

Projekt 2018-03

**Projekttitle Wärmenetz der Zukunft
Intelligente Vernetzung mehrerer Wärmenetze**

Abschlussbericht



Inhalt

1	<i>Projektüberblick</i>	4
1.1	Ausgangslage	4
1.2	Wissenschaftliche und technische Ziele	4
1.3	Herausforderungen des Vorhabens	5
2	<i>Projektbeschreibung</i>	5
2.1	Projektablauf	5
2.1.1	Projektidee	5
2.1.2	Terminplan	6
2.1.3	Budgetplanung und Förderung	6
2.2	Projektplanung	7
2.2.1	Energie- und Leistungsbedarf	7
2.2.2	Wärmenetzplan	7
2.3	Technische Umsetzung	9
2.3.1	Technische Daten	9
2.3.2	Anlagenbau	9
2.3.3	Schemata und Pläne	10
2.4	Anlagenbetrieb	12
2.4.1	Auswertung der Betriebsergebnisse	12
2.4.2	Aufgetretene Störungen und Lösungen im Betrieb	13
2.5	Ökologischer Nutzen	15
2.5.1	Einsparung an Primärenergie	15
2.5.2	Reduktion der CO ₂ -Emission	15
2.6	Betrachtung der Wirtschaftlichkeit	16
2.6.1	Investitionskosten	16
2.6.2	Betriebskosten	17
2.6.3	Verbesserung der Wirtschaftlichkeit	18
3	<i>Wirkung der Umsetzung</i>	18
3.1	Auswirkungen auf den zukünftigen Betrieb	18
3.2	Weiterführende, resultierende Maßnahmen	18
3.3	Übertragbarkeit der Projektergebnisse	19
4	<i>Öffentlichkeitsarbeit</i>	20
4.1	Führungen und Vorträge	20
4.2	Flyer, Presse, Veröffentlichungen	20
5	<i>Zusammenfassung/Fazit</i>	21

6	<i>Ausblick</i>	21
7	<i>Projekterkenntnisse</i>	22

1 Projektüberblick

1.1 Ausgangslage

In Kehl betreibt die Wärmegesellschaft Kehl, ein Tochterunternehmen der Stadt Kehl und der badenova Wärmeplus, seit 2009 das Heizkraftwerk Kreuzmatt mit einem Wärmenetz und hat dieses in den letzten Jahren sukzessive ausgebaut. Es werden Gebäude der Städtischen Wohnungsbaugesellschaft, das Ortenauklinikum, das städtische Hallenbad, Schulen der Stadt Kehl und die gewerblichen Schulen des Landkreises Ortenau, sowie das Neubaugebiet Schneeflären überwiegend mit umweltfreundlicher Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung versorgt. Die Trassenlänge des Fernwärmenetzes Kreuzmatt zur Versorgung der bisherigen Kunden beträgt ca. 6.200 m. In der Heizzentrale Kreuzmatt in der Richard-Wagner-Straße 1 sind zwei Erdgas-Kessel mit jeweils 3.200 kW und zwei Erdgas-BHKWs mit je 357 kW_{el} / 520 kW_{th} installiert.

Im Jahr 2017/2018 wurde zusätzlich ein kleines Nahwärmenetz rund um die Stadthalle Kehl gebaut und die bestehende Wärmeerzeugungsanlage in der Stadthalle in der Großherzog-Friedrich-Straße 19, bestehende aus einem Erdgas-Kessel mit 440 kW, um ein BHKW mit 50 kW_{el} / 100 kW_{th} und einer thermischen Solaranlage (15 m² Röhrenkollektoren) ergänzt. Aus der Stadthalle wird jetzt über ein Nahwärmenetz die benachbarte Mediathek und Falkenhausen Schule mit Wärme versorgt.

Im Zuge des Tram-Anschlusses der Stadt Kehl an das Tram-Netz der Stadt Strasbourg wurde das gesamte Rathausareal neu gestaltet. Diese Baumaßnahme wurde genutzt um im Jahr 2018 das Nahwärmenetz „Rathausareal“, welches drei Rathäuser und zwei Polizeigebäude umfasst, zu realisieren.

1.2 Wissenschaftliche und technische Ziele

Durch die wärmetechnische und steuerungstechnische Verbindung dieser drei „Inselnetze“ sollte ein ökonomisches und ökologisches Optimum erreicht und so der Wärmebedarf im Sommer möglichst vollständig aus KWK-Wärme gedeckt werden, die Auslastung der BHKWs sollte erhöht werden, sowie die Basis für den ökologisch wertvollen und aktiven Ausbau der Fernwärme in Kehl gelegt werden.

Hierfür wurden in allen Wärme- und Stromerzeugungsanlagen eine umfassende Gebäudeleittechnik installiert um den optimalen Einsatz der dezentralen Erzeugungsanlagen zu gewährleisten. Der Betriebszustand aller Anlagen wird erfasst und in einer übergeordneten Steuerung ausgewertet. Die Steuerung entscheidet über den jeweils besten Netzbetrieb und realisiert das Abschalten und Hochfahren der jeweiligen Erzeuger, bzw. Be- und Entladen der zentralen und dezentralen Wärmespeicher.

Die Wärmegesellschaft Kehl hat sowohl das Wärmenetz als auch die gesamten Hausanlagen (Übergabestation, Wärmespeicher, Steuerung, hydraulischer Anschluss) errichtet und betreibt

diese Anlagen jetzt auch. Die Kunden erhalten an der Liefergrenze im Gebäude Heizwärme zu den vereinbarten Bedingungen für die Raumheizung und Warmwasserbereitung.

1.3 Herausforderungen des Vorhabens

Eine besondere Herausforderung bestand im Bau des Fernwärmenetzes. Im Kehler Hafen gibt es das Badische Stahlwerk (BSW) und es wurde beim Straßenbau in weiten Teilen der Stadt Kehl die Schlacke aus der Stahlherstellung eingebaut. Diese Schlacke ist nicht nur sehr schwer im Tiefbau zu bearbeiten, sie ist auch Sondermüll, der sehr kostenintensiv auf Spezialdeponien entsorgt werden muss und es muss neues Material zum Verfüllen der Leitungsgräben eingesetzt werden.

Ferner war Kehl als Grenzstadt zum benachbarten Frankreich und wegen des Industriehafens im zweiten Weltkrieg Ziel zahlreicher Bombenangriffe. Im Stadtgebiet, in dem die Fernwärmeleitungen verlegt wurde, gab es den Verdacht von Bombenblindgängern und die gesamte Baumaßnahme musste von einem Kampfmittelsuchdienst begleitet werden.

Auch die Verkehrsführung und zahlreiche andere Leitungen (Erdgas, Wasser, Strom, etc.) erschwerten wie üblich den Leitungsbau im innerstädtischen Bereich. Ein besonderes Hindernis war ein großer, gemauerter Abwasserkanal aus dem 19. Jahrhundert, der gequert werden musste. Die Überdeckung war nur 40 cm und ein Unterqueren war aufgrund der Größe und Tiefe des Kanals unmöglich.

Neben dem anspruchsvollen Leitungsbau war auch die hydraulische Verbindung der Netze, die Verknüpfung der einzelnen Regelungen und das Entwickeln eines optimalen Steuerungskonzeptes für die verschiedenen Strom- und Wärmeerzeugungsanlagen eine besondere Herausforderung.

2 Projektbeschreibung

2.1 Projektablauf

2.1.1 Projektidee

Da die Heizungsanlage in der Mediathek und der Falkenhausenschule erneuert werden musste, entstand der Wunsch diese beiden Gebäude aus der bestehenden Anlage in der Stadthalle zu versorgen und diese um ein BHKW zu erweitern, die Idee für die erste Wärmeinsel war entstanden. Östlich davon liegt das Rathausareal. Aufgrund der Neugestaltung im Rahmen des Tram-Anschluss wurde dort ein Wärmenetz aufgebaut, die Idee der zweiten Wärmeinsel war entstanden. Die Versorgung des Rathausareals ausschließlich mit der Anlage Stadthalle ist aber nicht möglich, da diese Anlage zu klein ist. Im Rathausareal wurde nach einem Standort für eine zentrale Wärmeerzeugungsanlage gesucht, es stand aber in den vorhandenen Kellerräumen kein ausreichend großer Raum zu Verfügung und im Außenbereich sollte auf dem neu gestalteten Platz kein zusätzliches Heizwerk entstehen. Um das Rathausareal nun versorgen zu können, wurde die Idee geboren dieses Wärmenetz neben dem Anschluss an das Wärmenetz Stadthalle zusätzlich über die Bierkellerstraße an das große Fernwärmenetz Kreuzmatt anzuschließen. Die Idee der intelligenten

Vernetzung mehrerer Wärmenetze mit der Einspeisung aus mehreren Wärmeerzeugungsanlagen war damit geboren.

2.1.2 Terminplan

Die Planung und Dimensionierung des Wärmeverbunds starteten im Frühling 2017. Nach Abschluss der Planung, Ausschreibung und Auswertung der Angebote konnten Anfang 2018 die Aufträge vergeben und unmittelbar mit dem Bau der Fernwärmeleitungen begonnen werden.

Ende April 2018 wurden die Fernwärmeleitungen zur Falkenhausenschule und Mediathek fertiggestellt. Der Bau der Übergabestationen und dezentralen Pufferspeicher in den Gebäuden verzögerte sich und so konnten diese Gebäude erst ab Ende Oktober 2018 mit Wärme aus der Stadthalle versorgt werden.

Beim Bauablauf des Fernwärmenetzes Richtung Rathausareal gab es Komplikationen mit der benachbarten Trambaustelle, was zu einer zeitlichen Verschiebung der verkehrsrechtlichen Genehmigung für die Nahwärmebaustelle führte. Das neu verlegte Fernwärmenetz konnte im November 2018 gefüllt und der Netzzusammenschluss mit dem bestehenden Fernwärmenetz über die Bierkellerstraße in Betrieb genommen werden.

Das BHKW in der Stadthalle wurde Ende November 2017 angeliefert und im Frühling 2018 installiert, da aber in den bestehenden Gebäuden im Sommer kein Wärmebedarf vorhanden ist und der Wärmeverbund zum Fernwärmenetz Kreuzmatt noch nicht fertig war, konnte das BHKW erst am 06.12.2018 in Betrieb genommen werden.

2.1.3 Budgetplanung und Förderung

Es wurde folgendes Budget mit der entsprechenden Förderung durch den badenova Innovationsfonds für Klima- und Wasserschutz geplant. In Summe wurden Investitionen für den innovativen Teil des Wärmeverbundes in Höhe von ca. 217.000 € und eine Förderung von knapp 100.000 € erwartet. Die Kosten für den Bau des Fernwärmenetzes sind hier nicht enthalten, da der Bau eines Fernwärmenetzes Standard ist und nicht als innovativ gilt und somit nicht förderfähig ist.

Planungs-, Bau- und Sachkosten			19,70%
	Baukosten	Sachkosten	Planungskosten
Zentrale Regelstation (Anlage Kreuzmatt)		25.000 €	4.925 €
Dezentrale Regelstationen (Rathaus I, Falkenhausen Schule)		22.000 €	4.334 €
Vernetzung der Regelstationen, LWL und Schaltschränke		20.000 €	3.940 €
Lichtwellenleiterverkabelung entlang der Wärmetrasse	30.000 €		5.910 €
Wärmemegenzähler für Monitoring		4.000 €	788 €
Pufferspeicher, Temperaturfühler, Armaturen, power to heat		38.250 €	7.535 €
	30.000 €	109.250 €	27.432 €
Gesamtkosten	Summe	Förderung badenova	Förderbeitrag badenova
Ingenieurtech. Begleitung, Personalkosten	40.000 €	50%	20.000 €
Öffentlichkeitsarbeit	10.000 €	50%	5.000 €
Baukosten	30.000 €	20%	6.000 €
Sachkosten	109.250 €	50%	54.625 €
Planungskosten	27.432 €	50%	13.716 €
Gesamtausgaben	216.682 €		99.341 €

2.2 Projektplanung

2.2.1 Energie- und Leistungsbedarf

In der folgenden Tabelle sind die Wärmeleistungen und Wärmeverbräuche der einzelnen Wärmenetze zusammengestellt.

Wärmeverbund Stadthalle	Leistung	Wärme
Stadthalle	300 kW	310 MWh/a
Falkenhausen Schule	200 kW	100 MWh/a
Mediathek	70 kW	270 MWh/a
Summe	570 kW	680 MWh/a
Wärmeverbund Rathausareal	Leistung	Wärme
Rathaus I	150 kW	180 MWh/a
Rathaus II	80 kW	90 MWh/a
Rathaus IV	50 kW	60 MWh/a
Polizei	120 kW	170 MWh/a
Kripo	50 kW	70 MWh/a
Summe	450 kW	570 MWh/a
Wärmenetz Kreuzmatt	Leistung	Wärme
Bestand	7.450 kW	8.800 MWh/a
Netzverdichtung	300 kW	450 MWh/a
Neubaugebiet Schneeflären	1.300 kW	1.900 MWh/a
Summe	9.050 kW	11.150 MWh/a
Gesamtsumme	10.070 kW	12.400 MWh/a

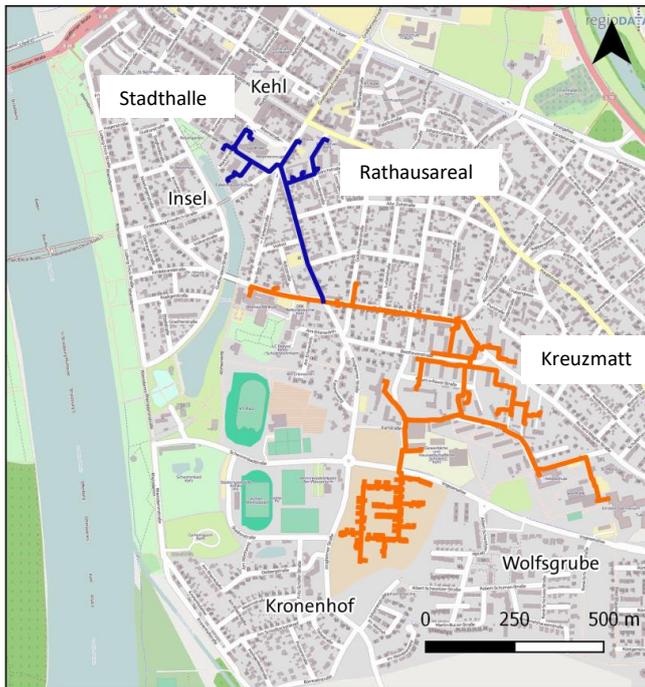
Bei der Vielzahl an Verbrauchern ergibt sich ein Gleichzeitigkeitsfaktor von ca. 0,7. Die benötigte Wärmeerzeugerleistung beträgt demnach $10.070 \text{ kW} \times 0,7 = 7.049 \text{ kW}$. Wärmedämmmaßnahmen an den Bestandsgebäuden und die Klimaveränderung werden diesen Wert künftig noch etwas reduzieren. Besonders beim Wärmebedarf ist mit einem Rückgang zu rechnen, die Wärmeleistung wird sich nicht so stark reduzieren, da die Anlagen auch im Extremfall bei -12 °C Außentemperatur die Wärmeversorgung sichern müssen, auch wenn dieser Extremfall nur noch selten vorkommen wird. Mehr und mehr wird der Leistungsbedarf auch durch die Warmwasserbereitung bestimmt und dieser bleibt konstant.

Die bestehenden Wärmeerzeugungsanlagen in der Anlage Kreuzmatt ($6.400 \text{ kW}_{\text{th}}$ Kessel + $1.040 \text{ kW}_{\text{th}}$ = $7.440 \text{ kW}_{\text{th}}$) und der Anlage Stadthalle ($440 \text{ kW}_{\text{th}}$ + $100 \text{ kW}_{\text{th}}$ = $540 \text{ kW}_{\text{th}}$) können diesen Leistungsbedarf noch decken, sind aber mit dem Wärmeverbund und dem Ausbau der Fernwärmenetze ausgelastet, da die Betriebssicherheit der BHKWs nicht so hoch wie die der Kessel ist und die BHKWs künftig auch verstärkt stromgeführt werden, d. h. bei einem Überschuss an erneuerbarem Strom im Netz werden die BHKWs abgeschaltet. Die Kessel allein können dann gerade noch so den Leistungsbedarf von ca. 7 MW decken.

2.2.2 Wärmenetzplan

Auf der folgenden Übersichtskarte sind die drei Wärmenetze im Stadtgebiet Kehl dargestellt. Westlich von Kehl ist der Rhein sichtbar. Das große Nahwärmenetz Kreuzmatt (orange) wurde mit der Erschließung des Neubaugebietes Schneeflären im Süden erweitert. Die Aufsiedelung ist noch nicht komplett abgeschlossen, ist aber in den letzten Zügen. Blau dargestellt sind die beiden

Nahwärmenetze Stadthalle und Rathausareal, die zusammengeschlossen wurden und zusätzlich über die Bierkellerstraße mit dem Nahwärmenetz Kreuzmatt verbunden wurden.



Nahwärme in Kehl

- mögliche Erweiterung des Nahwärmenetzes
- Nahwärmenetz badenova Wärmeplus



Luftbild des versorgten Gebietes (Quelle Google Maps), links oben Heizkraftwerk Stadthalle, rechts unten Heizkraftwerk Kreuzmatt

2.3 Technische Umsetzung

2.3.1 Technische Daten

Um die Wärmeverluste zu reduzieren kam als Nahwärmeleitung ein Kunststoffmantelrohr Typ Doppelrohr mit einer verstärkten Dämmung zum Einsatz. Es wird von einem Wärmeverlust in Höhe von ca. 12 % ausgegangen. Die Leitungsdimension in der Bierkellerstraße ist DN125.

Parallel zur Wärmeleitung ist auch ein Dreifach-Leerrohr für ein Steuerkabel verlegt worden. Dieses Kabel wird benötigt um am entferntesten Netzknoten den Differenzdruck zu messen um danach die Netzpumpen bedarfsabhängig zu steuern. Ferner wurden über Lichtwellenleiter in diesen Leerrohren die beiden Steuerungen der Wärmeerzeugungsanlagen verbunden.

2.3.2 Anlagenbau

Im Folgenden sind einige Bilder der Anlagen zu sehen. Bei den meisten Bildern handelt es sich bereits um Bilder nach der Fertigstellung, lediglich bei der Fernwärme handelt es sich um Baustellenbilder, da nach Fertigstellung hier bei erdverlegten Leitungen nichts mehr zu sehen ist.



neues BHKW Stadthalle



neue thermische Solaranlage Stadthalle



Netzpumpen in der Stadthalle



Dezentrale Puffer Mediathek



Dezentrale Puffer Falkenhausenschule



Übergabestation in der Stadthalle



U-Dehner in der Bierkellerstraße



Einbindung in der Kanzmattstraße



Wärmeleitungen vor dem Rathaus II



Mobile Heizzentrale Falkenhausenschule



Querung alter Kanal mit Schutzrohr

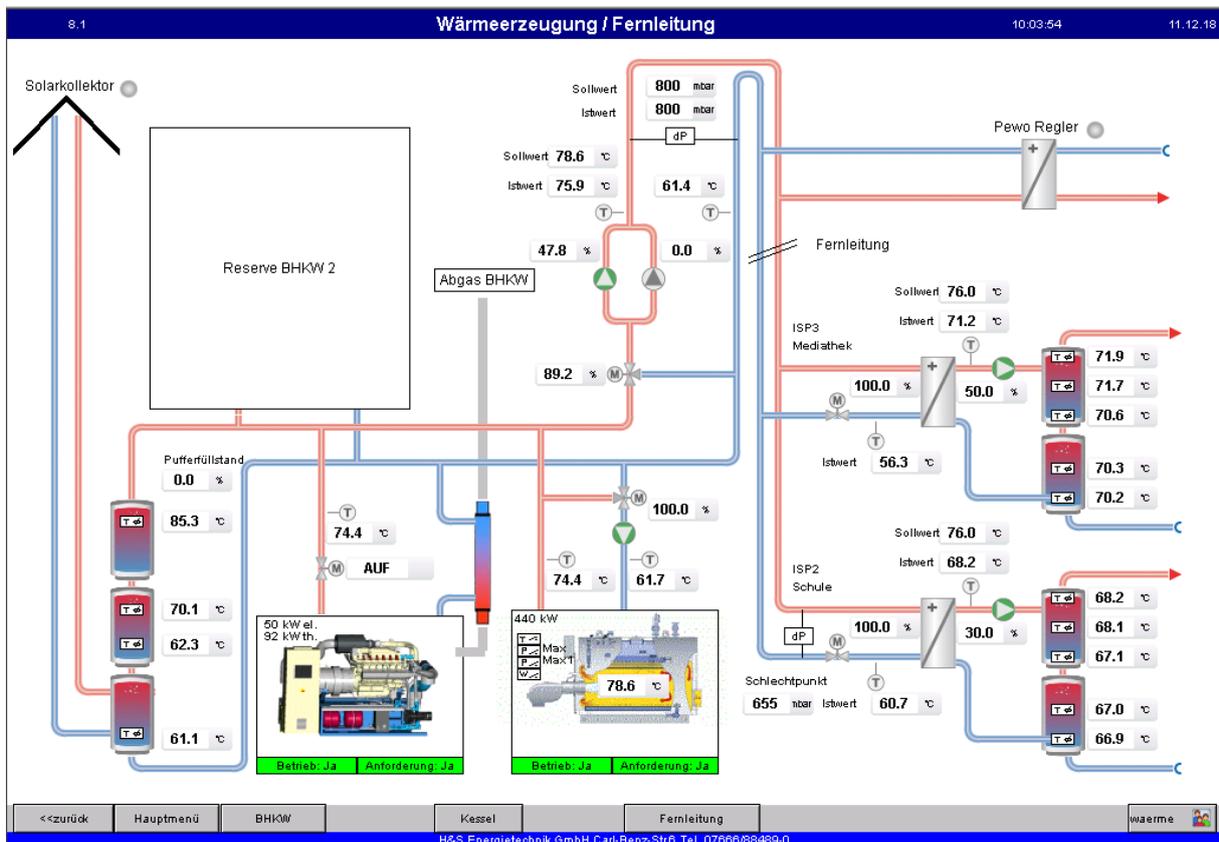


Fahrbahnbrücke Bierkellerstraße

2.3.3 Schemata und Pläne

Heizungsschema der Regelung in der Stadthalle

Links sind die drei alten Pufferspeicher und die thermische Solaranlage zu sehen, rechts neben den Pufferspeichern befindet sich das neue BHKW und daneben der bereits vorhandene Gaskessel. Oben in der Mitte sind die Netzpumpen zu sehen und rechts oben mit „Pewo Regler“ ist die Übergabestation in der Stadthalle dargestellt. Das Fernwärmenetz ist mit zwei Schrägstrichen und der Bezeichnung „Fernleitung“ angedeutet. Rechts in der Mitte ist die Anlage in der Mediathek unter der Bezeichnung „ISP3 Mediathek“ und rechts unten ist die Anlage in der Falkenhausenschule unter der Bezeichnung „ISP2 Schule“ dargestellt. In diesen beiden Anlagen sind die Übergabestationen und die dezentralen Pufferspeicher zu sehen.



Plan der Fernwärmeleitungen

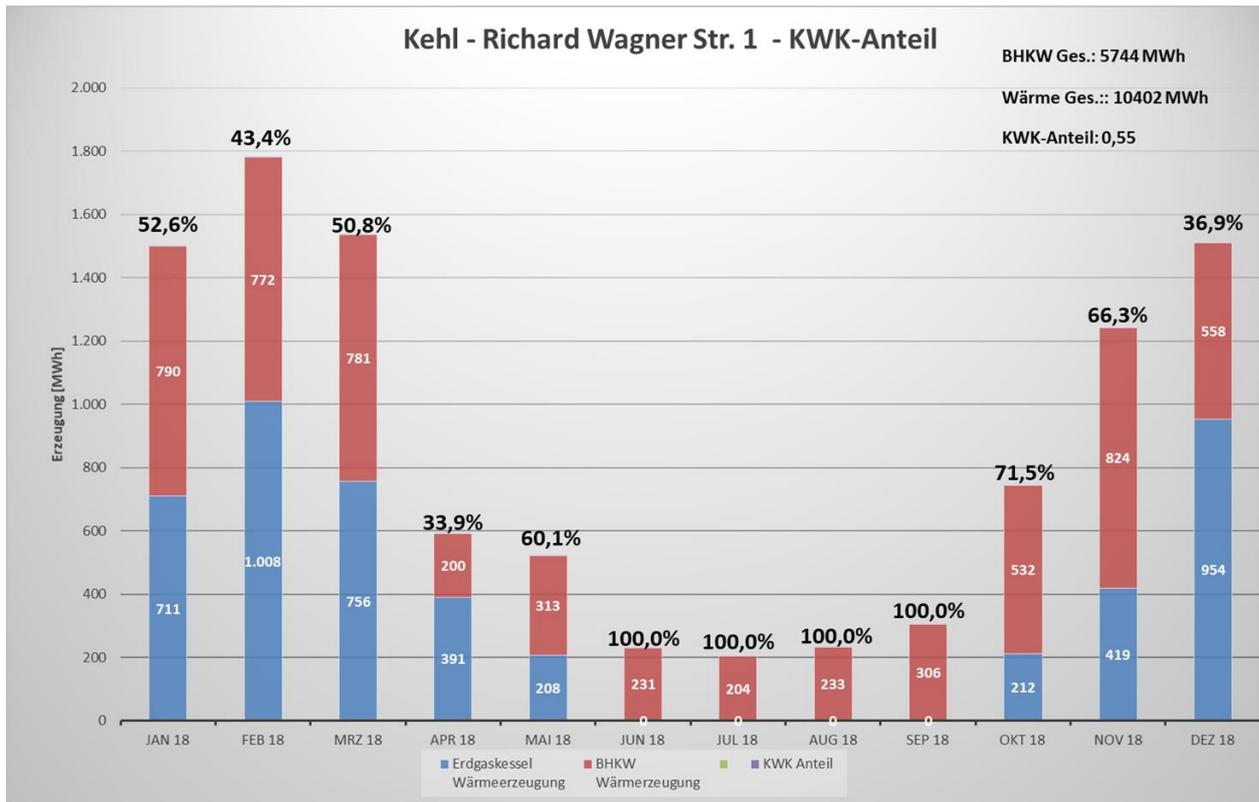
Gelb hervorgehoben ist die Verbindungsleitung zwischen der Wärmeerzeugungsanlage in der Stadthalle in der Großherzog-Friedrich-Straße 19 über die Bierkellerstraße zu dem bestehenden Wärmenetz in der Kanzmattstraße. Die Wärmeerzeugungsanlage, die das Wärmenetz in der Kanzmattstraße versorgt befindet sich in der Richard-Wagner-Straße 1, welche man über die Kanzmattstraße in östliche Richtung erreicht.



2.4 Anlagenbetrieb

2.4.1 Auswertung der Betriebsergebnisse

In der folgenden Grafik sind die Wärmemengen der großen Anlage in der Richard-Wagner-Straße 1 aus dem Jahr 2018, also vor dem Wärmeverbund, dargestellt. Insgesamt wurden 10.402 MWh Wärme produziert, davon 5.744 MWh mit den BHKWs. Der KWK-Anteil lag bei 55 %. In den Wintermonaten sind ca. 800 MWh/Monat aus den BHKWs möglich, in den Sommermonaten können aber nur ca. 200 MWh/Monat mit den BHKWs produziert werden, da der Wärmebedarf zu gering ist.



In der folgenden Tabelle sind die Wärmemengen aus dem Jahr 2019 dargestellt, also im Wärmeverbund. Der Wärmebedarf ist auf 11.163 MWh/a gestiegen. Die Wärmeproduktion aus den BHKWs in der Richard-Wagner-Straße 1 und dem BHKW der Stadthalle lag bei 6.798 MWh/a und der KWK-Anteil damit bei 61 %. Der KWK-Anteil konnte also im Wärmeverbund um 6 % gesteigert werden.

Im Jahr 2020 wurden die beiden alten, großen BHKWs in der Anlage in der Richard-Wagner-Straße 1 durch zwei neue BHKWs der gleichen Größe ersetzt. Der Umbau dauerte ca. 4 Monate, in denen logischerweise keine BHKW-Betrieb stattfand. Dieses Jahr kann daher für eine statistische Auswertung nicht herangezogen werden.

Wärmeerzeugungsanlage Kehl Kreuzmatt		
elektrische Leistung BHKW		714 kW
thermische Leistung BHKW		1.040 kW
Wärmeproduktion BHKW 1		3.136.260 kWh/a
Wärmeproduktion BHKW 2		3.156.460 kWh/a
thermische Leistung Kessel		6.400 kW
Wärmeproduktion Kessel		3.959.029 kWh/a
Wärmeerzeugungsanlage Kehl Stadthalle		
elektrische Leistung BHKW		50 kW
thermische Leistung BHKW		100 kW
Wärmeproduktion BHKW		505.000 kWh/a
thermische Leistung Kessel		440 kW
Wärmeproduktion Kessel		397.690 kWh/a
thermische Solaranlagen Stadthalle		
Kollektorfläche (Röhrenkollektoren)		15 m ²
Wärmeproduktion Solaranlagen		8.925 kWh/a
Gesamt		
Wärmeerzeugung Gesamt		11.163.364 kWh/a
Wärme aus KWK		6.797.720 kWh/a
		60,89 %
Wärme aus Solarthermie		8.925 kWh/a
		0,080 %
Wärme aus KWK und erneuerbaren Energien		6.806.645 kWh/a
		60,97 %

2.4.2 Aufgetretene Störungen und Lösungen im Betrieb

Druckhaltung

In der Anlage Kreuzmatt in der Richard-Wagner-Straße 1 und der Stadthalle befindet sich jeweils eine vollautomatische, pumpengesteuerte Druckhaltung. Der Druck im Heizungswasser wird konstant gehalten und bei einem Druckabfall wird Wasser über Kreiselpumpen automatisch nachgespeist, bis der Druck wieder erreicht ist. Sollte der Druck zu hoch ansteigen, wird über ein Ventil Wasser automatisch abgelassen. Die Druckhaltungen verfügen dafür über Drucksensoren, die aber aufgrund von Messungenauigkeiten etwas voneinander abweichen. Da jetzt zwei Druckhaltungen über den Wärmeverbund auf ein gemeinsames Fernwärmenetz wirkten kam es zu unkontrolliertem Nachspeisen von Wasser auf der einen und Ablassen von Wasser auf der andern Seite. Durch Variation von Einstellparametern konnte das Problem reduziert aber nicht komplett behoben werden. Der Hersteller Reflex hat die regelungstechnische Verbindung vorgeschlagen, wobei eine Anlage als Master, die andere als Slave fungiert. Dafür ist eine Datenverbindung erforderlich, die über die Lichtwellenleiter-Verbindung über die Leerrohre zwischen den beiden Regelungen hergestellt wurde. Da die große Anlage in der Anlage Kreuzmatt das zusätzliche Wasservolumen des Wärmeverbunds noch mit versorgen konnte, wurde aus Kostengründen im ersten Schritt auf die regelungstechnische Verbindung der Druckhaltungen verzichtet und die kleine Druckhaltung in der Stadthalle wurde abgestellt.

Bauverzögerung Anlagenbau Falkenhausenschule

In der Falkenhausenschule wurden große dezentrale Pufferspeicher (2 x 5000 l) eingesetzt, die aufgrund der Größe nur als kellergeschweißte Ausführung installiert werden konnten. Es kam zu einer Undichtigkeit an einer Flanschverbindung, welche die Aufnahme der Wärmeversorgung verzögerte und so konnten diese Gebäude erst ab Ende Oktober 2018 mit Wärme aus der Stadthalle versorgt werden. Da der Schulbetrieb Anfang September startete und die Witterung bereits relativ

kalt war, kam bei der Falkenhausenschule kurzfristig eine mobile Heizzentrale zum Einsatz (siehe Bilder).

Speicherkapazität, dezentrale Pufferspeicher

Da die vorhandenen Pufferspeicher in der Stadthalle mit $3 \times 1.500 \text{ l} = 4.500 \text{ l}$ für das BHKW sehr klein sind, entstand die Idee dezentral in der Falkenhausenschule und Mediathek Puffer zu installieren (siehe Bilder). Die Vorlauftemperatur des BHKWs in der Zentrale beträgt $90 \text{ }^\circ\text{C}$, d. h. die zentralen Puffer können mit dieser Temperatur beladen werden. Die Vorlauftemperatur im Fernwärmenetz wird abhängig von der Außentemperatur nach einer Heizkurve auf bis zu $70 \text{ }^\circ\text{C}$ abgesenkt. Ferner wurde in den Gebäuden eine Übergabestation mit Plattenwärmetauscher zur hydraulischen Trennung installiert und die dezentralen Pufferspeicher stehen auf der Sekundärseite, was die Ladetemperatur nochmal um ca. $3\text{-}5 \text{ }^\circ\text{C}$ reduziert. Die Speicherkapazität der dezentralen Pufferspeicher ist also aufgrund der geringeren Ladetemperatur reduziert. Mit einer Rücklauftemperatur von $50 \text{ }^\circ\text{C}$ und einer Ladetemperatur von $70 \text{ }^\circ\text{C}$ (20 K Spreizung) ist sie z. B. nur noch halb so hoch wie bei einer Ladetemperatur von $90 \text{ }^\circ\text{C}$ (40 K Spreizung). Das Speichern von BHKW-Wärme in dezentralen Wärmespeichern funktioniert also nur bedingt.

Es gab anfänglich noch ein Problem mit der Ladepumpe zwischen Übergabestation und Pufferspeicher. Sie wurde falsch angesteuert und förderte zu viel, so dass die Schichtung im Pufferspeicher zerstört wurde und die Temperaturen oben und unten annähernd gleich waren. Dieses regelungstechnische Problem konnte behoben werden.

Ein Vorteil der dezentralen Pufferspeicher ist, dass Leistungsspitzen der Gebäudeheizung geglättet werden. In beiden Gebäuden sind nur sehr geringe Leistungsspitzen in den Übergabestationen auf der Fernwärmeseite zu sehen. Um das zu messen wurden separate Wärmezähler installiert.

Verzögerung Anschluss Rathausareal

Die fünf Gebäude des Rathausareals werden immer noch nicht mit Fernwärme versorgt, obwohl das Netz fertig und sogar die Hausanschlüsse schon bis in jedes Haus verlegt sind. Mit den zwei Polizeigebäuden gestalten sich die Verhandlungen als schwierig, die drei Rathäuser sollen jetzt aber im Sommer 2022 an das Fernwärmenetz angeschlossen werden. Im Rathaus I gibt es noch einen Heizkessel, der bei sehr hoher Last im Fernwärmenetz weiter betrieben werden sollte (Spitzenlastabwurf). Da es bei diesem Kessel laut Stadt Kehl in der Vergangenheit technische Problem gab und die Spitzenlast vermutlich durch die vorhandenen zwei Wärmeerzeugungsanlagen gedeckt werden kann, wird zu prüfen sein, ob dieser dezentrale Kessel im Rathaus I wie ursprünglich geplant weiter betrieben werden soll.

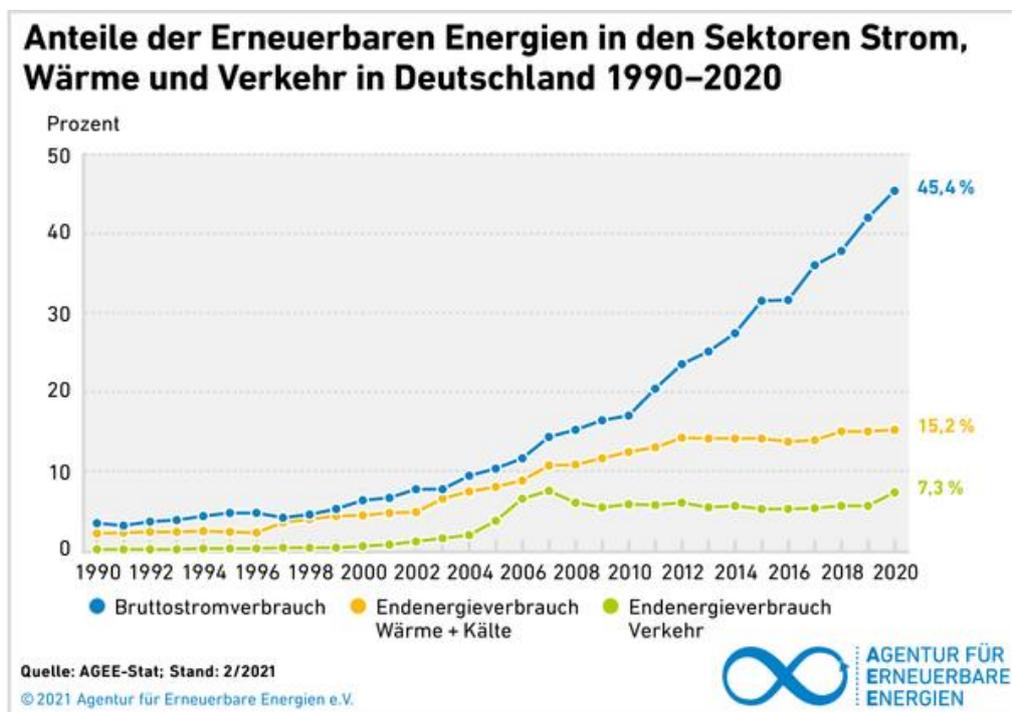
2.5 Ökologischer Nutzen

2.5.1 Einsparung an Primärenergie

Im Antrag zum Innovationsfonds wurde von einer Erhöhung der Stromproduktion von 497 MWh/a ausgegangen. Wie unter Punkt 2.4.1 beschrieben stieg die Wärmeproduktion aus den BHKWs um 1.054 MWh/a woraus sich eine Erhöhung der Stromproduktion von 615 MWh/a ergibt. Die prognostizierte Steigerung wurde also übertroffen. Als Primärenergieeinsparung ergeben sich damit 620 MWh/a.

2.5.2 Reduktion der CO₂-Emission

Die CO₂-Einsparung aus der gesteigerten KWK-Stromproduktion beträgt ca. 210 t/a. Doch das allein ist nicht der wesentliche Vorteil des Wärmeverbunds. Während der Anteil erneuerbarer Energien im Sektor Strom in den vergangenen Jahren deutlich auf 45,4 % im Jahr 2020 zugenommen hat, stagniert der Anteil erneuerbarer Energien im Sektor Wärme bei ca. 15 % (siehe folgende Grafik).



Bis 2045 sollen in Deutschland alle Sektoren klimaneutral sein, was eine sehr große Herausforderung in den beiden Sektoren Wärme und Verkehr sein wird. In Kehl gibt es im Hafen die Badischen Stahlwerke mit einem sehr hohen Abwärmepotenzial, ferner gibt es dort ein Pelletswerk und eine Papierfabrik, welche Biomasseheizkraftwerke betreiben. Prinzipiell ist der Raum Kehl aus geologischer Sicht auch sehr gut für die Nutzung von Tiefengeothermie geeignet, was im benachbarten Strasbourg bereits genutzt wird. Auch der sehr hohe Grundwasserstand birgt ein Potenzial über Wärmepumpen Wärme aus dem Grundwasser zu entziehen.

In Zukunft könnte der neu geschaffene Wärmeverbund, der in den nächsten Jahren noch weiter ausgebaut werden soll, Wärme aus diesen klimaneutralen Wärmequellen aufnehmen und damit könnten alle Abnehmer im Wärmenetz schlagartig mit „grüner“ Wärme versorgt werden. Die Umstellung vieler kleiner, dezentraler Anlagen ist viel komplizierter und langwieriger.

2.6 Betrachtung der Wirtschaftlichkeit

2.6.1 Investitionskosten

In der folgenden Tabelle sind die gesamten Investitionskosten dargestellt. Teilweise betrafen die Kosten nicht den Wärmeverbund, im Wesentlichen sind dies die Kosten für Heizungsinstallation (Fa. Burg), Elektroinstallation (Fa. TMS), MSR-Technik (Fa. HuS) und die Planung (TGA Planungsgruppe).

Der Großteil der Kosten in Höhe von ca. 850.000 € entfiel auf den Tief- und Rohrleitungsbau. Die Fa. KaMiSu (Kampfmittelsuchdienst) stellte in Summe 12.712 € in Rechnung, für die Entsorgung von kontaminiertem Boden entstanden Kosten in Höhe von 48.646 €. Für Bodengutachten (HPC) entstanden 8.083 €. In Summe entstanden nur für diese drei unvorhersehbaren Sachen Kosten in Höhe von ca. 70.000 €.

In Summe lagen die Kosten für den Wärmeverbund und für das Wärmenetz zwischen Stadthalle, Falkenhausenschule, Mediathek und Rathausareal bei 984.818 €.

Lieferant	Rechnungsdatum	Rechnungsnummer	Rechnungsbetrag	anrechenbare Kosten
Planung + Bauleitung				
regioDATA	30.12.2017	171745	3.391,50 €	3.063,04 €
regioDATA	30.12.2017	171746	180,00 €	180,00 €
regioDATA	06.04.2018	180385	7.758,37 €	7.688,37 €
badenovaWÄRMEPLUS	16.05.2018	80200751771	23.257,50 €	18.795,00 €
regioDATA	19.06.2018	180791	3.905,02 €	2.977,54 €
badenovaWÄRMEPLUS	30.11.2018	80200788652	41.436,74 €	35.346,74 €
regioDATA	19.12.2018	181945	12.593,64 €	10.090,60 €
badenovaWÄRMEPLUS	31.12.2018	80200804921	29.440,11 €	27.215,61 €
Summe			121.962,88 €	105.356,90 €
Installationen				
Fa. Burg (Heizungsbau)	24.08.2018	381559	155.208,44 €	21.223,31 €
Fa. HuS (MSR-Technik)	06.09.2018	34669	26.568,84 €	2.435,88 €
Planung (TGA Planungsgruppe)	18.11.2018	18.1708.2.30	23.529,42 €	2.352,94 €
Fa. TMS (Elektro)	11.12.2018	18-0749	37.878,50 €	4.078,33 €
Summe			394.588,19 €	30.090,46 €
Tief- und Rohrleitungsbau				
R. Hinkelbein	11.09.2017	17663	1.020,00 €	1.020,00 €
KaMiSu	06.12.2017	17-442	1.262,50 €	1.262,50 €
HPC AG	16.02.2018	5180468	5.481,04 €	5.481,04 €
HPC AG	09.01.2018	5177724	2.446,25 €	2.446,25 €
KaMiSu	23.01.2018	18-012	1.768,75 €	1.768,75 €
KaMiSu	25.01.2018	18-018	1.262,50 €	1.262,50 €
KaMiSu	13.02.2018	18-034	2.468,75 €	2.468,75 €
KaMiSu	19.02.2018	18-043	1.712,50 €	1.712,50 €
KaMiSu	19.03.2018	18-073	1.206,25 €	1.206,25 €
KaMiSu	29.03.2018	18-094	1.768,75 €	1.768,75 €
KaMiSu	09.04.2018	18-098	1.262,50 €	1.262,50 €
HPC AG	16.05.2018	5176188	155,85 €	155,85 €
badenovaWÄRMEPLUS	16.05.2018	80200751670	19.466,61 €	19.466,61 €
Fa. Klumpp	09.08.2018	2018-08-0216	234.369,53 €	234.369,53 €
bnNETZE	31.12.2018	81108792619	367,97 €	367,97 €
Fa. Klumpp	31.12.2018	2018-12-0416	387,50 €	387,50 €
Fa. Schnell	31.12.2018	9180189/98708/2	529.590,29 €	529.590,29 €
Fa. Schnell	31.12.2018	9180192/98708/2	645,00 €	645,00 €
badenovaWÄRMEPLUS	31.12.2018	80200804820	29.179,41 €	29.179,41 €
Fa. TMS	23.05.2019	19-0274	13.549,13 €	13.549,13 €
Summe			849.371,08 €	849.371,08 €
		Summe	1.365.922,15 €	984.818,45 €

2.6.2 Betriebskosten

Die verbrauchsabhängigen Betriebskosten beim Wärmeverbund bestehen im Wesentlichen aus den Stromkosten für die Netzpumpen, der überschlägig mit 0,5 % vom Wärmebedarf angesetzt werden kann und aus den Wärmeverlusten des Wärmenetzes, welcher im gesamten Fernwärmenetz in Kehl bei ca. 13 % liegt. Für die Leitung in der Bierkellerstraße, welche die Wärmenetze verbindet ergibt sich mit einer mittleren Temperatur von 60 °C und einer Leitungsdimension DN125 mit 1 x verstärkter Dämmung ein spezifischer Wert von 12,438 W/m. Die Länge der Verbindungsleitung beträgt 510 m, daraus ergibt sich ein Wärmeverlust von 55.600 kWh/a. Mit Wärmegestehungskosten von z. B. 4,0 Ct./kWh ergibt das Kosten in von ca. 2.200 €/a.

Zusätzlich fallen für den Betrieb eines Wärmenetzes auch Personalkosten an, die aber vergleichsweise gering sind und bei dem kleinen Wärmeverbund vernachlässigbar sind. Es wurden 10 h/a mit einem Stundenlohn von 60 €/h kalkuliert, was zu Personalkosten von 600 €/a führt.

In Summe betragen die Betriebskosten für den Wärmeverbund demnach ca. 3.000 €/a.

2.6.3 Verbesserung der Wirtschaftlichkeit

Eine Verbesserung der Wirtschaftlichkeit kann schwer quantifiziert werden. Die höheren Erlöse aus der KWK-Stromeinspeisung übersteigen die oben genannten Betriebskosten, können aber bei weitem nicht die Abschreibungen der hohen Investitionskosten decken, was eine Förderung des Projektes zwingend erforderlich gemacht hat. Der Wärmeverbund ermöglicht künftig die Versorgung des Rathausareals ohne dort eine weitere Wärmeerzeugungsanlage bauen zu müssen, diese Kosten können also eingespart werden. Ferner ermöglicht der Wärmeverbund die Akquisition weiterer Wärmekunden in der Bierkellerstraße. Durch den Wärmeverbund konnte eine Redundanz in den Wärmenetzen durch mehrere Einspeiseanlagen geschaffen und damit die Versorgungssicherheit erhöht werden. In Zukunft kann er für die Verteilung „grüner“ Wärme eine Schlüsselrolle für eine klimaneutrale Wärmeversorgung übernehmen. Diese Faktoren können aber im Moment nicht wirtschaftlich bewertet werden.

3 Wirkung der Umsetzung

3.1 Auswirkungen auf den zukünftigen Betrieb

Das Fernwärmenetz hat kaum Auswirkungen auf den künftigen Betrieb, lediglich die Leckwarnung muss überwacht werden und die Streckenschieber müssen regelmäßig kontrolliert und betätigt werden.

Für den Betrieb der Wärmeerzeugungsanlagen in der Richard-Wagner-Straße 1 und in der Stadthalle hat der Wärmeverbund weiterreichende Auswirkungen. Die Netzpumpen, die aus beiden Anlagen in ein gemeinsames Netz einspeisen müssen überwacht und genau geregelt werden, damit sie hydraulisch abgestimmt optimal laufen, ggf. muss hier manuell eingegriffen werden und eine Pumpe könnte zeitweise abgestellt werden. Je nach BHKW-Verfügbarkeit und aktueller KWK-Vergütung könnte damit das Fernwärmenetz wahlweise nur aus der einen oder anderen Anlage versorgt werden, was zu einer Optimierung der KWK-Stromproduktion führt und auch Pumpenstrom einspart.

3.2 Weiterführende, resultierende Maßnahmen

Im Zuge des Fernwärmenetzbaus wurde ein Leerrohr verlegt und zusätzlich hat die Stadt Kehl die Chance genutzt sogenannte Speed-Pipes zu verlegen um den Ausbau des Glasfasernetzes in Kehl voranzubringen.

Um detaillierte Kenntnisse über den Lastgang und Wärmebedarf der Wärmeverbraucher zu bekommen wurde wie bereits erwähnt ein LoRaWAN-Netzwerk aufgebaut, mit dem die Wärmemengenzähler aus der Ferne ausgelesen werden können. Über diese Fernauslesung können

jetzt auch die Daten für die Wärmeabrechnung erfasst werden, was ein aufwändiges manuelles Ablesen vor Ort überflüssig macht.

Da in dem Wärmeverbund der Wärmebedarf groß genug ist, wird im Jahr 2022 in der Stadthalle ein zweites BHKW mit 50 kW_{el} / 100 kW_{th} installiert werden. Würde nur das Wärmenetz Stadthalle mit der Mediathek und der Falkenhausenschule existieren, wäre ein zweites BHKW nicht möglich, da der Wärmebedarf zu gering ist und alle Gebäude nur im Winter einen Wärmebedarf haben, ebenso die Verwaltungsgebäude der Rathäuser. Über den Wärmeverbund kann Wärme aus der Stadthalle über die Bierkellerstraße auch zum Ortenauklinikum mit dem großen, ganzjährigen Wärmebedarf geleitet werden. Das macht den Einsatz eines zweiten BHKWs in der Stadthalle technisch und wirtschaftlich erst möglich.

3.3 Übertragbarkeit der Projektergebnisse

In Freiburg entsteht im Moment der große Wärmeverbund Süd und ein weiterer großer Wärmeverbund West ist geplant. Auch in anderen Kommunen wie Lörrach oder Lahr gibt es aktuelle Projekte zum Ausbau und dem Verbund von Fernwärmenetzen. Besonders für diesen Verbund vorhandener Fernwärmenetze und den Ausbau der bestehenden Fernwärmenetze konnten in dem Projekt in Kehl wichtige und hilfreiche Erkenntnisse gesammelt werden.

4 Öffentlichkeitsarbeit

4.1 Führungen und Vorträge

Der Fernwärmebau ist nicht neu und bei den Anwohnern sorgt er aufgrund von Verkehrsbehinderungen eher für Unmut. Die Baustelle wurde mit Vertretern der Stadt Kehl besichtigt um auf Komplikationen hinzuweisen und um Verständnis zu werben. Im Rahmen der zweimal jährlich stattfindenden Gesellschafterversammlung der Wärmegesellschaft Kehl wurde intensiv über die Maßnahme in Form von Berichten und mündlichen Erläuterungen informiert. Auch im Arbeitskreis Energie und Klimaschutz der Stadt Kehl wurde über das Projekt berichtet.

4.2 Flyer, Presse, Veröffentlichungen

Es wurde eine Pressemeldung herausgegeben und in dem Newsletter Energie.Fakt für Kommunen und Geschäftskunden der badenova wurde in der Ausgabe 02.2019 mit einem Artikel über das innovative Wärmenetz in Kehl berichtet.

06 Energie.Fakt



Einbau des innovativen Blockheizkraftwerkes in der Stadthalle in Kehl.

Innovatives Fernwärmenetz in Kehl

Die Wärmegesellschaft Kehl (WGK), eine gemeinsame Tochter der badenova-WÄRMEPLUS und der Stadt Kehl, hat ein innovatives Pilotprojekt aufgesetzt, bei dem zwei kleinere Wärmenetze in der Stadt Kehl mit einem großen verbunden und weiter ausgebaut wurden. Durch die intelligente Steuerung der dezentralen Erzeugungsanlagen innerhalb des Wärmenetzes sollen zukünftig Kapazitätsengpässe, die der Anschluss weiterer Kunden an ein bestehendes Wärmenetz mit sich bringt, überwunden werden und einen weiteren Ausbau ermöglichen.

Das neue Wärmenetz entstand 2018 im Bereich der Kehler Stadthalle. Dabei wurde die Falkenhauenschule und die Mediathek an die bestehende Heizzentrale der Stadthalle angeschlossen, die gleichzeitig um ein Blockheizkraftwerk (50 kW elektrisch) und eine thermische Solaranlage ergänzt wurde. Im Zuge der Neugestaltung des Rathausareals verlegte die WGK auch ein Wärmenetz zwischen den drei Rathäusern und den beiden Polizeigebäuden. Diese beiden Wärmenetze wurden verbunden und über eine Wärmeleitung über die Bierkellerstraße an das große, bestehende Fernwärmenetz der Anlage Kreuzmatt (zwei Kessel mit je 3.200 kW und zwei Blockheizkraftwerke mit je 357 kW elektrisch) angeschlossen. Insgesamt verlegte die WGK rund 1.200 Trassenmeter Fernwärmeleitungen.

Um detaillierte Kenntnisse über den Lastgang und Wärmebedarf der Wärmeverbraucher zu bekommen, wurde ein LoRaWAN-Netzwerk aufgebaut, mit dem die Wärmemengenzähler aus der Ferne ausgelesen werden können. Die ausführliche Evaluation der Ergebnisse macht das Modell attraktiv für weitere Wärmenetzbetreiber in der Region und in Deutschland. Der Multiplikationscharakter ist nur einer der Gründe, warum das Projekt 2018 eine Förderung über rund 99.000 Euro durch den Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova erhielt.



Verlegung einer Wärmeleitung im Rathaus-Areal.

Wärme für Staufen

Die badenova Tochtergesellschaft badenovaWÄRMEPLUS wird in Staufen im Markgräflerland die Giesinger Neubauten auf dem Firmenareal Schladerer mit Wärme versorgen. Dort soll ein Erdgas-BHKW entstehen, das auch das von der Stadt Staufen geplante neue Bürgerhaus mitversorgen kann. Auch der Anschluss weiterer Wohnungsneubauten mit eventuell einem weiteren BHKW ist optional möglich. Das Wärmenetz für diese neue Versorgung soll zu einem späteren Zeitpunkt mit dem im Wohngebiet Wolfsacker bereits bestehenden Fernwärmenetz (Holzheizkraftwerk) vernetzt werden. Weitere Ausbau- und Vernetzungsmöglichkeiten sehen badenovaWÄRMEPLUS und die Stadt Staufen in Richtung Osten (Wohngebiet) und in Richtung Süden (Gewerbegebiet).

Kältezentrale

In Offenburg plant die badenova Wärmetochter badenovaWÄRMEPLUS eine Kältezentrale für die Schwarzwaldmlich. Sie setzt damit die erfolgreiche Zusammenarbeit mit diesem namhaften Unternehmen fort, für das sie bereits in Freiburg eine hochmoderne, innovative Heizzentrale errichtet hat.

IMPRESSUM

Energie.Fakt Newsletter für Kommunen und Geschäftskunden

Herausgeber: badenova AG & Co. KG, Unternehmenskommunikation, Tullastraße 61, 79108 Freiburg

Redaktion: Dr. Roland Weis (verantwortl.), Michaela Böhm, Yvonne Schweickhardt, Sinja Beringer, Marek Zurmieden.

Layout: Patrick Gultmann

Herstellung: HOFMANN DRUCK, Emmendingen

Bilder: S. 1, 2 u. 3 unten: Albert-Josef Schmidt; S. 3 oben: Stefan Gihring; alle weiteren: badenova

Kontakt: Tel. 0761 279-3044
roland.weis@badenova.de

5 Zusammenfassung/Fazit

Das Projekt konnte erfolgreich abgeschlossen werden. Es gab aufgrund von einigen Hindernissen beim Bau der Fernwärmeleitungen teilweise Kostensteigerungen und Verzögerungen im Bauablauf, die aber bei solchen Baustellen im innerstädtischen Raum nicht unüblich sind und alle gut gelöst werden konnten. Im Betrieb konnten viele wichtige Erkenntnisse gesammelt werden, besonders im Bereich der Regelung, aber auch im Betrieb der hydraulischen Anlagenteile wie beispielsweise der dezentralen Pufferspeicher. Die im Betrieb aufgetretenen Probleme konnten weitestgehend gelöst werden. Die erwarteten Einsparungen an CO₂-Emissionen und Primärenergie wurde sogar etwas übertroffen.

Es konnten bereits erste Wärmekunden entlang der Verbindungstrasse in der Bierkellerstraße akquiriert und angeschlossen werden und auch das Rathausareal soll jetzt 2022 mit ökologischer Wärme aus dem Wärmeverbund versorgt werden und die alten Erdgaskessel können demontiert werden. Der Wärmeverbund schafft eine Redundanz in den Wärmenetzen durch mehrere Einspeiseanlagen und kann in Zukunft mit der Verteilung „grüner“ Wärme die Weichen für eine klimaneutrale Wärmeversorgung stellen. Hierfür gibt es bereits einige weiterführende Ideen.

6 Ausblick

In Kehl wurde ein Antrag im BAFA-Förderprogramm Wärmenetz 4.0 gestellt und es liegt seit Ende 2021 ein positiver Bescheid vor. Die Umsetzung der Machbarkeitsstudie beginnt im Jahr 2022 und es werden weitere Wärmeinseln, die Nutzung von Grundwasser durch Großwärmepumpen, die Nutzung und Verteilung von industrieller Abwärme im Hafen, die Nutzung von Tiefengeothermie und die Versorgung von neuen Baugebieten mit Wärmenetzen untersucht. Ziel ist es, mehrere Wärmenetze entstehen zu lassen, die später ggf. zu einem großen Wärmeverbund zusammenwachsen. Der vorliegende Wärmeverbund zwischen der Anlage Kreuzmatt, der Stadthalle und dem Rathausareal ist ein erster Schritt in diese Richtung und liefert wichtige Erkenntnisse für den Aufbau der Fernwärmeversorgung in Kehl. Besonders im städtischen Bereich ist die Fernwärmeversorgung nahezu der einzige Weg zur Dekarbonisierung der Wärmeerzeugung und zur Reduktion der Schadstoffbelastung. Nur so kann auch die Wärmewende zur Erreichung der ambitionierten Klimaziele vollzogen werden.

7 Projekterkenntnisse

Darstellung drei wesentlicher Erkenntnisse aus dem Projekt.

1.	Der Bau von Fernwärmenetzen im innerstädtischen Bereich ist sehr komplex und man muss mit vielen unerwarteten Dingen rechnen, die den Terminplan beeinflussen und die Kosten schwer kalkulierbar machen und nicht selten zu großen Kostensteigerungen führen.
2.	Ein Wärmeverbund schafft in Zukunft Möglichkeiten der Weiterentwicklung, die man bei der Planung noch gar nicht abschätzen kann. Zum Beispiel neue Wärmeanschlüsse an der Trasse, Erschließen neuer Wärmequellen, Erhöhte Versorgungssicherheit durch mehrere Anlagen, Ausbau der Anlagen, Wege in eine klimaneutrale Wärmeversorgung, etc.
3.	Die unterschiedlichen Netzparameter (Druck, Temperatur, Wasserqualität) und unterschiedlichen Anlagenparameter (Art und Größe der Erzeugungsanlagen, Größe Pufferspeicher, Lastgänge, Primärenergiefaktoren, etc.) machen eine detaillierte Konzeption und einen abgestimmten Betrieb zwingend erforderlich.