

Teil 1: Einteilung, Anforderungen und technische Maßnahmen

Trinkwassererwärmungsanlagen

Robert Kremer*
Dieter Waider**

Dieser mehrteilige Fachbeitrag gibt einen umfassenden Überblick über die Thematik Trinkwassererwärmungsanlagen. Zentrale Themen sind die Einteilung der Anlagen nach Bauart und Funktion, hygienische Anforderungen, technische Lösungsvorschläge, Solar- und Sicherheitstechnik sowie Bedarfsermittlung, Anlagendimensionierung und Wartung. Maßstab ist dabei u. a. die neue Trinkwasserverordnung.

Bewertung von Untersuchungsergebnissen		Orientierende Untersuchung			Weitergehende Untersuchung	
Legionellen (KBE/ml) ¹	Bewertung	Maßnahmen	Weitergehende Untersuchung	Nachuntersuchung erforderlich	Maßnahmen	Nachuntersuchung
nicht nachweisbar In 1 ml	Keine nachweisbare Kontamination	Keine	Keine	nach 1 Jahr (nach 3 Jahren) ²	keine	nach einem Vierteljahr ³
>1	Kontamination	Keine	innerhalb von 14 Tagen	-	Sanierung ist erforderlich	1 Woche nach Desinfektion bzw. Sanierung
>10	Hohe Kontamination	Sanierung ist angezeigt	umgehend	-	unverzögliche Desinfektion bzw. Nutzungseinschränkung z.B. Duschverbot; Sanierung erforderlich	1 Woche nach Desinfektion bzw. Sanierung
>100	extrem hohe Kontamination	unverzögliche Desinfektion bzw. Nutzungseinschränkung z.B. Duschverbot; Sanierung erforderlich	umgehend	-	unverzögliche Desinfektion bzw. Nutzungseinschränkung z.B. Duschverbot; Sanierung erforderlich	1 Woche nach Desinfektion bzw. Sanierung

1) KBE = Kolonienbildende Einheit
2) Werden bei zwei Nachuntersuchungen im jährlichen Abstand Legionellen in einem Liter nicht nachgewiesen, kann das Untersuchungsintervall auf maximal 3 Jahre ausgedehnt werden
3) Werden bei zwei Nachuntersuchungen in vierteljährlichem Abstand Legionellen in einem Liter nicht nachgewiesen, braucht die nächste Nachuntersuchung erst nach einem Jahr vorgenommen zu werden. Weitere Nachuntersuchungen sind wie orientierende Untersuchungen durchzuführen.

Bild 1 Bewertung von Untersuchungsergebnissen und Maßnahmen

Die novellierte Trinkwasserverordnung, die am 1. 1. 2003 in Kraft tritt, besagt in § 4, daß Wasser für den menschlichen Gebrauch frei von Krankheitserregern, gebrauchstauglich und rein sein muß. Diese Anforderung gilt als erfüllt, wenn bei der Wasseraufbereitung und der Verteilung die allgemein anerkannten Regeln der Technik eingehalten werden. In § 5 und § 6 der neuen Trinkwasserverordnung sind diese allgemeinen Anforderungen näher ausgeführt. Danach darf Wasser für den menschlichen Gebrauch keine Krankheitserreger und keine Stoffe enthalten, die eine Gefährdung der Gesundheit erwarten lassen. Es genügt dabei nicht, daß das Wasser diese Eigenschaften nach dem

Verlassen des Wasserwerks erfüllt. Es muß vielmehr sichergestellt werden, daß auch noch an der Verwendungsstelle keine unzulässigen Konzentrationen von Krankheitserregern und chemischen Stoffen im Wasser enthalten sind.

Die Konsequenz daraus ist für Behörden, Gesundheitsämter, Planer, Hersteller und Betreiber eine besondere Sorgfaltspflicht bei der Auswahl der geeigneten Werkstoffe für Rohrleitungen, Geräte, Armaturen und Behälter. In öffentlichen Gebäuden ist die Überwachung und Prüfung der Trinkwasserqualität in den Verteilungsanlagen bis zur Zapfstelle anzustreben. Insbesondere muß das Eindringen fremder Stoffe, die Aufkonzentration von Korrosionsprodukten und das Aufkeimen von Legionellen in der Trinkwasser-Installation verhindert werden. Die Maßnahmen gegen das Eindringen gefährdender Stoffe und gegen die Aufkonzentration von Korrosionsprodukten sind in DIN 1988 und DIN 4753 festgelegt. Sie betreffen Werkstoffe, zulässige Stoffe in Wärmeträgern, Korrosionsschutzmaßnahmen in Abhängigkeit von Heizmitteldruck und die Bauartzulassung von geprüften Trinkwas-

sererwärmern. Die Maßnahmen zur Vermeidung des Legionellenwachstums sind in den DVGW-Arbeitsblättern W 551 und W 552 beschrieben und stellen inzwischen auch den anerkannten Stand der Technik dar.

Alle Anforderungen der Arbeitsblätter haben das Ziel, das Aufkeimen von Legionellen in Trinkwassererwärmungsanlagen zu verhindern und betreffen die Einhaltung der thermischen Bedingungen in Behältern und in der Trinkwasser-Installation, die Vermeidung von Stagnation, Werkstoffe und Oberflächen, sowie detaillierte Anforderungen, z. B. für Wartungs- und Reinigungsöffnungen an Speicher-Trinkwassererwärmern.

Vom Planer der Anlagen wird insbesondere die bedarfsgerechte Auslegung von Geräten und Verteilnetz nach DIN 1988 und DIN 4708 für den Wohnungsbau gefordert. Alle übrigen Anlagen sind nach dem anerkannten

* Dipl.-Ing. Robert Kremer, Leverkusen, Fax (0 21 71) 55 80 49

** Dipl.-Ing. Dieter Waider, DVGW Bonn, Fax (02 28) 9 18 89 94

ten Stand der Technik auszulegen. Für bestehende Trinkwassererwärmungsanlagen sind im DVGW-Arbeitsblatt W 552 Sanierungsmaßnahmen für kontaminierte Anlagen festgelegt. Die Tabelle in Bild 1 zeigt eine Zusammenfassung des zur Zeit gültigen Standes bezüglich Bewertung, Maßnahmen und Nachuntersuchung für orientierende und weiterführende Untersuchungen nach DVGW-Arbeitsblatt W 552.

Wasserversorgung

Zentrale Trinkwassererwärmungsanlagen dienen der Bereitstellung von erwärmtem Trinkwasser für Küchen, Bäder, Waschmaschinen, Spülen, usw. Nach DIN 1988, Teil 1, (TRWI) ist in Abweichung zur DIN 2000 und DIN 2001 auch erwärmtes Trinkwasser (Warmwasser) als Trinkwasser zu verstehen. Vielfach wird erwärmtes Trinkwasser fälschlicherweise noch als Brauchwasser bezeichnet. Da Warmwasser zur Zubereitung von Speisen und Getränken verwendet wird, muß die Trinkwasserqualität bis zur Entnahmestelle erhalten bleiben. Hierzu gehört die Einhaltung der technischen Regeln für die Trinkwasser-Installation sowohl auf der Kaltwasser- als auch auf der Warmwasserseite.

In der DIN 1988 „Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen“ werden besonders in den Teilen 2 „Planung und Ausführung“ und 4 „Schutz des Trinkwassers, Erhaltung der Trinkwassergüte“ die für die Auswahl und den Einbau von Trinkwassererwärmern erforderlichen Kriterien übersichtlich erfaßt. Die Trinkwassergüte soll durch Verteilung und Erwärmung in Trinkwassererwärmungsanlagen nicht negativ verändert werden. Trinkwassererwärmer und Rohrleitungen sollen aus hygienisch unbedenklichen und korrosionsbeständigen Materialien hergestellt werden. Zentrale Trinkwassererwärmungsanlagen sollen in bezug auf Wirtschaftlichkeit und Wärmeschutz optimiert geplant und ausgeführt werden. Umweltschutz und Hygiene sollen gleichrangig Berücksichtigung finden.

Das erwärmte Wasser muß mit der gewünschten Temperatur und Menge gleichmäßig, ohne Verzögerung, zur Verfügung stehen. Die Warmwassertemperatur soll regelbar und möglichst konstant sein. Das erwärmte Wasser muß hygienisch einwandfrei sein und soll keine Korrosion und Steinbildung verursachen. Die Anlage muß leicht zu warten, betriebssicher und leicht zu bedienen sein. Hinsichtlich des Einsatzes von

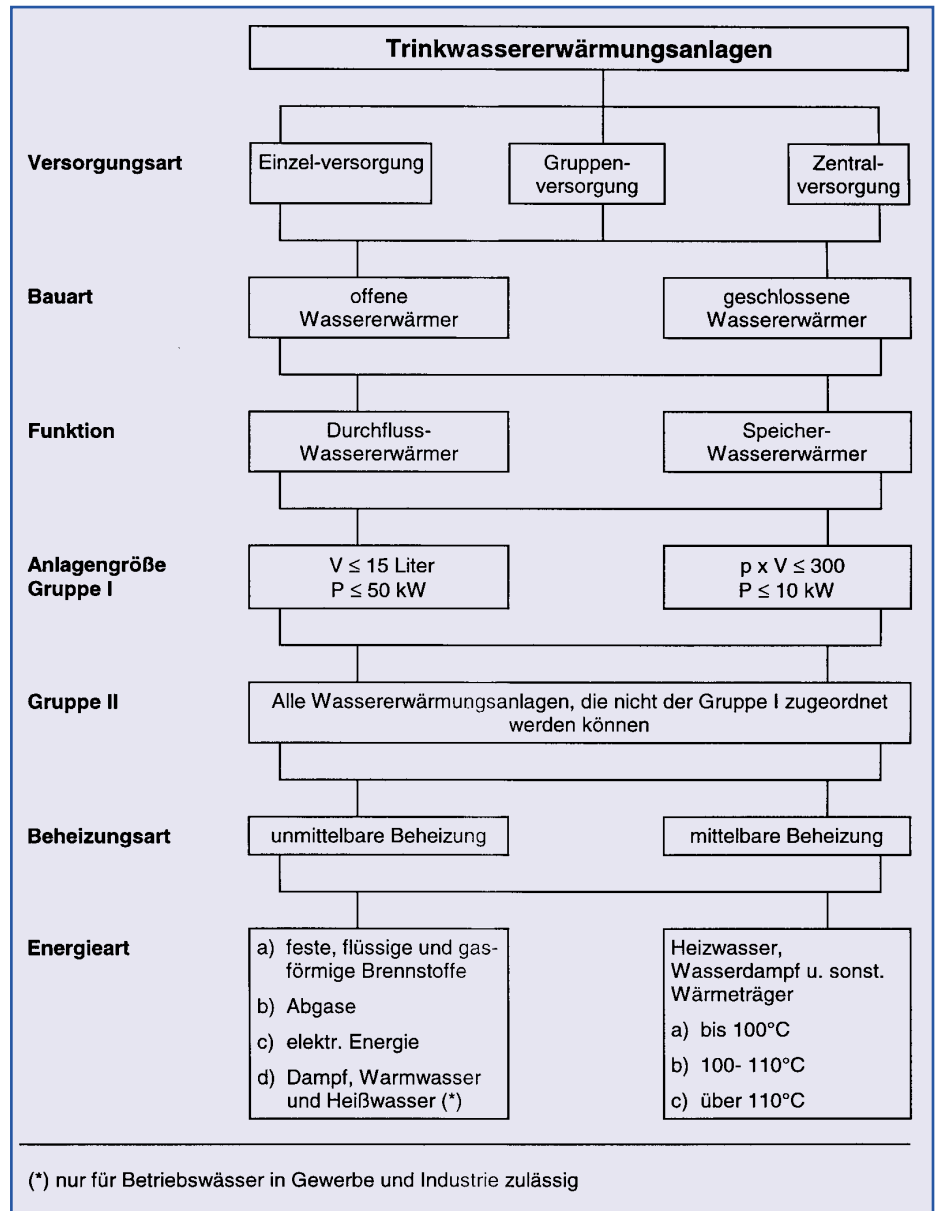


Bild 2 Einteilung von Trinkwassererwärmungsanlagen nach Versorgungsart, Bauart, Funktion, Heizungs- und Energieart

Primärenergie, müssen wirtschaftliche Gesichtspunkte berücksichtigt werden.

Eine Trinkwassererwärmungsanlage besteht aus dem Trinkwassererwärmer, den für einen sicheren Betrieb der Anlage erforderlichen Ausrüstungsteilen, den Heizungsteilen, den Rohrleitungen und den Armaturen. Trinkwassererwärmungsanlagen werden nach Versorgungsart, Bauart, Funktion, Heizungs- und Energieart eingeteilt (Bild 2).

Einteilung nach Versorgungsart

Hinsichtlich der Versorgungsart, wird in Einzel-, Gruppen- und Zentralversorgung unterteilt.

Warmwasser-Einzelversorgung (Bild 3): Es wird nur eine einzelne Entnahmestelle mit Warmwasser versorgt. Diese Versorgungsart ist besonders für räumlich getrennte Entnahmestellen, die einen größeren Abstand zueinander besitzen, geeignet. Lange Leitungswege und Temperaturverluste können vermieden werden.

Warmwasser-Gruppenversorgung (Bild 4):

Es werden mehrere räumlich nahe beieinanderliegende Entnahmestellen mit Warmwasser versorgt. Die Gruppen-Warmwasserversorgung eignet sich besonders für Wohnungseinheiten, die unabhängig voneinander versorgt werden sollen. Die dezentralen Trinkwassererwärmer müssen auf die gleichzeitige Nutzung der Entnahmestellen ausgelegt werden. Es genügt nicht, eine komplette Wohnung mit einem 20 kW Durchflußerhitzer auszurüsten. Der Vorteil kurzer Warmwasserleitungen führt zu geringen Entnahmeverlusten. Auf den Einbau von Zirkulationsleitungen kann bei optimaler Anordnung des Trinkwassererwärmers im Verhältnis zu den Entnahmestellen und bei Einhaltung der 3-Liter-Regel (W 551) verzichtet werden.

Warmwasser-Zentralversorgung (Bild 5): Es werden alle Entnahmestellen eines oder mehrerer Gebäude über ein gemeinsames Leitungsnetz von einem oder mehreren Trinkwassererwärmern aus versorgt. Die zentrale Versorgung ermöglicht die Optimierung des Trinkwassererwärmers durch Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit. Die Gesamtversorgung einschließlich der Spitzenzapfungen wird sicher und wirtschaftlich abgedeckt. In Verbindung mit der Solar- und Brennwerttechnik können Synergieeffekte genutzt werden, die zur Energieeinsparung und zur Umweltentlastung beitragen.

Einteilung nach Bauart

Hinsichtlich der Bauart der Trinkwassererwärmer wird in offene und geschlossene Trinkwassererwärmer unterteilt.

Offene Trinkwassererwärmer sind Behälter, die mit der Atmosphäre in nicht absperrbarer Verbindung stehen. Sie sind nicht dem Druck der Kaltwasserleitung ausgesetzt. Der Warmwasserauslauf ist stets offen oder ein Ausgleichsgefäß steht mit dem Trinkwassererwärmer in nicht absperrbarer Verbindung. Das sich beim Aufheizvorgang ausdehnende Wasser tropft aus dem offenen Auslauf oder wird vom Ausgleichsgefäß aufgenommen. Beim Kaltwasseranschluß ist zu beachten, daß nicht mehr Wasser zufließen darf, als ohne Drucksteigerung durch den offenen Auslauf abfließen kann. Der Einströmquerschnitt ist durch eine Begrenzung des Durchflusses entsprechend zu reduzieren. Ein Überdruck von 1 bar wird bei bestimmungsgemäßem Betrieb nicht überschritten.

Geschlossene Trinkwassererwärmer sind Behälter, die mit der Atmosphäre nicht ständig in absperrbarer Verbindung stehen. Sie sind dem Druck der Kaltwasserleitung ausgesetzt. Eine beliebige Anzahl von Entnahmestellen kann abhängig von der Anlagengröße angeschlossen werden. Geschlossene Trinkwassererwärmer sind für einen zulässigen Betriebsüberdruck von mindestens 6 bar auszulegen. Speicher-Trinkwassererwärmer sollen ausreichend große Reinigungs- und Wartungsöffnungen aufweisen. Der Kaltwassereinlauf muß so konstruiert sein, daß während des Entnahmeprozesses eine große Mischzone vermieden wird. Gleichmäßige Temperaturschichtung und die Vermeidung partieller Kaltzonen im Trinkwassererwärmer kann durch mehrere

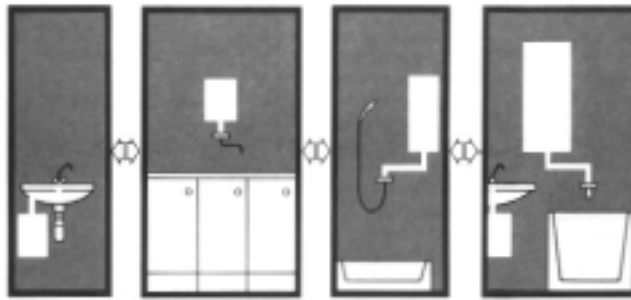


Bild 3: Bei Einzelversorgung wird jede Entnahmestelle separat versorgt

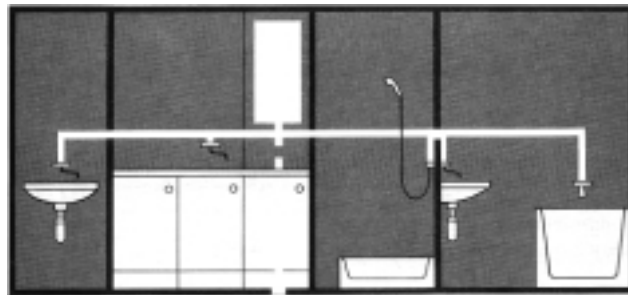


Bild 4: Bei der Gruppenversorgung (Wohnungsversorgung) versorgt ein Gerät (druckfest) alle Entnahmestellen. Die Installation in der Wohnung ermöglicht immer schnell warmes Wasser an allen Entnahmearmaturen

konstruktive Lösungen erreicht werden. Der Wärmetauscher des Trinkwassererwärmers nach Bild 5 ist bis auf den Speicherboden geführt. In Verbindung mit dem entsprechend konstruierten Kaltwassereinlauf sollen Temperaturschichtungen vermieden werden. Der Edelstahl-Trinkwassererwärmer nach Bild 6 wird einschließlich Behälterboden über den Doppelmantel beheizt. Der Speichermantel ist gewellt und hat eine dadurch vergrößerte Oberfläche. Bei hartem Wasser führen die bei jeder Zapfung auftretenden Druckschwankungen zum Abplatzen der Kalkschichten von der gewellten Behälterwand. Die Lage der Anschlußstutzen für die Beheizung und der Kaltwassereintritt wurden so optimiert, daß ein Entnahmewirkungsgrad von über 85 % erreicht wird.

Einteilung nach Funktion

Nach der Funktion werden Durchfluß-Trinkwassererwärmer, Speicher-Trinkwassererwärmer und Auflade-Speichersysteme unterschieden. Alle Systeme sind bei der Einzel-, Gruppen- und Zentralversorgung üblich, wobei weiter nach Art der Beheizung zwischen mittelbarer und unmittelbarer Beheizung unterschieden wird. Bei unmittelbarer Beheizung erfolgt vom Energieträger die Wärmeübertragung direkt auf das zu erwärmende Wasser. Bei mittelbarer Beheizung erfolgt vom Energieträger die Wärmeübertragung über einen Zwischenträger, z. B. Heizwasser oder Dampf, auf das zu erwärmende Wasser.

Beim Durchflußsystem wird das Kaltwasser, während es durch eine Rohrschlange fließt, erwärmt. Das Durchflußsystem mit

unmittelbarer Beheizung findet hauptsächlich bei der Einzelversorgung Anwendung, z. B. bei Gas- und Elektro-Wasserheizern. Zunehmend werden auch Plattenwärmetauscher als indirekt beheizte Durchflußerwärmer in der Wohnung angeordnet und vom zentralen Heizungs-Wärmeerzeuger beheizt.

Im Gegensatz zum Durchflußsystem werden beim **Speichersystem** größere Wassermengen erwärmt, gespeichert und bei Bedarf an den Verbraucher abgegeben. Speicher mit unmittelbarer Beheizung werden für die Einzelversorgung (z. B. Elektro-speicher), Speicher mit mittelbarer Beheizung bei der Zentralversorgung eingesetzt.

Auflade-Speichersysteme sind eine Kombination von Speicher und externem Durchflußerwärmer mit Aufladepumpe und werden zunehmend in der Solartechnik und in Fernheizsystemen eingebaut.

Anforderungen an Trinkwassererwärmer

Nach dem Energieeinsparungsgesetz ist die Betriebstemperatur für Trinkwassererwärmungsanlagen – außer in begründeten Ausnahmefällen – auf 60 °C zu beschränken. Zur Vermeidung von Korrosion und Steinbildung sind ebenfalls Grenzen für die Betriebstemperatur gesetzt. Individuell müs-

sen bestehende Anlagen betrachtet werden, deren Rohrnetze mit Legionellen kontaminiert sind. Hier können neben Sanierungsmaßnahmen auch höhere Temperaturen erforderlich werden.

Rohre und Zubehörteile in der Warmwasser-Hausinstallation sind nach DIN 1988, Teil 2, für einen Nenndruck von 10 bar zu bemessen. Wassererwärmer gehören zu den Zubehörteilen. Trotz dieser Forderung werden die meisten geschlossenen Trinkwassererwärmer mit einem Nenndruck von 10 bar gebaut. Der Einbau von Trinkwassererwärmern mit Nenndrücken von 6 bar ist zulässig, wenn zusätzlich zum Sicherheitsventil ein Druckminderer in die Trinkwassererwärmungsanlage eingebaut wird.

Hygiene-Forderungen nach DIN 1988

Das Trinkwasser kann im Trinkwassererwärmer gewollt oder ungewollt verändert werden. Eine Gefährdung der Trinkwasserbeschaffenheit kann von Werkstoffen, Wärmeträgern oder einem Zwischenmedium ausgehen. Um das Wasser vor Veränderungen zu schützen, sind Sicherungseinrichtungen für besondere Entnahmestellen und Apparate einzubauen. Es ist sowohl dafür Sorge zu tragen, daß keine rückwirkende Beeinträchtigung des Stadtwassers durch die Trinkwassererwärmungsanlagen stattfinden kann (Einbau von Rückflußverhinderern) als auch dafür, daß keine Beeinträchtigung der Wasserqualität im Verteilungsnetz, ausgehend von den Verbrauchsstellen, erfolgen kann. Dabei werden die Stoffe oder Mikroorganismen, die in das Trinkwasser gelangen und zu einer Beeinträchtigung oder Gefährdung des Trinkwassers führen können, in fünf Klassen eingeteilt:

- Klasse 1 und 2: ohne Gefährdung (z. B. Kaffee)
- Klasse 3: wenig giftige Stoffe (z. B. Heizungswasser ohne Zusatzstoffe)
- Klasse 4: giftige, sehr giftige, krebserzeugende und radioaktive Stoffe
- Klasse 5: Erreger übertragbarer Krankheiten (z. B. Salmonellen)

Für die Ausführung des Trinkwassererwärmers, besonders des Wärmetauschers, bildet diese Klasseneinteilung die Grundlage. Hinsichtlich der Ausführung und Ausrü-

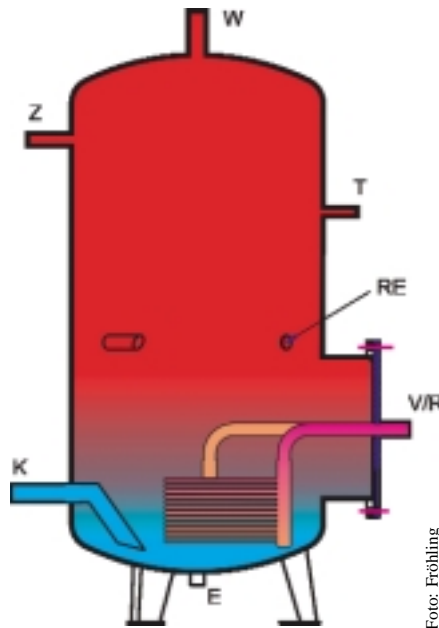


Foto: Fröhling

Bild 5: Trinkwassererwärmer mit tiefliegenderm Wärmeaustauscher

stung des Wärmeübertragers ist die Einteilung in Trinkwassererwärmer mit unmittelbarer bzw. mittelbarer Beheizung von Bedeutung für den Schutz des Trinkwassers. Eine Beeinträchtigung oder Gefährdung der Trinkwassergüte ist von unmittelbar beheizten Trinkwassererwärmern nicht zu befürchten. Im Gegensatz dazu kann im Schadensfall bei der mittelbaren Beheizung durch die flüssigen oder dampfförmigen Wärmeträger eine Gefährdung der Trinkwassergüte eintreten. Dementsprechend werden die mittelbar beheizten Trinkwassererwärmer in vier Ausführungsarten unterteilt:

- A: mit korrosionsgeschützten wärmeübertragenden Flächen
 - B: mit korrosionsbeständigen wärmeübertragenden Flächen
 - C: mit korrosionsbeständig gesicherten wärmeübertragenden Flächen
 - D: Zwischenmedium-Wärmeüberträger
- Die Zuordnung der Ausführungsart des Trinkwassererwärmers zur Klasse des Wärmeträgers erfolgt nach DIN 1988, Teil 4, Tabelle 3.

Maßnahmen gegen Legionellen

Mit dem DVGW-Arbeitsblatt W 551 „Trinkwassererwärmungs- und Leitungsanlagen, Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums“ liegt eine erste technische Regel vor, die Hinweise zur Vermeidung des Legionellenwachstums in Trinkwassererwärmungs- und Leitungsanlagen gibt. Ausgehend von

hygienischen Anforderungen wurden technische Maßnahmen für Bau und Betrieb festgelegt, die den heutigen Kenntnissen Rechnung tragen. Zielvorstellung des vorliegenden Arbeitsblattes ist es, am Ausgang des Trinkwassererwärmers möglichst eine Temperatur von 60 °C einzuhalten und eine Temperatur beim Eintritt der Zirkulation in den Wassererwärmer von 55 °C nicht zu unterschreiten. Eine Schaltdifferenz des Reglers von 5 K wird toleriert. Dies darf allerdings – wie in der Praxis häufig anzutreffen – nicht dazu führen, daß die Anlagen von Anfang an auf eine Netztemperatur von 50 °C ausgelegt werden.

Die sich ergebenden Forderungen aus dem DVGW-Arbeitsblatt W 551 an die Betriebsweise der Anlagen verlangen für die Zukunft neue konstruktive Lösungen bei Neubauten, wie z. B. die Berechnung der Zirkulationsleitung nach dem Wärmeverlust und die zentrale Anordnung von Technikzentralen innerhalb großer Gebäudekomplexe. Zirkulationsverluste werden nach DVGW-Arbeitsblatt W 553 berechnet und müssen vom Trinkwassererwärmer gedeckt werden.

Die Zirkulationsverluste von Trinkwassererwärmungsanlagen sind in den bestehenden DIN-Normen stiefmütterlich behandelt. In DIN 4708 zur Prüfung von Trinkwassererwärmern werden die Zirkulationsverluste ignoriert, d. h. die Prüfung der Trinkwassererwärmer findet bei verschlossenen Zirkulationsstutzen statt. Es wird davon ausgegangen, daß nach DIN 4708 dimensionierte Trinkwassererwärmer eine ausreichend große Leistungsreserve für den Zirkulationsbetrieb haben. Der Anschluß und die Art der Zirkulationseinführung am Trinkwassererwärmer sind für die Hygieneanforderungen und für das Betriebsverhalten in Verbindung mit der Wärmequelle jedoch sehr wichtige Dinge, zu denen es von Hersteller zu Hersteller recht verschiedene Auffassungen gibt.

Die DIN 1988 empfiehlt eine Faustformel zur Dimensionierung von Zirkulationspumpen und Zirkulationsleitungen, wonach es ausreicht, ein Warmwassernetz ca. 3 × pro Stunde umzuwälzen. Zur Sicherstellung der Hygiene in Warmwassernetzen wurde jedoch nach DVGW-Arbeitsblatt W 553 eine zusätzliche Anforderung gestellt, die sich auf die Einhaltung einer ausreichend hohen

Betriebstemperatur im Verteilnetz bezieht. Hiernach gibt es ein Kurzverfahren zur Bestimmung der Zirkulationsverluste, der Rohrleitungen und der Zirkulationspumpe sowie ein genaues Berechnungsverfahren, mit dessen Hilfe der Nachweis zur Einhaltung der Forderung nach einem maximalen Temperaturabfall von 5 K zwischen der Warmwasserleitung und der rückkehrenden Zirkulationsleitung per Computerprogramm möglich ist. Für die Abschätzung der Wärmeverluste des Verteilnetzes können unabhängig vom Rohrdurchmesser pro Meter Rohrlänge in unbewohnten Bereichen 10 W/m und in bewohnten Bereichen 7 W/m angesetzt werden. Computerprogramme sind bei Rohrerstellern oder bei einschlägigen Softwarefirmen erhältlich. Die Größe der Zirkulationsverluste spielt vor allem auch eine Rolle bei der Berechnung des Jahreswärmebedarfs für Heizung und Trinkwassererwärmung, in der nach den bisherigen Regelwerken die, im Gebäudeinneren verlegten Teile von Warmwasserleitung und Zirkulationsleitung als Wärmequellen für die Heizung angesetzt werden. Dieser Ansatz verbessert den Jah-

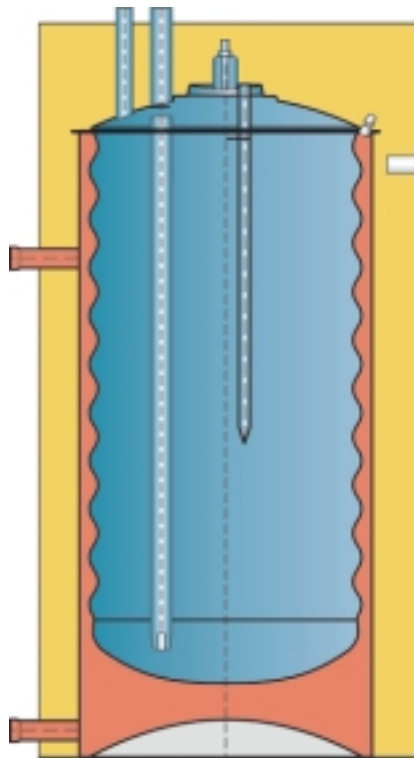


Foto: Fröhling

Bild 6: Trinkwassererwärmer mit Doppelmantel und Beheizung des unteren Behälterbodens

resnutzungsgrad des Systems Heizung und zentrale Trinkwassererwärmung ganz erheblich. Trotz allem bleibt im Sommer besonders ungünstig für die Solarenergie der Nachteil relativ hoher Zirkulationsverluste bei hohem Temperaturniveau übrig. Dies führte zur Entwicklung von Alternativsystemen, die allerdings keinem technischen Regelwerk entsprechen. So wurde zum Beispiel ein Rohr-in-Rohr-System entwickelt, das zunächst für kleinere Rohrdimension gefertigt wird. Die Zirkulation wird bei diesem System über ein innenliegendes Kunststoffrohr geführt, was zu niedrigeren Wärmeverlusten führt.

Im nächsten Teil dieser Artikelreihe geht es um Zentrale Trinkwassererwärmungsanlagen und technische Lösungsvorschläge. □