleich hohen Wärmegestehungskosten wie die Referenzvariante mit BHKW und Spitzenlastkessel im Bereich zwischen 9 und 11 ct/kWh. Die Erzeugervarianten mit einer Kombination von Wärmepumpe und BHKW hat insgesamt die geringsten Wärmegestehungskosten von etwa 9 ct/kWh.

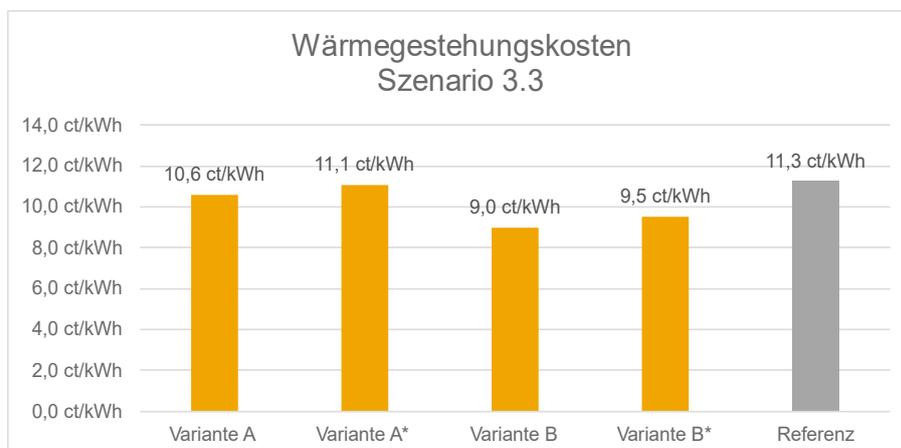


Abbildung 16 Wärmegestehungskosten Szenario 3.3

### 5.3.2 Sensitivitätsanalyse Seewasserfassung

Da die für die Kostenschätzung verfügbaren Informationen zur Seewasserfassung den baulichen Mehraufwand aufgrund der erforderlichen Maßnahmen gegen die Quagga-Muschel nicht berücksichtigen, wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Die Kosten für die Seewasserfassung wurden dabei zwischen 1,39 Mio. und 2,5 Mio. variiert. Die Sensitivitätsanalyse wurde für Szenario 1 und Szenario 3.3 durchgeführt.

#### Szenario 1

Erhöht sich die Investition für die Seewasserfassung auf 2,5 Mio. €, erhöhen sich die Wärmegestehungskosten auf 13,3-14,7 ct/kWh.

Die Höhe der Investition für die Seewasserfassung hat im untersuchten Szenario 1 einen erheblichen Einfluss auf die Höhe der Wärmegestehungskosten. Auch beim unteren Grenzfall von 1,385 Mio. € für die Seewasserfassung liegt die günstigste Variante mit 10,5 ct/kWh über der Referenzvariante von 8,9 ct/kWh.

#### Szenario 3.3

Erhöhen sich die Investitionen der Seewasserfassung auf 2,5 Mio. €, erhöhen sich die Wärmegestehungskosten um 3-4% auf 9,4-11,5 ct/kWh.

Die Höhe der Investition für die Seewasserfassung hat im maximalen Ausbauszenario 3.3 einen geringen Einfluss auf die Wärmegestehungskosten. Bei den höchsten geschätzten Kosten von 2,5 Mio. € der Seewasserfassung liegen die Wärmegestehungskosten der Wärmepumpenvarianten unter der Referenzvariante mit BHKW und Spitzenlastkessel (mit Ausnahme von Variante A).

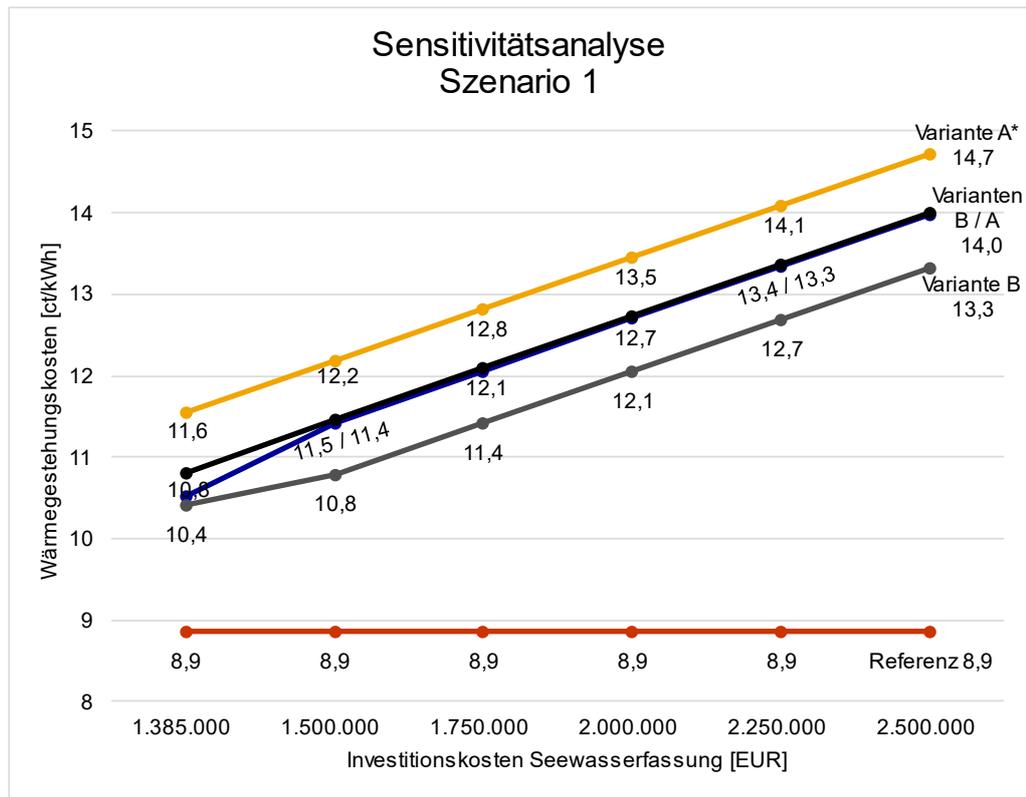


Abbildung 17 Sensitivitätsanalyse Szenario 1

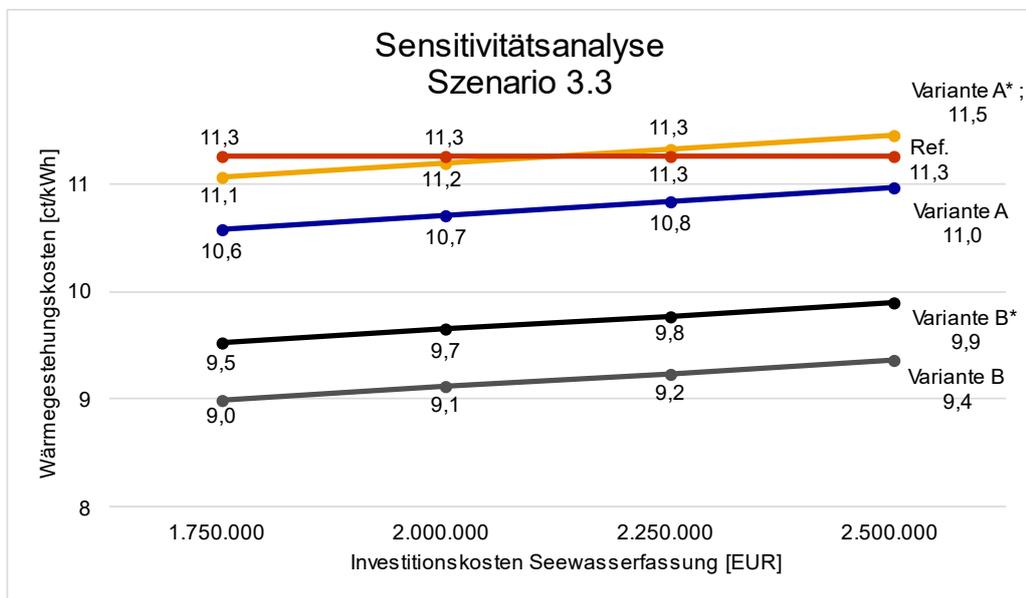


Abbildung 18 Sensitivitätsanalyse Szenario 3.3

## 5.4 Primärenergiefaktor und Treibhausgasemissionen

Ein ökologischer Variantenvergleich erfolgt anhand des Primärenergiefaktors und der Treibhausgasemissionen in CO<sub>2</sub> Äquivalenten.

### Primärenergiefaktor:

Der Primärenergiefaktor (im Folgenden: PEF) wird nach AGFW-Arbeitsblatt FW 309-1 ermittelt. Angewendet wird die Berechnung nach Abschnitt 3, Formel 1. Dabei wird angesetzt, dass der in KWK produzierte Strom den Strom im Stromnetz verdrängt. Der Primärenergieaufwand des verdrängten Stroms wird der KWK-Wärme gutgeschrieben.

$$PEF = f_{P,FW} = \left( \sum W_{Br,i} \cdot f_{P,Br,i} + (A_{HN} - A_{Bne,KWK}) \cdot f_{P,verd} \right) / \left( \sum Q_{FW,j} \right)$$

mit:

$f_{P,FW}$	Primärenergiefaktor des Fernwärmesystems
$W_{Br,i}$	Brennstoffwärme des Energieträgers in MWh <sub>Hi</sub>
$f_{P,Br,i}$	Primärenergiefaktor des Brennstoffes
$A_{HN}$	$A_{HN}$ Stromarbeit zum Betrieb des Heiznetzes (Umwälzung und Druckhaltung, ggf. Hilfsenergie)
$A_{Bne,KWK}$	KWK-Nettostromproduktion nach FW 308 Hier kann vereinfacht der ins übergeordnete Netz eingespeiste Strom vom Primärenergieverbrauch abgezogen werden und diese Strommenge um den Eigenverbrauch des Heizwerkes inkl. Netzbetrieb vermindert wurde.
$f_{P,verd}$	Primärenergiefaktor des Verdrängungsmix
$Q_{FW,j}$	Auf der Primärseite der Hausstation des versorgten Gebäudes gemessener Wärmeenergieverbrauch (Erzeugte Wärmemenge abzgl. Netzverlusten)

Für die verschiedenen Brennstoffe liegen die PEF im Bereich von 0,0 für Umweltwärme bis 1,2 für Braunkohle. Die eingesetzten Brennstoffe sind somit wesentlich für den PEF der Fern- bzw. Nahwärmeversorgung aus KWK-Anlagen. Für die Berechnung wurden folgende Primärenergiefaktoren gemäß AGFW Arbeitsblatt verwendet.

Energieträger	Primärenergiefaktor
Erdgas	1,1
Biogas (entspr. Biomethan)	0,5
Holz	0,2
Verdrängungsstrommix	2,8
Strom Netzbezug	1,8

Bei Einsatz von regenerativen Brennstoffen und KWK-Anlagen mit hoher Stromkennzahl kann der Primärenergiefaktor der Wärmeversorgung  $f_{P,FW}$  einen negativen Wert annehmen. Dieser wird dann zu 0 gesetzt.

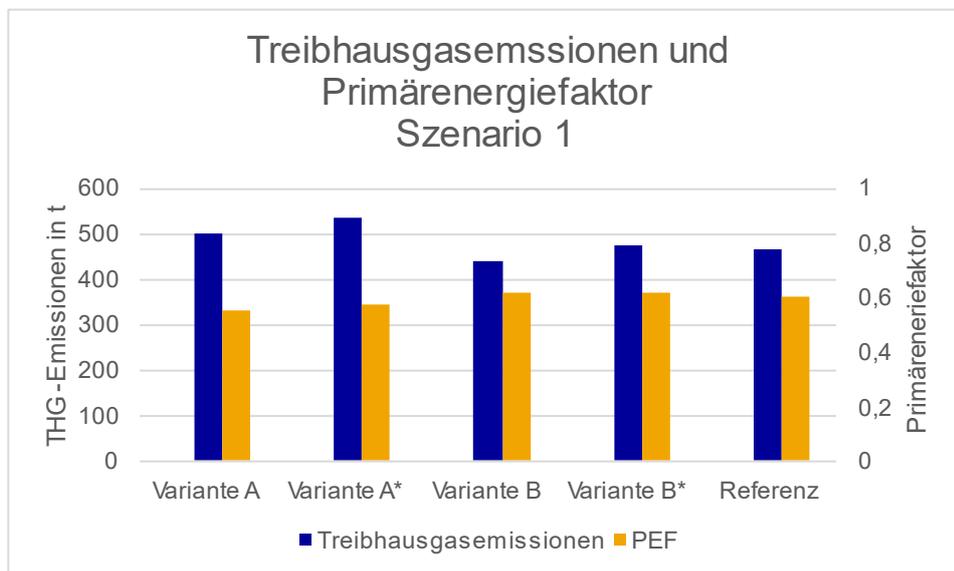
Treibhausgasemissionen:

Die Bestimmung der Treibhausgasemissionen erfolgt durch die Bilanzierung der Energieströme anhand der eingesetzten, bzw. erzeugten Energieträgern. Folgende spezifischen Kennwerte werden hierfür verwendet:

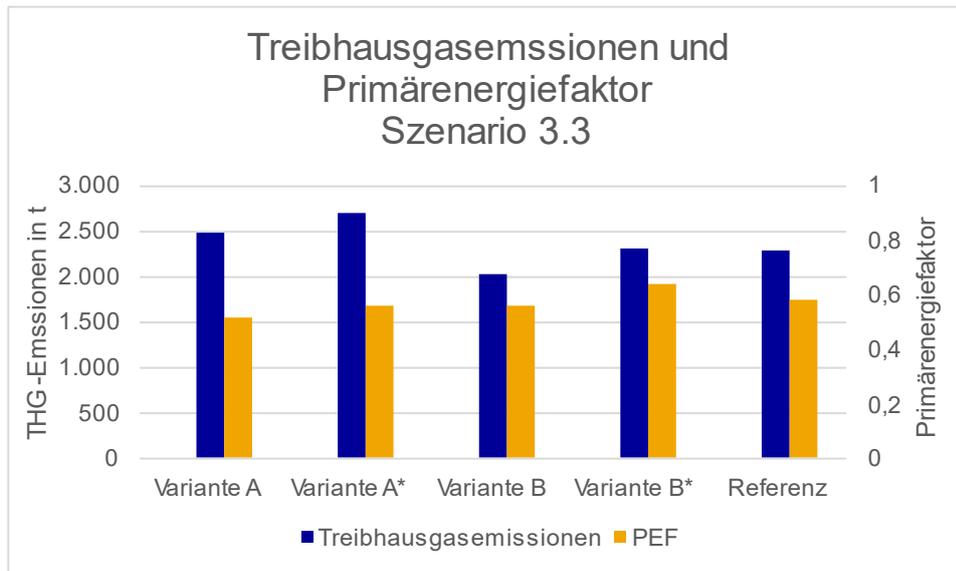
Energieträger	spez. Treibhausgasemissionen in CO <sub>2</sub> -Äquivalenten
Erdgas, Biogas	202 g/kWh
Strommix Deutschland 2019	489 g/kWh
Stromverdrängung Strommix	-489 g/kWh

Die Ergebnisse der untersuchten Varianten sind in nachfolgenden Abbildungen gegenübergestellt. Durch die unterschiedlichen Rechenmethoden/-vorgaben ist der Zusammenhang zwischen Treibhausgasemissionen und Primärenergiefaktor nicht proportional. Die Varianten mit hohem Wärmepumpenanteil erzeugen, verglichen mit den Referenzvarianten, erheblich geringere Treibhausgasemissionen. Die Referenzvariante mit BHKW und Spitzenlastkessel erzeugt die meisten Treibhausgasemissionen.

Die Primärenergiefaktoren der reinen Wärmepumpen-Varianten (A) in Szenario 1 und 3.3 sind am niedrigsten im Bereich 0,52-0,57. Die Primärenergiefaktoren der übrigen Varianten liegen geringfügig höher im Bereich 0,56-0,62.



**Abbildung 19: Treibhausgasemissionen und Primärenergiefaktor Szenario 1**



**Abbildung 20: Treibhausgasemissionen und Primärenergiefaktor Szenario 3.3**

## 6. Ergebnis

Als Ergebnis der Machbarkeitsstudie lässt sich feststellen, dass eine Nutzung der Seewärme aus dem Bodensee am Standort der Therme Meersburg prinzipiell technisch möglich ist. Unter Einhaltung der Maßnahmen hinsichtlich Gewässerschutz (grabenloses Verlegen der Fassung, Molchbarkeit) ist auch die Genehmigungsfähigkeit gegeben. Ein hohes wirtschaftliches Risiko stellt aktuell allerdings die Quagga-Muschel dar: der erst vor einigen Jahren am Boden entdeckte Neozoon führt aufgrund des bautechnischen Mehraufwands zu hohen Kosten, die aktuell noch nicht konkret abschätzbar sind.

Eine Wirtschaftlichkeit der Seewärmenutzung ist bei einer reinen Versorgung der Therme nicht gegeben; die Referenzvariante mit Erdgas betriebem Blockheizkraftwerk und Spitzenlastkessel ist auch bei einer Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Steuer günstiger als die Seewärmenutzung.

Erst bei einer Wärmeverbundlösung, also einer Versorgung mehrerer Gebäude und einem deutlich höheren Wärmeabsatz liegen die Wärmegestehungskosten um bis zu 2 ct/kWh unter der Referenzvariante. Als Anlagenvariante sollte die Kombination aus Wärmepumpe (Seewärme) und Blockheizkraftwerk erfolgen (Variante B), da so eine bedarfsorientierte lokale Strom- und Wärmeerzeugung ermöglicht wird und sich damit die niedrigsten Wärmegestehungskosten ergeben. Berücksichtigt wurde bei der Betrachtung allerdings nicht, welchen Einfluss ein langer Realisierungszeitraum beim Umsetzen eines umfassenden Wärmenetzes im Bestand auf die Wirtschaftlichkeit hat.

Da die Wirtschaftlichkeit nur bei dem Bau einer umfassenden Wärmeverbundlösung gegeben ist, eine umfassenden Wärmeverbundlösung im Bestand jedoch mit erheblichen Umsetzungszeiträumen verbunden ist und zudem große Unsicherheiten hinsichtlich der notwendigen Anlagentechnik und Investitionen für die Seewasserfassung durch die zunehmende Ausbreitung der Quagga-Muschel bestehen, wurde entschieden, die Machbarkeitsstudie an dieser Stelle nicht weiterzuführen. Es wird deshalb keine detaillierte Planung einer favorisierten Variante sowie ein Konzept zum Monitoring weiter ausgearbeitet. Zudem ist der Umgang mit der Quagga-Muschel aktuell noch Gegenstand der Forschung und liegt außerhalb der Kernkompetenz eines Wärmeversorgers.

## 7. Anhang

### 7.1 Bürgerbefragung – Fragebogen



#### Angaben zu Immobilie:

Straße und Hausnummer:

#### Um welche Immobilie handelt es sich?

- Einfamilienhaus
- Zweifamilienhaus
- Mehrfamilienhaus
- Wohnung
- Gewerbe
- Sonstiges:

Beheizbare Fläche der Immobilie:  m<sup>2</sup>

Baujahr Gebäude:

- Baujahr ist nicht bekannt

Anzahl der Wohneinheiten im Gebäude:

#### Energiebedarf nach Energieausweis:

Endenergiebedarf:  kWh/(m<sup>2</sup> \*a)

Primärenergiebedarf:  kWh/(m<sup>2</sup> \*a)

- nicht bekannt

#### Inbetriebnahme (Jahr) der aktuellen Heizungsanlage:

#### Heizungssystem/e in Ihrem Gebäude (Leistungsangaben in kW siehe Typenschild der Heizungsanlage)

- Erdgaskessel/ -therme  kW
- Heizölkessel  kW
- Nachtspeicherheizung  kW
- Wärmepumpe  kW
- Sonstiges:   kW

#### Wärmeenergieverbrauch für Warmwasser und Heizung im letzten Abrechnungszeitraum

- kWh Erdgas
- Liter Heizöl
- kWh Strom
- kWh Strom
- 

Geben Sie Ihre Kontaktdaten an, wenn Sie an der Verlosung der Thermengutscheine teilnehmen möchten

Ich bin:  Mieter/in  Eigentümer/in

Name, Vorname:

Adresse (falls abweichend) von obigen Angaben:

E-Mail Adresse: