

Wärmeverteilsysteme für Niedertemperaturwärme in Gebäuden

Mit freundlicher Unterstützung des:



Rheinland-Pfalz

Ministerium für Umwelt, Forsten
und Verbraucherschutz

Auftraggeber: Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz
Rheinland-Pfalz

Datum: 23.11.2007

Transferstelle Bingen • Am Langenstein 21 • 55411 Bingen • www.tsb-energie.de

Dipl.-Ing. (FH) Kerstin Kriebs

Tel: 06721 / 98 4 24 20

Fax: 06721 / 98 4 24 29

kriebs@tsb-energie.de

Dipl.-Ing. (FH) Ursula Vierhuis

Tel: 06721 / 98 4 24 18

Fax: 06721 / 98 4 24 29

vierhuis@tsb-energie.de

im

Institut für Innovation, Transfer und Beratung GmbH □ Berlinstraße 107a □ 55411 Bingen am Rhein

Verantwortlich im Sinne des Pressegesetzes für den Inhalt sind die Autoren. Aus der Benutzung der Studie können gegenüber der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz keine Schadensersatzansprüche geltend gemacht werden. Die Forschungsanstalt ist bemüht, die Studien auf Wahrheit, Inhalte und Herkunft zu prüfen. Sie kann jedoch beispielsweise die Urdaten von Vor-Ort-Erhebungen, gegebenenfalls verwendete Algorithmen und Hintergrundinformationen nicht prüfen.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	3
Teil I – Wärmeverteilsysteme	4
1 Ausgangssituation	5
1.1 Estienne et Foch	5
1.2 Geowärmenutzung	5
2 Energiebilanz	6
3 Wärmeverteilsysteme	8
3.1 Wandheizung	8
3.2 Fußbodenheizung	10
3.3 Radiatorenheizung	11
3.4 Kapillarrohrsysteme	13
4 Wirtschaftlichkeit	14
5 Einfluss der Regelungsart auf niedrige Vorlauftemperaturen	16
6 Zusammenfassung	20
Teil II – Trinkwassererwärmung	22
1 Ausgangssituation	23
1.1 Legionellen.....	23
1.2 Gesetzliche Vorgaben und sonstige Empfehlungen	24
2 Trinkwasserhygiene	25
3 Trinkwarmwasser(auf)bereitung	27
3.1 Chemische Desinfektion.....	27
3.2 Zentrale Trinkwassererwärmung	27
3.2.1 UV-Desinfektion.....	27
3.2.2 Thermische Desinfektion	29
3.3 Dezentrale Trinkwassererwärmung.....	30
3.3.1 Heizvorlauf-Wärmetauschersysteme	30
3.3.2 Alternative: elektrischer Durchlauf-Erhitzer	31
4 Wirtschaftlichkeit	32
4.1 UV-Desinfektion	32
4.2 Thermische Desinfektion.....	33
4.3 Dezentrale Trinkwassererwärmung	34
4.4 Alternative: Durchlauf-Erhitzer.....	34
4.5 Wirtschaftlichkeitsvergleich	35
5 Zusammenfassung und Bewertung	37

Einleitung

Die Erschließung des Energiepotenzials der Tiefengeothermie zur Strom- und Wärme-gewinnung bedingt Nutzungskonzepte. Der Strom kann über das vorhandene Netz weit verteilt werden. Die Wärme kann wirtschaftlich nur in der unmittelbaren Umge-bung einer Nutzung zugeführt werden.

Der Schwerpunkt bei der Tiefengeothermie liegt aufgrund des Erneuerbare-Energien-Gesetzes in der Maximierung der Stromerzeugung. Dies hat zur Folge, dass auf der Wärmeseite zwar viel Energie zur Verfügung steht, das Temperaturniveau jedoch ggf. zu niedrig ist, um für heute übliche Verteilsysteme uneingeschränkt nutzbar zu sein.

Am Beispiel vom Geothermiekraftwerk in Landau, das neben Strom auch Wärme be-reitstellen wird, werden Wärmeverteilsysteme für Niedertemperaturwärme in Gebäu-den untersucht.

In der vorangegangenen „Machbarkeitsstudie zur optimierten Wärmenutzung des Ge-othermiekraftwerks Landau“ wurden mehrere Nahwärmenetze zur Wärmeversorgung betrachtet. Hierbei stellt sich die Frage nach einer möglichst effizienten Nutzung der Wärme. Für das geplante Neubaugebiet Estienne et Foch bestehen daher Überle-gungen, die Nahwärme mit einer möglichst niedrigen Vorlauftemperatur einzusetzen, um ein möglichst großes Gebiet mit dieser günstig verfügbaren Wärme zu erreichen. Hierfür stehen verschiedene Wärmeverteilsysteme zur Verfügung, deren Einsatz ex-emplarisch für ein Gebäude des Altbau-Bestands in Estienne et Foch untersucht wird. Dabei wird neben den energetischen Möglichkeiten auch die Wirtschaftlichkeit be-rücksichtigt.

Teil I – Wärmeverteilsysteme

1 Ausgangssituation

1.1 Estienne et Foch

Das ca. 24 ha große Gebiet Estienne et Foch in Landau diente bis 1999 als Artilleriekaserne für die französischen Streitkräfte. Im Rahmen der Konversion wird dieses Gebiet nun einer neuen Nutzung zugeführt werden, das aus Wohnbebauung sowie damit verträglicher gewerblicher Nutzung bestehen soll.

Die neu zu errichtenden Gebäude werden nach den Kriterien der Energieeinsparverordnung (EnEV) gebaut. Um Geowärme zur Beheizung nutzen zu können, empfiehlt sich der Einsatz einer Fußbodenheizung.

Damit die zu Beginn des vergangenen Jahrhunderts errichteten Kasernengebäude ebenfalls mit Geowärme beheizt werden können, wird ein Niedertemperaturheizsystem benötigt. Als Voraussetzung dazu ist die Verbesserung des Wärmedämmstandards erforderlich. Da diese Gebäude unter Denkmalschutz stehen, kommt eine Außendämmung der Gebäudehülle nicht in Frage, so dass die Außenwände ausschließlich von innen gedämmt werden können.

Für Estienne et Foch stehen nur noch vereinzelt Gebäudepläne zur Verfügung, die umfangreich und detailliert genug sind, um den Energiebedarf der Gebäude ermitteln zu können. Daher wurden die Berechnungen exemplarisch anhand von Plänen des Mannschaftsgebäudes 50 aus dem Jahr 1913 durchgeführt.

1.2 Geowärmenutzung

Nach der „Machbarkeitsstudie zur optimierten Wärmenutzung des Geothermiekraftwerks Landau“ wäre im Nahwärmenetz für Estienne et Foch eine Vorlauftemperatur von etwa 65°C erreichbar. Um ein möglichst großes Gebiet mit der verfügbaren Abwärme zu versorgen, soll die Vorlauftemperatur der Heizsysteme jedoch so gering wie möglich gewählt werden. Daher gilt es zu untersuchen, wie hoch die Vorlauftemperatur sein muss, um den Wärmebedarf eines durchschnittlichen Gebäudes abdecken zu können. Im Bereich Raumheizung und Trinkwassererwärmung liegt das Temperaturniveau der eigentlichen Nutzwärme sehr niedrig (20 – 24°C Raumtemperatur, ~ 40°C Trinkwarmwassertemperatur).

Es kommen unterschiedliche Wärmeverteilsysteme in Frage, die im Folgenden hinsichtlich ihrer Anforderungen, Einsetzbarkeit und Wärmeleistung bei niedrigen Vorlauftemperaturen untersucht werden.

2 Energiebilanz

Zunächst wurde für das Mannschaftsgebäude 50 der Wärmeenergiebedarf im IST-Zustand ermittelt. Hierzu wurden gebäudetypische Kennwerte für Gebäude dieses Baujahrs berücksichtigt.

Darauf aufbauend wurde eine energetische Sanierung des Gebäudes simuliert. Der Energiebedarf des sanierten Gebäudes ergibt sich aus der Gebäudegeometrie (s. Tab. 2-1) und den Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) der Gebäudehülle (s. Tab. 2-2). In die Berechnung des beheizten Volumens und der beheizten Grundfläche gehen nur Erdgeschoss, 1. und 2. Obergeschoss ein. Der Keller und Dachboden sind unbeheizt.

Tab. 2-1: Gebäudedaten, Mannschaftsgebäude 50

Gebäudekennwert		
Beheiztes Volumen	m ³	2.573
Nettogrundfläche (NGF)	m ²	589

Tab. 2-2: Wärmedurchgangskoeffizienten der Gebäudehülle

Gebäudeteil	Ist-Zustand	saniertter Zustand
	W/(m ² K)	W/(m ² K)
Kellerdecke	1,1	0,3
obere Geschossdecke	1,0	0,1
Außenwand	1,7	0,4
Fenster	5,0	1,4

Aus den Daten in Tab. 2-1 und Tab. 2-2 errechnet sich der Wärmeenergiebedarf für das Mannschaftsgebäude 50. Dieser ist in Tab. 2-3 dargestellt.

Tab. 2-3: Wärmeenergiebedarf

	Einheit	Ist-Zustand	saniertter Zustand
Wärmeleistungsbedarf	kW _{th}	89	44
spezifischer Wärmebedarf	W _{th} /m ²	151	74

Durch eine Sanierung des Altbaus mit einer Wärmedämmung von Außenwänden, oberer Geschossdecke und Kellerdecke sowie einem Austausch der einfachverglas-

ten Fenster gegen Fenster mit Wärmeschutzverglasung lässt sich der Wärmeleistungsbedarf des Gebäudes um ca. die Hälfte senken.

Ein entsprechend niedriger Heizwärmebedarf ist Voraussetzung dafür, dass Wärmeverteilsysteme, die mit einer niedrigen Vorlauftemperaturen auskommen, überhaupt eingesetzt werden können.

3 Wärmeverteilsysteme

Als Wärmeverteilsysteme werden Wandheizungen, Fußbodenheizungen sowie der Einsatz von Radiatoren gegenübergestellt.

3.1 Wandheizung

Wandheizungen sind in unterschiedlichen Ausführungen verfügbar. Im vorliegenden Fall wurde mit so genannten „Wärmeregistern“ gerechnet, die an die Außenwände geschraubt werden und noch verputzt werden müssen. Es gibt aber auch Fertigelemente in Lehmbauweise, in die die Wärmeüberträger bereits eingearbeitet sind, und die als Platten komplett an den Wänden verschraubt werden.

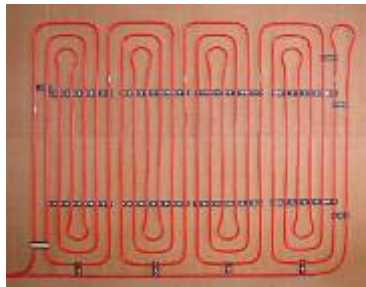


Abb. 3-1: Wandheizung (WEM)

Aufgrund der großflächigen Auslegung können Wandheizungen mit vergleichsweise niedrigen Vorlauftemperaturen gefahren werden. Üblich sind Temperaturen zwischen 35 und 45 °C. Voraussetzung für die Verwendung von Wandheizungen ist ein möglichst geringer U-Wert der Wand, der gemäß den Anforderungen der EnEV $<0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ für Neubauten bzw. $<0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ für Altbauten betragen sollte.

Tab. 3-1: Kenndaten Wandheizung

Vorlauftemperatur 35 °C, Rücklauftemperatur 30 °C		
erzielbare spezifische Wärmeleistung	W_{th}/m^2	100
benötigte Wandfläche	m^2	438
Vorlauftemperatur 45 °C, Rücklauftemperatur 40 °C		
erzielbare spezifische Wärmeleistung	W_{th}/m^2	200
benötigte Wandfläche	m^2	219
benötigte Wärmeleistung im Mannschaftsgebäude 50	kW_{th}	44
verfügbare Wandfläche im Mannschaftsgebäude 50	m^2	461

Wandheizungen werden vorzugsweise auf den Innenseiten der Außenwände installiert, um Kältebrücken zu vermeiden. Es besteht auch die Möglichkeit, sie an Innenwänden zu installieren, um bei Sitzgruppen sog. „Wohlfühlzonen“ zu schaffen. Im vorliegenden Fall wurden jedoch ausschließlich die Außenwandflächen berücksichtigt, abzüglich der Fensterflächen plus 10% Toleranz.

Bei einer Vorlauftemperatur von 35° wird eine spezifische Wärmeleistung von $100 \text{ W}_{\text{th}}/\text{m}^2$ erreicht. Um damit den Wärmeleistungsbedarf des Gebäudes abdecken zu können, müssen rechnerisch 438 m^2 der maximal verfügbaren 461 m^2 Wandfläche mit Wandheizungselementen belegt werden. Bei einer Vorlauftemperatur von 45 °C hingegen geben die Wandheizungselemente $200 \text{ W}_{\text{th}}/\text{m}^2$ ab, und somit die doppelte spezifische Wärmeleistung gegenüber einer Vorlauftemperatur von 35 °C. Somit halbiert sich bei der um 10 °C höher liegenden Vorlauftemperatur auch die benötigte zu belegende Wandfläche.

Der Wandaufbau bei einer Wandheizung ist in Abb. 3-2 dargestellt.

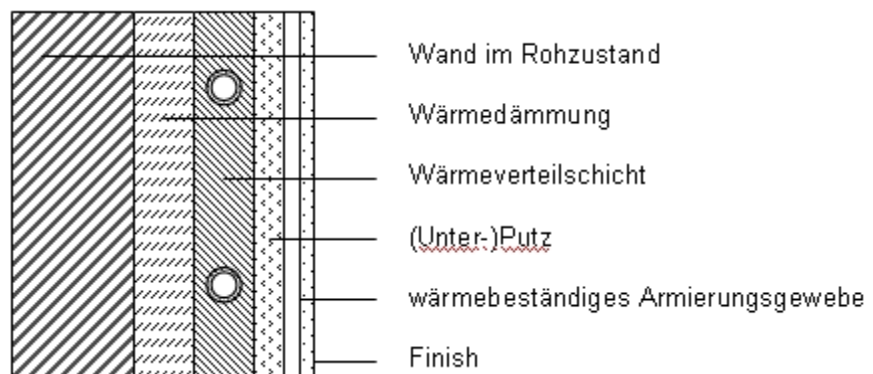


Abb. 3-2: Wandaufbau Wandheizung

3.2 Fußbodenheizung

Die Art der Fußbodenheizung richtet sich nach der Bodenbeschaffenheit. Am weitesten verbreitet sind nass verlegte Fußbodenheizungen, die in Zementestrich eingebettet werden. In Altbauten mit Holzböden ist dies jedoch schon allein aus statischen Gründen nicht möglich. Hier kommen trocken verlegte Systemplatten zum Einsatz.

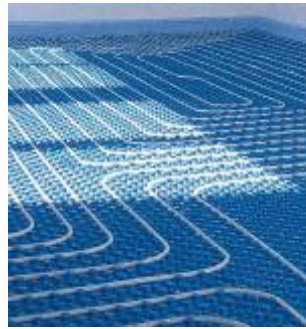


Abb. 3-3: Fußbodenheizung (Polytherm)

Tab. 3-2: Kenndaten Fußbodenheizung, nassverlegt

		nassverlegt	trockenverlegt
Vorlauftemperatur	°C	45	45
Rücklauftemperatur	°C	39	30-35
spezifische Wärmeleistung $\varnothing$	W_{th}/m^2	74	74
Benötigte/verfügbare Bodenfläche	m^2	589	589
benötigte Wärmeleistung im Gebäude	kW_{th}	44	44

Im Gegensatz zu den unter 3.1. betrachteten Wandheizungsregistern ist die Leistung der Fußbodenheizung abhängig von dem gewählten Verlegeabstand der Leitungen. Begrenzender Faktor ist hier die Oberflächentemperatur, die nach DIN EN 1264 maximal 29°C betragen sollte.

Die im betrachteten Objekt für eine Fußbodenheizung verfügbare Bodenfläche beträgt 589 m². Um die für das Gebäude benötigte Wärmeleistung von 44 kW_{th} bereitstellen zu können, müsste die Leistungsabgabe der Fußbodenheizung etwa 74 W_{th}/m² betragen, was mit einer Vorlauftemperatur von 45°C problemlos erzielbar ist, ohne die maximal zulässige Oberflächentemperatur von 29°C zu überschreiten.

Eine Vorlauftemperatur von 35°C kommt für eine konventionelle Fußbodenheizung nur unter bestimmten Umständen in Frage. Um die benötigte Wärmeleistung von 74 W/m² mit den verfügbaren Flächen auch bei einer Vorlauftemperatur von 35 °C erreichen zu können, ist ein Bodenbelag mit einer sehr guten Wärmeleitfähigkeit zwingende Voraussetzung. Als Belag kommen in dem Fall also nur Fliesen oder ver-

gleichbare Materialien in Frage. Falls bei anderen Bodenbelägen mit niedrigen Temperaturen gefahren werden soll, kann eine zusätzliche Wandheizung eine Option sein. Mit trockenverlegten Systemen (s. Abb. 3-4) kann bei 35 °C Vorlauf keinesfalls die benötigte Wärmeleistung erzielt werden, sondern nur ca. 50 W/m², da die Verlegeabstände dieser Systeme je nach Hersteller nur wenig oder gar nicht variabel sind. Mit der Vorlauftemperatur von 45 °C können zwar 75 W/m² erreicht werden, jedoch ist hier zu beachten, dass bei einem Fliesenbelag auch über 10 mm Trockenestrichplatten die als maximal anzusehende Oberflächentemperatur von 29 °C überschritten wird. Mit Parkett oder Teppichbelag stellt dies kein Problem dar. Die Rücklauftemperatur des Trockenbausystems liegt allerdings deutlich niedriger als bei der Nassbauvariante. In Abhängigkeit von dem verwendeten System beträgt die Temperaturdifferenz zum Vorlauf ca. 10-15 °C. Es wird empfohlen, verschiedene Herstellerangebote einzuholen, da sich auch die Preise der Trockenbausysteme stark unterscheiden.

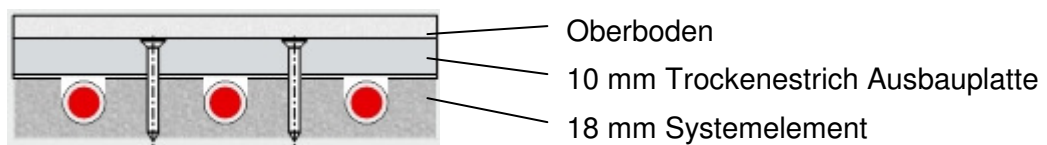


Abb. 3-4: Beispiel einer Fußbodenheizung in Trockenbauweise (verändert nach Viega)

Eine mögliche Alternative zu konventionellen Fußbodenheizungen könnten auch Kappillarrohrsysteme darstellen (s. Kap. 3.4). Deren Einsatz ist allerdings umstritten.

3.3 Radiatorenheizung

Radiatorenheizungen sind als Wärmeverteilsysteme nach wie vor weit verbreitet. Im Gegensatz zu Flächenheizungen ist bei ihnen jedoch aufgrund der geringeren Abstrahlfläche eine höhere Vorlauftemperatur nötig um dieselbe Wärmeleistung zu erzielen. Jedoch gibt es auch hier große Unterschiede.



Abb. 3-5: Radiatorenheizung (Buderus)

Im Folgenden werden verschiedene Heizkörperbauarten gegenübergestellt (Tab. 3-3). Für die Berechnungen wird von einer Vorlauftemperatur von 55 °C und einem Rücklauf von 45 °C ausgegangen. Die mittlere Raumtemperatur beträgt 20 °C.

(Es könnte auch mit Vorlauftemperaturen von 60 °C gefahren werden, wenn im Nahwärmenetz tatsächlich Temperaturen bis zu 65 °C erreicht werden. Dies entspricht aber nicht dem eigentlichen Ziel, die vorhandene Wärme für ein möglichst großes Gebiet bereitzustellen.)

Tab. 3-3: Kenndaten Radiatorenheizungen, Vorlauftemp. 55 °C, Rücklauftemp. 45 °C

		2-reihig	3-reihig	3-reihig
Heizkörperhöhe	m	0,5	0,4	0,5
Heizkörperlänge	m	1		
Wärmeleistung Heizkörper	W_{th}/m	763	909	1.073
verfügbare Fensterfront im Gebäude	m	48		
erzielbare Wärmeleistung im Gebäude	kW_{th}	37,6	43,6	51,5
benötigte Wärmeleistung im Gebäude	kW_{th}	44		

Die verfügbare Fensterfront im Mannschaftsgebäude 50 beträgt insgesamt 48 m. Den Bauplänen nach zu urteilen ist der Einbau von Heizkörpern mit einer Höhe von bis zu 50 cm möglich. Aus Tab. 3-3 wird deutlich, dass die benötigte Wärmeleistung von 44 kW_{th} mit den 2-reihigen Radiatorenheizkörpern nicht erzielt werden kann, mit 3-reihigen Heizkörpern hingegen schon. Selbst bei Heizkörpern von nur 40 cm Höhe würde die im Gebäude benötigte Heizleistung noch knapp erreicht, jedoch werden Heizkörper allgemein etwas größer ausgelegt, weshalb diese Variante in den weiteren Berechnungen keine Beachtung findet.

Für ein Heizsystem mit 60 °C Vor- und 50 °C Rücklauftemperatur wäre ein zweireihiger Heizkörper ausreichend.

Tab. 3-4 Kenndaten Radiatorheizungen, Vorlauftemp. 60 °C, Rücklauftemp. 50 °C

		2-reihig
Heizkörperhöhe	m	0,5
Heizkörperlänge	m	1
Wärmeleistung Heizkörper	W_{th}/m	935
verfügbare Fensterfront im Gebäude	m	48
erzielbare Wärmeleistung im Gebäude	kW_{th}	44,9
benötigte Wärmeleistung im Gebäude	kW_{th}	44

Grundsätzlich wäre es denkbar, die Heizkörper auch mit geringeren Vorlauftemperaturen zu betreiben, und somit mehr Heizkörper einzubauen. In der Realität ist dies jedoch nicht sehr praktikabel, da Heizkörper allgemein unter den Fenstern eingebaut werden, da dort meist keine größeren Möbelstücke die Wärmekonvektion behindern.

3.4 Kapillarrohrsysteme

Kapillarrohrsysteme sind Matten aus feinen Rohren, die als Fußboden- Wand- oder Deckenheizung eingesetzt werden können. Aufgrund der hohen Verteilungsdichte mit variablen Kapillarabständen ab ca. 2 cm zueinander, können sie mit sehr niedrigen Vorlauftemperaturen gefahren werden.

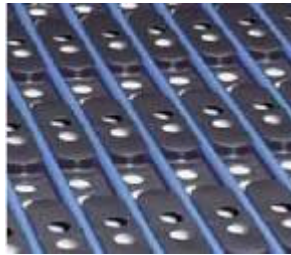


Abb. 3-6: Kapillarrohrsystem

Für den Einsatz als Deckenheizung liegt die Leistungsabgabe von Kapillarrohrsystemen nach Herstellerangaben aber lediglich bei ca. $50 \text{ W}_{\text{th}}/\text{m}^2$. Daher kommt diese Option für das Mannschaftsgebäude 50 nicht in Frage.

Als Fußboden- oder Wandheizung kann dieses System aber interessant sein. In Abhängigkeit von Estrich und Bodenbelag kann mit Fußbodenheizungen aus Kapillarrohrmatten bereits bei Vorlauftemperaturen von 32°C eine Leistungsabgabe bis zu ca. $85 \text{ W}/\text{m}^2$ erreicht werden (auf Estrich in Vergussmasse von 3 mm Überdeckung mit Fliesenbelag).

Allerdings stellt dieses System besondere Anforderungen an die Heizwasserqualität, da es aufgrund der sehr geringen Rohrdurchmesser zu Ablagerungen und schlimmstenfalls zum Verschlammen des kompletten Systems mit Totalausfall kommen kann. Da die Meinungen über dieses Risiko sehr stark differieren, soll auf dieses System hier nur am Rande eingegangen werden.

Die Investitionskosten für Kapillarrohrsysteme liegen zudem sehr hoch. Allein für die reinen Materialkosten ohne Steuerungsgeräte und Montage werden in Herstellerplanungsunterlagen bereits $85,31 \text{ €/m}^2$ zzgl. MwSt. angesetzt. Inklusive Montage, Steuerung und Zubehör muss mit spezifischen Investitionskosten von ca. 120 €/m^2 zzgl. MwSt. gerechnet werden.

4 Wirtschaftlichkeit

Neben der möglichst niedrigen Vorlauftemperatur spielt die Wirtschaftlichkeit der Wärmeverteilsysteme eine wesentliche Rolle bei der Wahl des entsprechenden Systems. Die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Systeme ist in Tab. 4-1 dargestellt, wobei von einer Abschreibungsdauer von 30 Jahren ausgegangen wird. Es sind Nettokosten angegeben.

Im vorliegenden Fall wurde bei der Fußbodenheizung mit 45 °C Vorlauftemperatur Parkett als Bodenbelag kalkuliert. Bei Fliesenbelag können größere Verlegeabstände gewählt werden, bei Teppichbelag werden geringere Verlegeabstände angesetzt. Aufgrund des unterschiedlichen Materialbedarfs können die Investitionskosten in der Praxis dann geringfügig variieren.

Für die Fußbodenheizung mit einer Vorlauftemperatur von 35 °C wurde ein Fliesenbelag angenommen, da bei dem Leistungsbedarf im vorliegenden Fall kein anderer Belag in Frage kommt.

Tab. 4-1: Wirtschaftlichkeit der Wärmeverteilsysteme

		Wandheizung		Fußbodenheizung		Radiatoren	
				nassverlegt	trocken- verlegt		
		Var. 1	Var. 2	Var. 3	Var. 4	Var. 5	Var. 6
Vorlauf- temperatur	°C	35	45	35	45	45	55
Rücklauf-tempe- ratur	°C	30	40	29	39	ca. 30-35	45
Investitions- kosten	€	48.977	22.650	44.144	37.964	61.807	32.053
Spezifische Investitionskosten	€/m ² _{BWF}	83	38	75	65	104	54
Kapitalkosten	€/a	3.186	1.473	2.872	2.470	4.021	2.085

BWF = beheizte Wohnfläche

Als günstigste Variante stellt sich die Variante 2 dar, bei der vorgefertigte Wandheizungs-„register“ mit 45 °C Vorlauftemperatur zum Einsatz kommen. Die Investitionskosten belaufen sich auf 22.650 € zzgl. MwSt. und die Kapitalkosten auf 1.473 € zzgl.

MwSt.. Auf die beheizte Wohnfläche bezogen betragen die spezifischen Investitionskosten 38 €/m² zzgl. MwSt..

Bei einer Vorlauftemperatur von nur 35 °C müsste die doppelte Anzahl Wandheizungselemente eingebaut werden, wodurch auch mehr Heizkreisverteiler etc. benötigt werden. Die Investitionskosten liegen im Vergleich zu dem Betrieb mit 45 °C Vorlauftemperatur mit ca. 83 €/m² beheizter Wohnfläche zzgl. MwSt. sehr hoch. Zu beachten ist jedoch, dass die alten Gebäude ohnehin saniert werden müssen, und aufgrund des bestehenden Denkmalschutzes nur eine innenseitige Dämmung der Außenwände möglich ist. Die in den Berechnungen zu Variante 1 enthaltenen Montagekosten müssten bei der Wärmedämmung des Gebäudes ohnehin für alle Außenwandflächen aufgebracht werden, so dass die Materialkosten für Heizelemente und Zubehör dann nicht mehr ganz so stark ins Gewicht fallen wie bei einer reinen Gegenüberstellung der Investitionskosten der Wärmeverteilungssysteme. Die Dämmung des Gebäudes war jedoch nicht Bestandteil der Berechnungen.

Abhängig von der Gebäudebauart können bei Fußbodenheizungen entweder nass oder trocken verlegte Systeme eingesetzt werden. Betondecken ermöglichen normalerweise eine Nassverlegung der Fußbodenheizung in Estrich, wohingegen Holzdecken aufgrund der Statik nur für die leichtere aber kostenintensivere Trockenverlegung geeignet sind. Für das Mannschaftsgebäude 50 wurde die Berechnung für beide Varianten durchgeführt. Dabei wird ersichtlich, dass bei einer Vorlauftemperatur von 45 °C die Investitionskosten für die Fußbodenheizung deutlich über denen der Wandheizung liegen. Für die Wandheizung sind bei gleicher Vorlauftemperatur Kapitalkosten in Höhe von 1.473 €/a zzgl. MwSt. zu veranschlagen, bei der Fußbodenheizung sind dies 2.470 bzw. 3.753 €/a zzgl. MwSt.. Das trockenverlegte System verursacht gegenüber dem nassverlegten um ca. 60 % höhere Investitions- und Kapitalkosten. Bei einer Vorlauftemperatur von 35 °C hingegen ist die nassverlegte Fußbodenheizung mit spezifischen Investitionskosten von 75 €/m²_{BWF} gegenüber der Wandheizung mit 83 €/m²_{BWF} bei gleicher Vorlauftemperatur die günstigere Alternative (wenn die Notwendigkeit der Wanddämmung vernachlässigt wird).

Als Variante 6 wurden 3-reihige Radiatorenheizkörper mit einer Vorlauftemperatur von 55 °C betrachtet. Mit Investitionskosten von ca. 32.053 € zzgl. MwSt. und Kapitalkosten von 2.085 €/a zzgl. MwSt. stellt dies die zweitgünstigste Variante dar. Trotzdem liegen die spezifischen Investitionskosten mit 54 €/m² zzgl. MwSt. bezogen auf die beheizte Wohnfläche noch ca. 41 % über denen der Variante 2 (Wandheizung, Vorlauf 45 °C).

Für ein Heizsystem mit 60/50 °C Vor- und Rücklauftemperatur würden sich etwa 27.334 € zzgl. MwSt. als Investitionskosten und 1.778 € zzgl. MwSt. als Kapitalkosten ergeben. Daraus resultieren spezifische Investitionskosten von ca. 46 €/m² zzgl. MwSt. bezogen auf die beheizte Wohnfläche.

5 Einfluss der Regelungsart auf niedrige Vorlauftemperaturen

Die Regelung des Heizsystems beeinflusst ebenfalls die Vorlauftemperaturen im Heizsystem. Einige Ansatzpunkte werden im Folgenden genannt.

Witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung

Die witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung ist derzeit Standard. Die Vorlauftemperatur wird abhängig von der Außentemperatur geregelt. Fremdwärme in Form von inneren Wärmelasten wird nicht berücksichtigt. Die witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung ermöglicht bei korrekter Heizlastberechnung und Heizflächenauslegung, dass mit dem Auslegungsmassenstrom die einzelnen Räume eines Gebäudes die Wärmemenge erhalten, die die Transmissions- und Lüftungswärmeverluste deckt. Ein verringerter Massenstrom in den einzelnen Räumen ist nur dann notwendig, wenn innere Wärmelasten durch eine Einzelraumregelung zu berücksichtigen sind.

Die witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung ist für Heizsysteme mit überwiegend außentemperaturabhängigen Lastprofilen sinnvoll. Dies wären z. B. Altbauten mit hohen Verlusten und Abnehmer mit geringen oder gering schwankenden dezentralen Fremdwärmelasten.

Bedarfsgeführte Vorlauftemperaturregelung

Die bedarfsgeführte Vorlauftemperaturregelung ist dort sinnvoll, wo in Heizwärmenetzen hohe und/oder stark schwankende dezentrale Fremdwärmelasten auftreten und das Lastprofil wenig von der Außentemperatur beeinflusst wird. Dies trifft auf gut gedämmte Gebäude, hohe innere Wärmelasten und eine stark dynamische Beanspruchung durch Absenk- und Aufheizphasen zu.

Die Führungsgröße der Vorlauftemperatur ist nicht die Außentemperatur sondern die Raumtemperatur. Um den Bedarf nicht eines einzelnen Referenzraumes sondern mehrerer Verbraucher zu berücksichtigen, sind entsprechend zusätzliche Messstellen und eine Kommunikation zwischen zentraler und dezentraler Regelung notwendig.

Da der Anteil der außentemperaturunabhängigen Wärmegewinne an der Heizlast in Neubauten und modernisierten Bestandsgebäuden wächst und die dynamische Betriebsweise zunimmt, wird sich die bedarfsgeführte Vorlauftemperaturregelung langfristig durchsetzen.

Nachtabstaltung und Nachtabstimmung

Durch die Nachtabstimmung und Nachtabstaltung kann Energie eingespart werden. Im Absenkbetrieb wird die Vorlauftemperatur abgesenkt, während im Abschaltsbetrieb die Anlage entweder komplett abgeschaltet ist oder im Stützbetrieb gefahren wird, um eine Mindesttemperatur zu halten.

Die Größenordnung der Einsparung wird durch die Dauer des Absenkbetriebs, die Temperaturabsenkung und die Bauweise bestimmt. Beim Absenkbetrieb hängt die Vorlauftemperaturabsenkung von der Steilheit der Heizkurve und der eingestellten Raumtemperaturabsenkung ab.

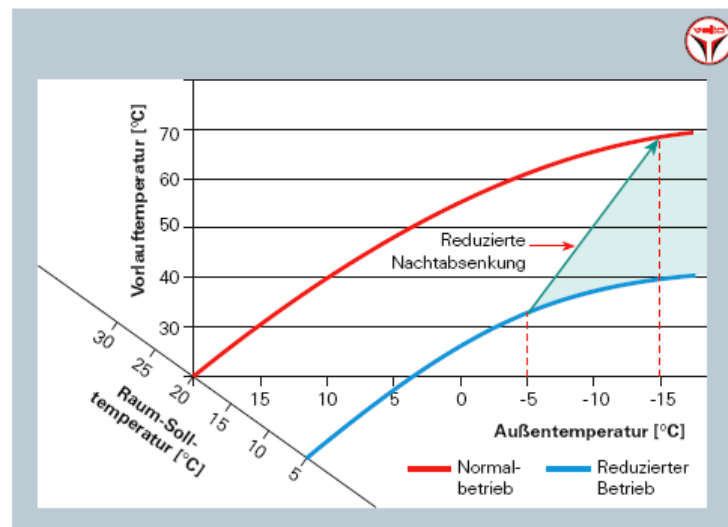


Bild 5: Regelungsstrategie einer zentrale außentemperaturgeführten Vorlauf-Temperaturregelung zur Vermeidung zusätzlicher Aufheizleistung im Sinne der DIN EN 12831 [2], [3]
Quelle: Viessmann Werke GmbH, Allendorf. März 2005.

Abbildung 5-1 Heizkurve mit Darstellung Nachtabstimmung
(Quelle: Prof. Dr. Ing. Sommer, FH Köln)

Die Vorlauftemperatur wird bei Heizsystemen mit Heizkörpern und höheren Vorlauftemperaturen als bei Flächenheizung um etwa 5 bis 8 K verringert. Dazu ist eine um die gewünschte Temperaturdifferenz abgesenkte Heizkurve einzustellen. Die Bauweise beeinflusst mit ihrer Wärmedämmung und Wärmespeicherfähigkeit die Energieeinsparung. Der Zeitpunkt der Wiederaufheizung ist so zu wählen, dass die Räume wieder rechtzeitig die gewünschte Temperatur aufweisen.

In gut wärmegeprägten und luftdichten Gebäuden in schwerer Bauweise beträgt am Ende der Absenkbetriebphase der Raumtemperaturabfall 1 bis 2 K und in leichter Bauweise 4 bis 5 K. Um lange Aufheizzeiten zu vermeiden, sollte die Heizungsunterbrechung in leichten Gebäuden maximal 5 Stunden und in schweren Gebäuden maximal 10 Stunden betragen. Damit wirkt sich eine Nachtabstimmung in gut gedämmten Gebäuden kaum auf den Heizenergieverbrauch aus. Ältere, weniger gut gedämmte Gebäude sowie große Luftwechselraten weisen ein größeres Potential auf.

In der Nachtabstaltung wird die Umwälzpumpe ausgeschaltet und der Mischer ist zugefahren. Dadurch ist der Heizkreis vom Kesselkreis getrennt. Niedertemperatur- und Gleittemperaturkessel sind in der Nachtabstaltung ebenfalls ausgeschaltet. Zusätzlich zur Einsparung durch die Temperaturabsenkung werden weitere Einsparungen durch geringere Kesselbereitschaftsverluste und einen geringeren Pumpenstrombedarf erzielt. Sobald die Außenlufttemperatur unter einen vorgegebenen Wert fällt, wird auf die eingestellte, abgesenkte Heizkurve umgestellt, um eine zu starke Auskühlung zu vermeiden.

Beim Aufheizen nach der Absenkung bzw. Abschaltung soll die gewünschte Raumtemperatur innerhalb einer festgelegten Aufheizzeit erreicht werden. In guten Niedrigenergiehäusern besteht die Gefahr, dass die zur Verfügung stehende Heizleistung nicht ausreicht, um innerhalb einer akzeptablen Zeit die Solltemperatur im Gebäude zu erzielen.

Deswegen wird bei sehr niedrigen Außentemperaturen die Vorlauftemperatur nicht abgesenkt, da dann keine Heizleistungsreserve zur Aufheizung vorhanden wäre. Während der Aufheizphase sollte die Lüftung (sowohl Fensterlüftung als auch mechanische Lüftung) soweit wie möglich reduziert werden, damit die erforderliche Heizleistung so niedrig wie möglich ist.

Daneben wird in der Praxis die Aufheizung auch dadurch ermöglicht, indem die Heizflächen und der Wärmeerzeuger überdimensioniert werden. Dies wirkt sich allerdings nachteilig auf die Hydraulik im Heizsystem aus, weil im normalen Betrieb die Anlage nicht bedarfsgerecht ausgelegt ist.

Im Hinblick auf die Nahwärmeversorgung mit Geowärme ist eine Nachtabenkung oder Nachtabstaltung nur bedingt möglich. In der Regel sind keine Aufheizreserven vorgesehen, sodass unter einer festgelegten Außentemperatur auf die Heizunterbrechung verzichtet werden sollte.

Für den Fall, dass auf eine Nachtabenkung verzichtet wird, ist nur mit einer dynamischen Gebäudesimulation zu bewerten, ob das Gebäude mit einer niedrigeren Vorlauftemperatur beheizt werden kann. Eine dynamische Gebäudesimulation kann die Wärmespeicherfähigkeit schwerer Gebäude ausreichend berücksichtigen.

Heizkörper mit Vorlauftemperaturregelung

Das Ziel soll eine möglichst große Abnahme der Geowärme sein. Durch Heizsysteme mit möglichst niedriger Vor- und Rücklauftemperatur soll dies u. a. erreicht werden.

In der witterungsgeführten Regelung wird eine bedarfsgerechte Beheizung mit Heizkörpern entweder durch eine Massenstromregelung mit Thermostatventilen oder durch eine Vorlauftemperaturregelung oder eine Kombination realisiert. Die Vorlauftemperaturregelung ermöglicht, dass im Heizkreis die Vorlauftemperatur abhängig von der Außentemperatur geregelt wird. Es kommen keine Thermostatventile an den Heizkörpern zum Einsatz, denn diese würden sonst den Massenstrom regeln.

Für Außentemperaturen, die über der Auslegungstemperatur (-12°C Normaußentemperatur in Landau) der Wärmeversorgung liegen, wird nicht die Vorlauftemperatur des Heizsystems im Auslegungsfall (z. B. 55°C) benötigt. Es reicht eine niedrigere Vorlauftemperatur zur Beheizung des Gebäudes aus. Mit der Vorlauftemperaturregelung kann im Jahr überwiegend eine niedrigere Vorlauftemperatur ausreichen. Allerdings ist an den kältesten Tagen im Jahr die maximale Vorlauftemperatur notwendig. Damit die vollständige Wärmeversorgung in der Spitzenlast durch die Geowärme gewährleistet werden kann, sind die Vorlauftemperaturen im Auslegungsfalle einzuhalten. Die Anzahl der an den Nahwärmeverbund angeschlossenen Wärmeabnehmer wird durch die Heizlast bestimmt, um die Versorgungssicherheit zu gewähren.

Wärmeversorgung im Nahwärmeverbund unter Beachtung des Temperaturgefälles

Damit im Wärmeverbund möglichst viel Geowärme abgesetzt werden kann, wäre eine Anbindung der Wärmeabnehmer in Form von „kleinen“ Wärmenetzen entsprechend dem Temperaturgefälle der erforderlichen Vor- und Rücklauftemperatur optimal. Dazu wären die Abnehmer, die ein höheres Temperaturniveau benötigen, in einer Reihenschaltung zuerst an die Geowärmeversorgung angeschlossen. Die räumliche Lage der Wärmenetze als Wärmeabnehmer zum Standort der Geowärmeeinspeisung ist außerdem zu berücksichtigen. So wäre den zu bildenden Teilgebieten eine zur Verfügung stehende Vor- und Rücklauftemperatur zuzuordnen.

Wenn die Vorlauftemperatur in Teilgebieten nicht mehr zur Wärmeversorgung ausreicht, könnte Kalte Nahwärme mit einer Vorlauftemperatur unter etwa 35°C zum Einsatz kommen. Dazu wären bei den einzelnen Abnehmern Wärmepumpen notwendig, um die notwendige Vorlauftemperatur im Heizsystem zu erreichen.

In der Wärmeversorgung von Wohngebäuden ist die Trinkwassererwärmung zu beachten, die ein höheres Temperaturniveau benötigt als zur Raumheizung.

6 Zusammenfassung

Es wurde untersucht, wie die noch vorhandene Abwärme aus dem Geothermiekraftwerk in Landau für das Wohn- und Gewerbemischgebiet Estienne et Foch genutzt werden kann. Dabei lag das Hauptinteresse bei einer möglichst niedrig temperierten Vorlauftemperatur, für die die wirtschaftlichste und logistisch sinnvollste Art des Wärmeverteilsystems herausgestellt werden sollte.

Für die Neubauten im Neubaugebiet empfiehlt sich der Einsatz einer Fußbodenheizung oder anderer Niedertemperaturheizsysteme.

Der Schwerpunkt der Untersuchung bezog sich auf den zu sanierenden Altbaubestand. Exemplarisch für das Mannschaftsgebäude 50 wurden die Wärmeverteilsysteme Wandheizung, Fußbodenheizung und Radiatorenheizung gegenübergestellt und auf ihre Wirtschaftlichkeit hin analysiert.

Das Ziel einer möglichst niedrigen Vorlauftemperatur von 35 °C kann bei dem errechneten Wärmebedarf nach der Sanierung des Gebäudes sowohl mit einer Wandheizung als auch mit einer Fußbodenheizung realisiert werden. Im Falle der Fußbodenheizung kommt dann aber nur ein Fliesenbelag oder ein Bodenbelag mit vergleichbarer Wärmeleitfähigkeit in Frage. Wird hingegen eine Wandheizung eingebaut, spielt die Wahl des Bodenbelags keine Rolle.

Eine Option für eine möglichst niedrige Vorlauftemperaturnutzung könnten auch Kapillarrohrsysteme darstellen, die sogar mit Vorlauftemperaturen < 35 °C auskommen. Die Investitionskosten hierfür sind aber sehr hoch und sie können aufgrund von möglichen Ablagerungen in den engen Rohrleitungen störanfällig sein. Die Vor- und Nachteile dieses Systems sind daher sehr sorgfältig abzuwägen.

Bei der Wandheizung wurden zwei Varianten untersucht, eine mit einer Vorlauftemperatur von 35 °C, die andere mit einem Vorlauf von 45 °C. Dabei stellte sich heraus, dass für die niedertemperiertere Variante die doppelte Wandfläche benötigt wird und sich somit auch die Investitionskosten auf ca. das Doppelte belaufen im Vergleich zu der Variante mit 45 °C Vorlauftemperatur.

Allerdings muss das Gebäude ohnehin saniert werden und die notwendige Wärmedämmung aufgrund des Denkmalschutzes auf der Innenseite der Außenwände aufgebracht werden, so dass die Außenwandflächen ohnehin ganzflächig bearbeitet werden, auch wenn nur ca. die Hälfte der Fläche mit Wandheizungsregistern bestückt wird.

Die Nutzung der Geowärme wurde mit einer Vorlauftemperatur von 45 °C auch für Fußbodenheizungen analysiert. In Altbauten sind häufig Holzdecken zu finden, für die sich nur trockenverlegte Fußbodenheizungen in Leichtbauweise eignen. Übliche nassverlegte Fußbodenheizungen mit Estrichabdeckung können hier aus statischen Gründen nicht eingesetzt werden. In der vorliegenden Analyse wurden beide Systeme gegenübergestellt. Trocken verlegte Systeme sind deutlich teurer als nass verlegte. Im

vorliegenden Fall liegen deren Investitionskosten noch klar über denen der nieder-temperierten Wandheizung. Falls eine nassverlegte Fußbodenheizung realisiert werden kann, liegt sie bei gleicher Vorlauftemperatur preislich noch um ca. 71 % höher als die Wandheizung.

Als Variante mit einer Vorlauftemperatur von 55 °C wurden auch Radiatorenheizkörper analysiert. Im Vergleich zu den anderen Varianten muss hier jedoch mit einer vergleichsweise hohen Vorlauftemperatur gefahren werden. Das steht dem ursprünglichen Ziel entgegen, mit niedertemperierten Vorlauftemperaturen ein möglichst großes Gebiet mit Wärme versorgen zu können.

Um den benötigten Wärmebedarf mit einer Vorlauftemperatur von 55 °C abzudecken, müssen 3-reihige Radiatorenheizkörper installiert werden. Wirtschaftlich betrachtet liegen sie in der vorliegenden Analyse zwar an zweiter Stelle, jedoch betragen die Investitionskosten noch immer ca. 41 % mehr als die der Wandheizung mit 45 °C Vorlauftemperatur.

Für ein Heizsystem mit 60/50 °C wären 2-reihige Radiatoren notwendig, die um etwa 15 % niedrigere Investitionskosten aufweisen.

Anhand der Ergebnisse erscheint die Installation einer Wandheizung mit einer Vorlauftemperatur von 45 °C als die logistisch und wirtschaftlich sinnvollste Variante.

Teil II – Trinkwassererwärmung

1 Ausgangssituation

Durch den Anschluss an ein Nahwärmenetz wird ein eigener Heizkessel im Gebäude überflüssig. Dadurch entfällt jedoch auch ein eigener Trinkwarmwasserspeicher für das Trinkwarmwasser. Nach Empfehlung des DVGW sollte bei Großanlagen eine Trinkwarmwassertemperatur im Leitungsnetz von mindestens 60 °C eingehalten werden, um der Gefahr einer übermäßigen Vermehrung von Krankheitserregern vorzubeugen.

Mit der in Geothermiekraftwerken in großen Mengen anfallenden Abwärme können Wohngebiete günstig mit Wärmeenergie versorgt werden. Je niedriger die Vorlauftemperaturen in den einzelnen Gebäuden sind, umso größer ist das Gebiet, das mit Geowärme versorgt werden kann. Da dies auch für die Trinkwarmwassertemperatur gilt, ergeben sich besondere hygienische Anforderungen an die Warmwasserbereitung.

1.1 Legionellen

Eine der bedeutendsten Krankheitserreger im Trinkwasser sind Legionellen. Dabei handelt es sich um Bakterien, von denen alle derzeit 48 bekannten Spezies als potentiell humanpathogen gelten. Die Infektion erfolgt z.B. beim Duschen, indem Legionellen über Aerosole (kleinste Wassertröpfchen < 5 µm Durchmesser) in die Lunge gelangen.

Legionellen können die „Legionärskrankheit“, eine schwere Form von Lungenentzündung, verursachen, die im schlimmsten Fall tödlich verläuft. Im milderen Fall kann eine Legionelleninfektion das „Pontiak-Fieber“ hervorrufen, das mit grippeähnlichen Symptomen einhergeht.

Ab einer Legionellenkonzentration von ≥ 100 kolonienbildenden Einheiten je 100 ml gilt Trinkwasser als kontaminiert. Legionellen vermehren sich besonders stark bei Wassertemperaturen zwischen 30-45 °C und in stagnierendem Wasser. Bei Temperaturen zwischen 60-65 °C werden Legionellen abgetötet.

Trinkwasser, welches mit niedrigeren Temperaturen als 60 °C bereitgestellt wird, stellt daher besondere Anforderungen an die Wasserhygiene.

1.2 Gesetzliche Vorgaben und sonstige Empfehlungen

Maßgebendes Regelwerk für die Qualität von Trinkwasser ist die Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung - TrinkwV 2001). Weitere wichtige Normen und Empfehlungen zur Trinkwasserbereitstellung finden sich in Arbeitsblättern der Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfachs (DVGW) (z.B. W 551 der „Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen, Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums, Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen“), VDI-Normen (z.B. 6023 „Hygiene in Trinkwasserinstallationen – Anforderungen an Planung, Ausführung, Betrieb und Instandhaltung“) und DIN-Normen.

2 Trinkwasserhygiene

Grundsätzlich sollten bei Trinkwasserinstallationen bestimmte Anforderungen eingehalten werden, um übermäßigem Legionellenwachstum vorzubeugen. Die Leitungswege sollten möglichst kurz gehalten und Totleitungen (z.B. zu Entlüftungsvorrichtungen) vermieden werden. Es empfiehlt sich, selten genutzte Rohrleitungen stillzulegen, da Legionellen sich in stagnierendem Wasser besonders gut vermehren.

Im DVGW Arbeitsblatt W 551 „Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen, Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums, Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen“ wird ein maximaler Leitungsinhalt von 3 Litern zwischen dem Trinkwassererwärmer und der Entnahmestelle gefordert. Tab. 2-1 zeigt die Rohrvolumina von Kupferrohren für unterschiedliche Durchmesser auf, und gibt an, ab welcher Rohrlänge jeweils die als Obergrenze anzusehenden 3 Liter Inhalt erreicht werden.

Tab. 2-1: Volumina von Kupferrohren

Rohrabmessung	Rohrinhalt/Meter	Rohrlänge/Liter Inhalt	3 Liter Rohrinhalt entspr. einer Rohrlänge von...
[mm]	[l/m]	[m/l]	[m]
10 x 1,0	0,050	19,89	59,68
12 x 1,0	0,079	12,73	38,20
15 x 1,0	0,133	7,53	22,60
18 x 1,0	0,201	4,97	14,92
22 x 1,0	0,314	3,18	9,55
28 x 1,0	0,531	1,88	5,65
28 x 1,5	0,491	2,04	6,11
35 x 1,5	0,804	1,24	3,73

Bei Inhalten >3 l wird eine selbstregelnde Begleitheizung oder die Installation eines Zirkulationssystems mit einer Rücklauftemperatur < 5 K gegenüber der Vorlauftemperatur empfohlen. Aus unserer Sicht sind Zirkulationsleitungen aber aufgrund der ständigen Energieverluste im System und dem damit verbundenen erhöhten Energieverbrauch abzulehnen und stattdessen alternative Möglichkeiten zu bevorzugen.

Es wird unterschieden in Klein- und Großanlagen. Kleinanlagen sind Anlagen mit Speicher-Trinkwassererwärmern oder zentralen Durchfluss-Trinkwassererwärmern in Ein- und Zweifamilienhäusern oder Anlagen deren Inhalt ≤ 400 l beträgt und deren Rohrleitung ≤ 3 l zwischen Trinkwassererwärmer und Entnahmestelle beinhaltet.

Großanlagen sind Anlagen mit Trinkwassererwärmern > 400 l Inhalt **und/oder** Rohrleitungsinhalten > 3 l zwischen Trinkwassererwärmer und Entnahmestelle. Gemäß der

Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001) § 3 (1)b sind Wasserversorgungsanlagen auch Anlagen der Hausinstallation.

Demnach fällt das Mannschaftsgebäude 50 unter die Kategorie „Großanlage“, wenn bei zentraler Trinkwassererwärmung zwischen dem Wassererwärmer und der Entnahmestelle >3 Liter in der Rohrleitung verbleiben, selbst wenn das Volumen des Warmwasserspeichers < 400 l beträgt.

3 Trinkwarmwasser(auf)bereitung

Für die Trinkwarmwasser(auf)bereitung bestehen verschiedene Möglichkeiten.

3.1 Chemische Desinfektion

Bei der chemischen Desinfektion von Trinkwasser müssen die Grenzwerte der gültigen Trinkwasserverordnung eingehalten werden. Für die Hausinstallation ist ein weiterer kontinuierlicher Zusatz von desinfizierenden Chemikalien abzulehnen, da dies dem Minimierungsvorsatz in der Trinkwasserverordnung widerspricht. Zudem wird hierdurch eine kontinuierliche Kontrolle des entnommenen Trinkwassers notwendig, um zu gewährleisten, dass die vom Wasserwerk einzuhaltenden Grenzwerte bei einer weiteren Chemikalienzugabe in der Hausinstallation nicht nachträglich überschritten werden.

Dem DVGW Arbeitsblatt W 551 zufolge werden Legionellen nach aktuellem Kenntnisstand durch eine kontinuierliche Zugabe von Chemikalien nicht ausreichend beseitigt, so dass dies als nicht zweckmäßig angesehen wird. Lediglich im Sanierungsfall wird zu diskontinuierlichen Zugaben hochkonzentrierter Chemikalien wie etwa Chlorbleichlauge mit mind. 10 mg/l freiem Chlor geraten.

3.2 Zentrale Trinkwassererwärmung

Im Folgenden werden zentrale Systeme zur zentralen Trinkwassererwärmung vorgestellt.

3.2.1 UV-Desinfektion

Die UV-Desinfektion macht sich den natürlichen Effekt zunutze, dass UV-Licht innerhalb von Sekunden Mikroorganismen abtöten kann. Spezielle UV-Strahler sind in Quarzrohren wasserdicht installiert, an denen das zu desinfizierende Wasser vorbeigeleitet wird. Die Bestrahlung verändert die DNA der Mikroorganismen, so dass diese sich nicht mehr vermehren können.



Abb. 3-1: UV-Desinfektionsanlage (Quelle: Wedeco)

Neben reinen UV-Desinfektionsanlagen sind auch kombinierte Verfahren aus Ultraschall und UV-Bestrahlung erhältlich. Dabei brechen die Ultraschallwellen zunächst die Amöben (=Wirtsorganismen der Legionellen) auf, so dass die Legionellen freigesetzt, und im zweiten Schritt durch die UV-Bestrahlung unschädlich gemacht werden. Der Vorteil von UV-Desinfektion liegt darin, dass die Desinfektion des Trinkwassers ohne Zugabe von Chemikalien erfolgt. Im Gegensatz zu der chemischen Trinkwasserbehandlung kann es bei der physikalischen Behandlung nicht zu Überdosierungen oder unerwünschten Reaktionsprodukten kommen. Jedoch ist zu beachten, dass durch die UV-Bestrahlung im Wasser vorhandenes Nitrat in Nitrit umgewandelt wird. Die Nitritmenge ist abhängig von der Nitratkonzentration im Trinkwasser sowie der Bestrahlungsdosis und der Wellenlänge. Die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung sind auch hier einzuhalten.

Die UV-Desinfektion wird am sinnvollsten im Anschluss an den zentralen Warmwasserspeicher eingesetzt, so dass das Wasser am Austritt den Hygieneanforderungen entspricht. Der Nachteil der UV-Bestrahlung ist aber, dass hierbei keine desinfizierende Wirkung im Rohrnetz erzielt wird. An den Innenwänden der Trinkwasserleitungen bildet sich im Laufe der Zeit ein Biofilm, wodurch das zuvor durch UV-Bestrahlung desinfizierte Wasser in den Rohrleitungen wieder kontaminiert werden kann.

Bei übermäßigem Legionellenbefall wird daher eine zusätzliche Desinfektion des Rohrleitungssystems notwendig. Diese kann entweder thermisch bei Temperaturen > 70 °C erfolgen oder durch kurzfristige Gaben hochkonzentrierter geeigneter Chemikalien.

3.2.2 Thermische Desinfektion

Grundsätzlich besteht technisch die Möglichkeit, im Anschluss an die Wärmeübergabestation einen Warmwasserspeicher zentral im Gebäude zu installieren, und den Warmwasserbedarf darüber abzudecken. Aufgrund der Legionellenproblematik ist ein Warmwasserspeicher mit Trinkwassertemperaturen um 45-40 °C aber als hygienisch bedenklich einzustufen und daher nicht zu empfehlen.

Seitens der DVGW wird für Trinkwassererwärmung bei Fernwärmeversorgung eine Austrittstemperatur am Trinkwarmwassererwärmer von 60 °C gefordert. Aufgrund der bewusst niedrig gehaltenen Vorlauftemperatur ist dies im vorliegenden Fall jedoch nicht gewünscht.

Zentrale Trinkwarmwasserspeicher, in denen Trinkwasser mit einer Temperatur <60 °C bereitgehalten wird, sollten daher mit einer „Legionellenschaltung“ ausgestattet sein. D.h. der Speicherinhalt wird 1x täglich auf ≥60 °C aufgeheizt. Dazu wird für den Warmwasserspeicher ein Elektroheizeinsatz (Heizstab) benötigt, dessen Betrieb wiederum elektrische Energie erfordert und dadurch zusätzliche Kosten verursacht.



Abb. 3-2: Zentraler Wärmetauscher

Ähnlich wie bei der UV-Bestrahlung gilt aber auch hier, dass das potentielle Risiko besteht, das Wasser durch mikrobielle Ablagerungen in den Rohrleitungen erneut zu kontaminieren, da diese aufgrund der geringen Warmwassertemperaturen nie auf die als hygienisch unbedenklich geltenden 60 °C aufgeheizt werden.

Es empfiehlt sich daher, das Trinkwarmwasser in periodischen Abständen auf die Konzentration möglicher Krankheitserreger untersuchen zu lassen.

3.3 Dezentrale Trinkwassererwärmung

Im Folgenden werden dezentrale Systeme vorgestellt.

3.3.1 Heizvorlauf-Wärmetauschersysteme

Das System funktioniert über einen in jeder Wohnung installierten Wärmetauscher, der seine Wärmeenergie für das zu erwärmende Trinkwasser aus dem Heizungsvorlauf bezieht. Dabei wird das Trinkwasser auf die eingestellte Solltemperatur des Thermostaten erwärmt. Eine Erwärmung des Wassers erfolgt ausschließlich bei Entnahme, so dass sich keine pathogenen Keime vermehren können.

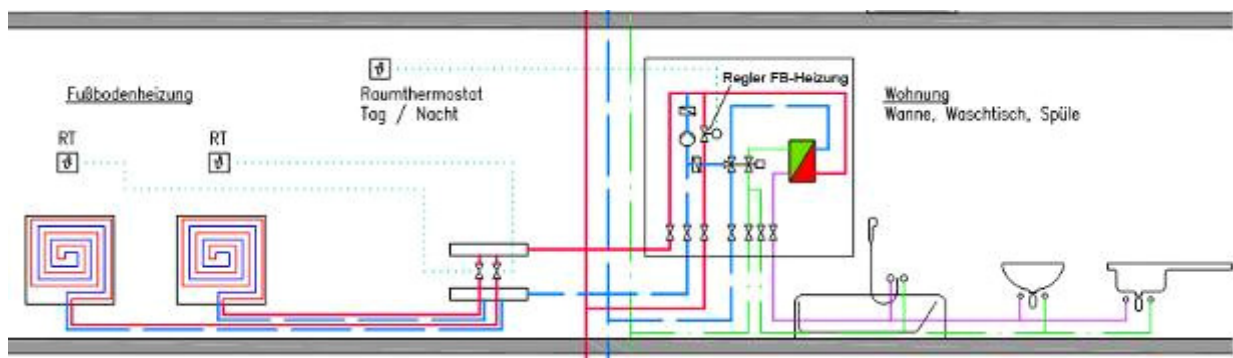


Abb. 3-3: Fließbild Heizvorlauf-Wärmetauscher am Beispiel Fußbodenheizung
(verändert nach techplan-behm.de)

Voraussetzung für dieses System ist eine ausreichend hohe Vorlauftemperatur. Aufgrund der Energieverluste sollte von einer Differenz zwischen Heizungsvorlauf- und Trinkwarmwassertemperatur von ca. 5 K ausgegangen werden. Mit einer Heizungsvorlauftemperatur von 45 °C lässt sich demnach eine Warmwassertemperatur von 40 °C problemlos erreichen.

Bei einer nur mit 35 °C Vorlauf betriebenen Wandheizung kann dieses System ebenfalls eingesetzt werden. Auch dann muss jedoch hausintern eine Vorlauftemperatur von 45 °C bis zu den einzelnen Etagen bereitgestellt werden. In der Wohnung selbst erfolgt dann die Trinkwassererwärmung wie oben genannt über den Wärmetauscher, welcher das Wasser auf 40 °C erwärmt. Anschließend wird die Heizungsvorlauftemperatur über einen Mischer weiter heruntergefahren.

Gegenüber den zuvor genannten Systemen bietet dieses System eine Reihe von Vorteilen. Die Abwärme aus dem Geothermiekraftwerk wird optimal ausgenutzt, es wird kein elektrischer Strom benötigt und auch ein Warmwasserspeicher ist überflüssig.

Anders als bei der zuvor beschriebenen UV-Desinfektion und der thermischen Desinfektion werden hier die Rohrleitungswege für das niedrig temperierte Warmwasser auf ein absolutes Minimum reduziert, so dass auch die Wegstrecken für eine potentielle

Kontamination so kurz wie möglich sind, wodurch eine Ansammlung von Mikroorganismen in pathogener Konzentration unwahrscheinlich wird.

Ein weiterer Vorteil ist die verbrauchsabhängige Abrechnung der einzelnen Abnehmer über einen eigenen Wärmemengenzähler.

3.3.2 Alternative: elektrischer Durchlauf-Erhitzer

Als Alternative ist auch ein konventioneller Durchlauferhitzer denkbar. Bei Bedarf wird die benötigte Menge Warmwasser mit elektrischer Energie erwärmt. Es sind auch Durchlauferhitzer erhältlich, die auf niedrige Temperaturen voreingestellt werden können.



Abb. 3-4: einfacher elektronischer Durchlauferhitzer (Quelle: Stiebel-Eltron)

Der Nachteil von Durchlauferhitzern besteht aber darin, dass das Trinkwarmwasser ausschließlich mit elektrischem Strom betrieben wird. Zur Erzeugung des elektrischen Stroms muss in Kraftwerken fast die 3-fache Menge an Primärenergie eingesetzt werden, wie an elektrischer Energie beim Verbraucher ankommt. Daher ist diese Variante energetisch sehr bedenklich.

4 Wirtschaftlichkeit

Für die vorgestellten Systeme wird eine Wirtschaftlichkeitsberechnung durchgeführt. Bei der zentralen Trinkwassererwärmung wurde mit auf 45 °C zu erwärmendem Wasser kalkuliert, da zwischen der zentralen Trinkwassererwärmung und der Entnahmestelle mit Wärmeverlusten gerechnet werden muss. Die Austrittstemperatur sollte aber in jedem Fall 40 °C betragen. Bei der dezentralen Trinkwassererwärmung wurde eine Erwärmung auf 40 °C angesetzt, da die Wärmeverluste aufgrund der kurzen Leitungswege vernachlässigbar sind. Hierdurch ergeben sich für die Varianten unterschiedliche Warmwassergestehungskosten.

4.1 UV-Desinfektion

UV-Geräte sollten auf keinen Fall zu klein ausgelegt werden, da auch bei kurzfristigen Spitzen eine hinreichende Desinfektion des Trinkwarmwassers gegeben sein muss. Falls in einem Extremfall z.B. 10 l/Min gleichzeitig in jeder der 6 angenommenen Wohnungen entnommen werden, müsste das UV-Desinfektionsgerät im vorliegenden Fall eine DVGW-zertifizierte Durchflussleistung von 3,6 m³/h erreichen können. Ein Gerät, welches auch bei Vorlauftemperaturen von 40-45 °C DVGW-zertifiziert bis zu 3,7 m³/h bereitstellt, ist für Anschaffungskosten in Höhe von ca. 3.000 € zzgl. MwSt. auf dem Markt erhältlich. Abhängig vom Hersteller sind auch größere Geräte bereits in derselben Preisklasse verfügbar.

Nach ca. 1 Jahr Betriebsdauer muss der UV-Strahler ausgetauscht werden, so dass hierfür jährlich Investitionskosten von ca. 210 € zzgl. MwSt. hinzukommen. Der Stromverbrauch für den Betrieb eines kontinuierlich betriebenen Gerätes mit einer Anschlussleistung von 105 W_{el} beläuft sich bei einem angenommenen Strompreis von 15 Ct/kWh_{el} auf ca. 138 €/a zzgl. MwSt.. Das Gerät muss kontinuierlich betrieben werden, da der ausgeschaltete Strahler eine mehrminütige Anlaufzeit benötigen würde, in der keine ausreichende Desinfektion stattfindet.

Für diese Variante wird zusätzlich ein Warmwasserspeicher benötigt. Dieser wird für den vorausgesetzten Warmwasserbedarf von 900 l/d für das Mannschaftsgebäude 50 mit ca. 300 l Fassungsvermögen ausgelegt. Inklusive Zubehör sind hierfür ca. 1.200 € zzgl. MwSt. zu veranschlagen.

Bei einem angenommenen Wärmepreis im Nahwärmenetz von 6 Ct/kWh zzgl. MwSt. und einem Warmwasserbedarf von ca. 328,5 m³/a betragen die spezifischen Kosten für die Trinkwassererwärmung ca. 0,203 Ct/l. Somit sind noch Nahwärmekosten in Höhe von ca. 800 €/a zu addieren.

4.2 Thermische Desinfektion

Ein Trinkwarmwasserspeicher mit einem Fassungsvermögen von 300 Litern und einer Elektro-Heizstabileistung von 6 kW_{el} ist auf dem Markt für ca. 1.600 € zzgl. MwSt. erhältlich.

Das einmalige Aufheizen des Speicherinhalts von 45 auf 62°C benötigt ca. 5,92 kWh_{el}. Bei einem Strompreis von 15 Ct/kWh_{el} zzgl. MwSt. betragen die jährlichen Stromkosten für die Legionellenschaltung ca. 324 €/a MwSt.

Wie auch bei der UV-Desinfektion addieren sich bei dieser Variante der zentralen Trinkwassererwärmung noch Kosten für die Erwärmung in Höhe von ca. 800 €/a.

4.3 Dezentrale Trinkwassererwärmung

Pro Wohneinheit ist ein Wärmetauscher mit einer Leistung von $18 \text{ kW}_{\text{th}}$ ausreichend. Der Marktpreis für einen dezentralen Wärmetauscher beträgt ca. 900 € zzgl. MwSt.. Bei einem Heizungsvorlauf von 45°C werden maximal ca. 8,6 l/min Warmwasser mit einer Temperatur von 40°C bereitgestellt.

Exemplarisch für das Mannschaftsgebäude 50 mit 3 Etagen à 2 Wohnungen ergeben sich somit Investitionskosten für die Trinkwassererwärmungsanlage in Höhe von ca. 5.400 € zzgl. MwSt. und Installation.

Für die Erwärmung des Trinkwassers auf 40°C addieren sich bei dem Warmwasserbedarf von ca. $328,5 \text{ m}^3/\text{a}$ noch Warmwassergestehungskosten in Höhe von ca. 686 €/a.

Bei diesem System ergeben sich keine Folgekosten für elektrischen Strom.

4.4 Alternative: Durchlauf-Erhitzer

Einfache hydraulische Durchlauferhitzer mit einer Leistung von 18 kW sind auf dem Markt ab ca. 230 € zzgl. MwSt. erhältlich. Zusätzlich zu den Investitionskosten je Wohnung addieren sich hier jedoch Stromkosten.

Bei einem durchschnittlichen Stromverbrauch von ca. $34,8 \text{ Wh}_{\text{el}}/\text{l}$ Warmwasser und einem Strompreis von 15 Ct/kWh_{el} zzgl. MwSt. ergeben sich für einen 2,5-Personen-Haushalt mit einem durchschnittlichen Warmwasserverbrauch von 54.750 l/a Stromkosten in Höhe von ca. 286 €/a zzgl. MwSt..

Für das Mannschaftsgebäude 50 belaufen sich die Stromkosten für die Warmwasserbereitung mit Durchlauferhitzern bei 6 Wohnungen auf insgesamt ca. 1.715 €/a zzgl. MwSt..

4.5 Wirtschaftlichkeitsvergleich

Die Investitions-, Kapital-, und Betriebskosten sowie die sich daraus ergebenden Jahresgesamtkosten und die spezifischen Kosten für die Trinkwarmwasser(auf)bereitung der einzelnen Systeme sind in Tab. 4-1 gegenübergestellt. Es sind Netto-Kosten angegeben.

Tab. 4-1: Investitions- und Betriebskosten der Trinkwarmwasser(auf)bereitungssysteme im Vergleich, exemplarisch für Mannschaftsgebäude 50

		UV- Desinfektion	Thermische Desinfektion	Heizvorlauf- Wärmetau- scher	Elektrischer Durchlauf- erhitzer
		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
		zentraler Trinkwarmwasser- speicher		dezentrale Trinkwasser- erwärmung	
Investitionskosten inkl. Montage	€	4.800	1.840	6.200	1.590
Kapitalkosten	€/a	428	131	498	153
Betriebskosten					
Strahleraus- tausch	€/a	210	0	0	0
Elektrischer Strom	€/a	138	324	0	1.715
Nahwärme	€/a	800	800	686	0
Jahresgesamt- kosten	€/a	1.576	1.255	1.184	1.868
Spezifische Kos- ten je Liter Trink- warmwasser	Ct/l	0,48	0,38	0,36	0,57

Für die einzelnen Systeme gelten unterschiedliche Abschreibungszeiträume. In Anlehnung an die Bestimmungen der VDI 2067 bzgl. Wasseraufbereitungsanlagen wurde für die UV-Desinfektionsanlage eine Abschreibungsdauer von 15 Jahren angesetzt, während Durchlauferhitzer nach VDI 2067 mit 20 Jahren und Trinkwarmwasserspeicher mit 25 Jahren Abschreibungsdauer kalkuliert werden.

Die spezifischen Kosten für die Trinkwarmwasser(auf)bereitung beziehen sich auf den exemplarisch angenommenen Warmwasserverbrauch des Mannschaftsgebäudes 50 von insgesamt 328,5 m³/a (6 Wohnungen à Ø 2,5 Personen mit einem Warmwasserverbrauch von 60 l/d pro Person).

Im direkten Vergleich der Trinkwarmwasser(auf)bereitungssysteme werden deutliche Unterschiede hinsichtlich der spezifischen Kosten sichtbar.

Während die Investition in elektronische Durchlauferhitzer mit insgesamt 1.590 € zzgl. MwSt. auf den ersten Blick vergleichsweise günstig erscheint, schlagen die Betriebskosten für elektrischen Strom so massiv zu Buche, dass dieses System mit Abstand am schlechtesten abschneidet. Die spezifischen Bereitstellungskosten je Liter Warmwasser betragen 0,57 Ct/l zzgl. MwSt. und liegen damit je nach Variante zwischen 18 und 58 % höher als die anderen untersuchten Optionen.

Für die UV-Behandlung des Trinkwarmwassers wird ebenfalls ein Warmwasserspeicher benötigt, so dass die Investitionskosten mit 4.800 € zzgl. MwSt. relativ hoch liegen. Hinzu kommen die Betriebskosten für elektrischen Strom, die Wärme aus dem Nahwärmenetz und den jährlichen Strahleraustausch in Höhe von 1.148 €/a zzgl. MwSt.. Insgesamt belaufen sich die spezifischen Kosten für die Trinkwarmwasseraufbereitung auf 0,48 Ct/l zzgl. MwSt..

Für die Variante der thermischen Desinfektion betragen die Investitionskosten für den Warmwasserspeicher mit Elektro-Heizeinsatz inkl. Montage ca. 1.840 € zzgl. MwSt. und liegen somit deutlich günstiger als die Variante der UV-Desinfektion. Die Kosten für die Wassererwärmung über Nahwärme sind mit Variante 1 identisch. Die Kosten für elektrischen Strom liegen aber höher, und betragen bei einer täglich einmaligen Aufheizung des Speicherinhalts von 45°C auf 62°C 324 €/a zzgl. MwSt.. Der spezifische Preis für die Trinkwassererwärmung liegt bei 0,38 Ct/l zzgl. MwSt., und ist somit insgesamt ca 20 % günstiger als die UV-Bestrahlung.

Als die günstigste Variante stellt sich jedoch die dezentrale Trinkwassererwärmung mit 0,36 Ct/l zzgl. MwSt. dar. Zu den Investitionskosten in Höhe von insgesamt ca. 6.200 € zzgl. MwSt. für 6 Wohnungen addieren sich lediglich die Kosten für die Wassererwärmung über Nahwärme in Höhe von 686 €/a. Sonst fallen keinerlei Betriebskosten an, da das System ohne elektrischen Strom auskommt.

5 Zusammenfassung und Bewertung

Das System der dezentralen Trinkwassererwärmung mit separaten Wärmetauschern für jede Wohnung stellt sich energetisch und hygienisch als die vorteilhafteste Variante dar. Auch wirtschaftlich liegt es an der Spitze. Es kommt ohne zusätzlichen Strom aus, nutzt die vorhandene Abwärme aus dem Geothermiekraftwerk optimal, und ist trotz der geringen Warmwassertemperatur von nur 40 °C als hygienisch unbedenklich zu bezeichnen, da die Leitungswege von dem Trinkwassererwärmer bis zur entlegensten Entnahmestelle auf diese Weise so kurz wie möglich gehalten werden, und die geforderten < 3 l Leitungsinhalt problemlos eingehalten werden können.

Die thermische Desinfektion mit einem zentralen Trinkwassererwärmer mit Legionellenschaltung ist ebenfalls kostengünstig. Jedoch muss hier für die tägliche Legionellenschaltung noch elektrischer Strom eingesetzt werden. Der benötigte Strom ist zwar im Vergleich zu der Durchlauferhitzer-Variante deutlich geringer, aber die reine Geowärmenutzung über dezentrale Heizungsvorlaufwärmetauscher ist energiesparender und somit umweltfreundlicher. Wesentlicher Nachteil der Variante ist das Risiko der schleichenden Kontamination mit Legionellen und anderen Krankheitserregern in den langen Rohrleitungswegen, da die Leitungen im Normalfall nie hinreichend aufgeheizt werden.

Die UV-Desinfektion ist vergleichsweise teuer, und birgt wie auch die zentrale Warmwassererwärmung mit Legionellenschaltung das Risiko einer anschließenden Kontamination des Trinkwarmwassers in den Rohrleitungen.

Der Betrieb von zentralen Trinkwassererwärmern wird bei den gegebenen niedrigen Temperaturen daher nicht empfohlen.

Elektronische Durchlauferhitzer machen sowohl wirtschaftlich als auch aus Sicht des Energiesparens keinen Sinn und sind demnach ebenfalls nicht zu empfehlen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Variante der dezentralen Warmwassererwärmung über an den Heizungsvorlauf angeschlossene Wärmetauscher aus unserer Sicht favorisiert werden sollte.