

Trinkwarmwasserbereitung

# Durchflussprinzip mit drehzahl geregelter Pumpe

Im Rahmen des Programms »Innovationskompetenz mittelständischer Unternehmen« hat die TGA Energietechnik Wittenberg GmbH mit der TU Dresden Untersuchungen zur Realisierung einer neuen kostengünstigen Lösung der Trinkwarmwasserbereitung im Durchflussprinzip durchgeführt. Zur Regelung der Trinkwassertemperatur wurde dabei statt einer Stellarmatur eine Regelpumpe eingesetzt. Die Autoren stellen die Ergebnisse der Untersuchungen dar.

In Trinkwassererwärmungsanlagen können sowohl das Durchflussprinzip als auch Lösungen mit Trinkwasserspeichern zur Anwendung kommen (Bild 1). In dem nachfolgend betrachteten Leistungsbereich von 100 kW bis 1 MW werden zurzeit überwiegend Trinkwasser-Speichersysteme eingesetzt.

In Standardanlagen sind Bereiche, in denen zumindest zeitweise günstige Bedingungen für das Legionellenwachstum herrschen, kaum zu vermeiden. Für die aktuellen hohen Qualitätsanforderungen werden deshalb (z.B. für Krankenhäuser) spezielle Lösungen angeboten, die einen erheblichen technischen Aufwand erfordern.

Bei der Verwendung des Durchflussprinzips, d.h. der Erwärmung des Trinkwassers nur bei Bedarf, können mit deutlich reduziertem Aufwand ebenfalls hohe Qualitätsanforderungen erfüllt werden. Bei dieser Anlagenkonzeption ist dies

dadurch zu erreichen, dass auf eine Speicherung des Trinkwassers verzichtet wird und die Temperatur im Hinblick auf die Legionellenproblematik im gesamten Bereich der Trinkwassererwärmung auf einem Niveau von 55 bis 60 °C gehalten wird.

Zur Abdeckung der kurzzeitig hohen Bedarfsspitzen wird gegebenenfalls auf der Primärseite ein Speicher für das Heizwasser eingesetzt, der deutlich kostengünstiger ist als ein Trinkwasserspeicher.

Bei der Sanierung vorhandener Trinkwassererwärmungsanlagen ist die Anschlussleistung häufig so reichlich bemessen, dass mit einer entsprechend modifizierten Schaltung auf den Primärspeicher verzichtet werden kann.

Wegen der starken Schwankungen des Warmwasserbedarfs ist die Temperaturregelung beim Durchflussprinzip besonders anspruchsvoll und erfordert auf die Anwendung abgestimmte Teilkomponenten für eine schnelle Regelung.

In der untersuchten Anordnung wird die Temperatur des Trinkwarmwassers unter Verwendung einiger Zusatzbauteile zur lastabhängigen Vorregelung über die Drehzahl einer elektronischen Pumpe geregelt.

Somit werden mit der entwickelten Anlagenkonzeption eine verbesserte Qualität des erwärmten Trinkwassers und eine deutliche Kostenreduzierung erreicht durch:

- Trinkwassererwärmung im Durchflussprinzip,
- einfache hydraulische Schaltung,

- Trinkwasser-Temperaturregelung über Pumpendrehzahlregelung,
- primärseitigen Speicher.

### Hydraulische Konzeption

Die untersuchte Grundschaltung des Durchflussprinzips mit Primärspeicher ist in Bild 2 dargestellt. Bei der Zapfung von Warmwasser wird das Kaltwasser 2-stufig in den Wärmeübertragern auf Solltemperatur erwärmt und über die Warmwasserleitung den Zapfstellen zugeführt.

Zwischen beiden Wärmeübertragern ist die Zirkulationsleitung eingebunden.

Eine 2-stufige Ausführung der Trinkwassererwärmung ist zur Erreichung einer möglichst weitgehenden Auskühlung des Heizwassers zweckmäßig. Mit einer nur 1-stufigen Ausführung wird die mögliche Auskühlung durch die erhöhte Sekundärtemperatur (Mischtemperatur von Kalt- und Zirkulationswasser) reduziert.

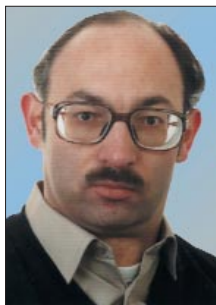
Der Entladekreis des Speichers besteht im Wesentlichen aus der Regelpumpe und einem Mischventil.

Das im Bild 2 dargestellte 3-Wege-Mischventil im Entladekreis des Speichers regelt die primärseitige Temperatur des Wärmeübertragers nach einem temperatur- und leistungsabhängigen Algorithmus. Dies ist sowohl wegen des begrenzten Regelbereichs der Pumpe erforderlich, als auch im Hinblick auf die Erzielung einer möglichst weitgehenden Rücklaufauskühlung und zur Temperaturabsenkung bei zu Verkalkung neigendem Trinkwasser zweckmäßig [1].

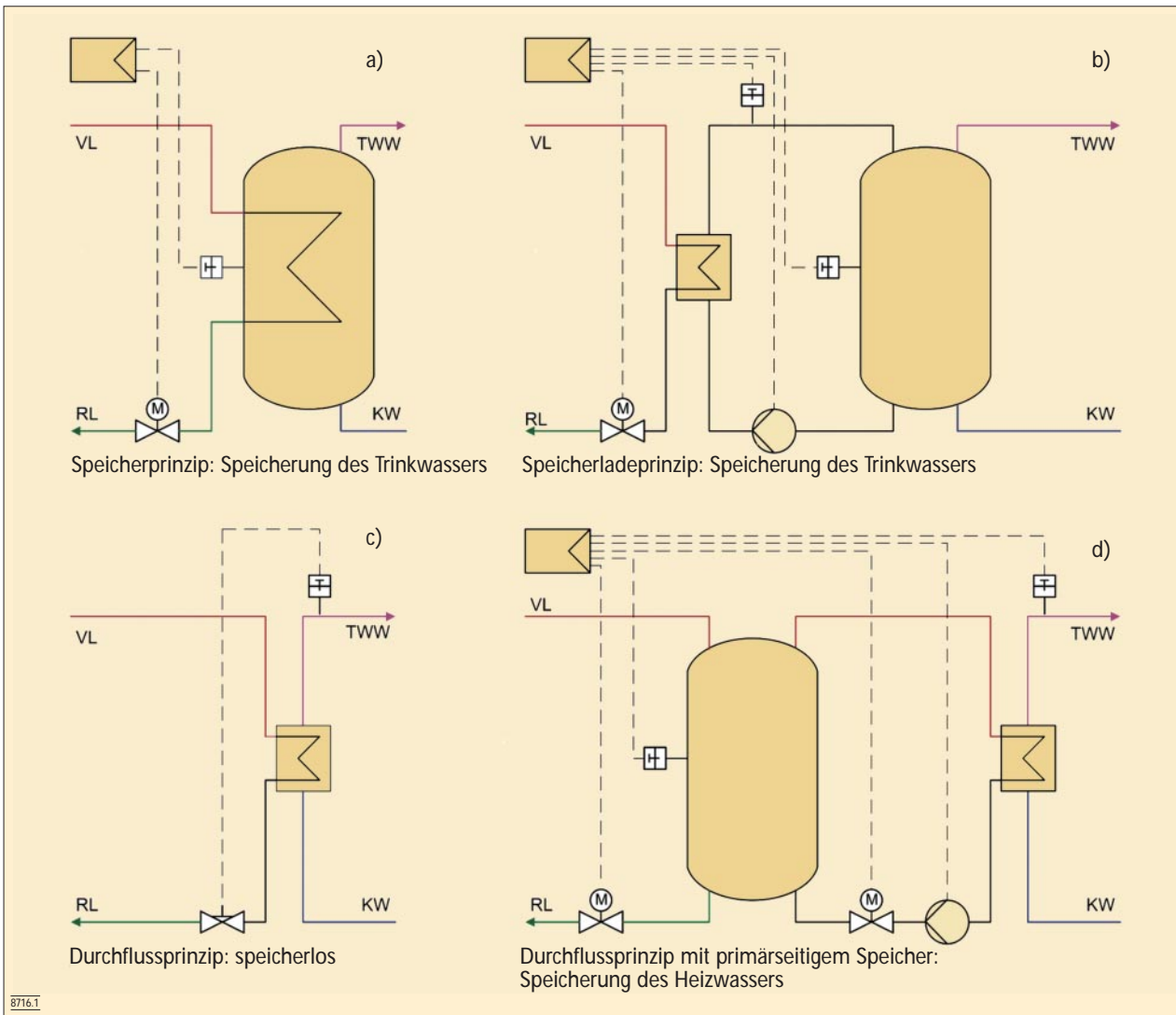
Im Rahmen der Erprobungen wurde eine einfache Lösung mit lediglich 2 konstanten Vorlauftemperaturen realisiert und getestet.

Der Speicher wird mit einem Volumenstrom entladen, der näherungsweise proportional dem Warmwasserdurchsatz ist. Hohe Speichertemperaturen führen hierbei zu geringen Heizwassermengen.

Bei Speichertemperaturen, die nur geringfügig über dem Trinkwarmwassersollwert liegen, können demgegenüber Entladevolumenströme erforderlich werden, die deutlich über den Kaltwasservolumenströmen liegen und ein großes Speichervolumen beanspruchen. Somit sind prinzipiell die höchstmöglichen Speichertemperaturen anzustreben, da für niedri-



Dr.-Ing. Hartmut Stachs (l), TGA Energietechnik Wittenberg GmbH, und Dipl.-Ing. Norbert Wünsche, TU Dresden, Institut für Energietechnik



**Bild 1.** Grundschaltungen zur Trinkwarmwasserbereitung [4]

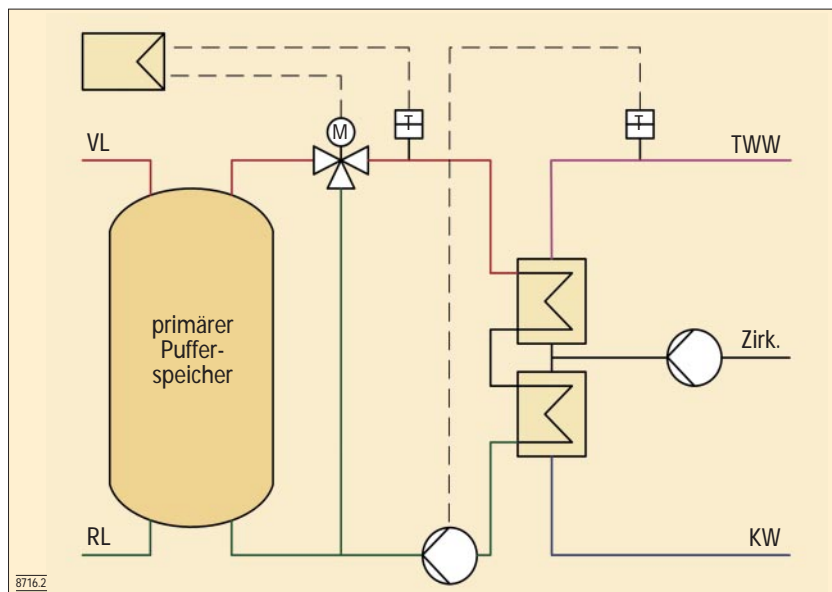
ge Speichersentlademengen auch nur geringe Speichervolumina erforderlich sind.

Grundschaltungen zur Ladung des primärseitigen Pufferspeichers

Für Anlagen zur Trinkwassererwärmung im Durchflussprinzip mit primärseitigem Pufferspeicher sind, abhängig von den jeweiligen Einsatzbedingungen, unterschiedliche Varianten der Speicherladung realisierbar.

Im Bild 3 sind einige Grundschaltungen dargestellt, die den jeweiligen Einsatzbedingungen angepasst werden müssen.

Eine einfache, aber auch funktionstüchtige Ladeschaltung stellt die Lösung mit einem Thermoventil dar (Bild 3a). Im Rahmen des Feldtests wurde diese Schaltung eingesetzt.



**Bild 2.** Untersuchte Grundschaltung der Trinkwassererwärmung mit Primärspeicher

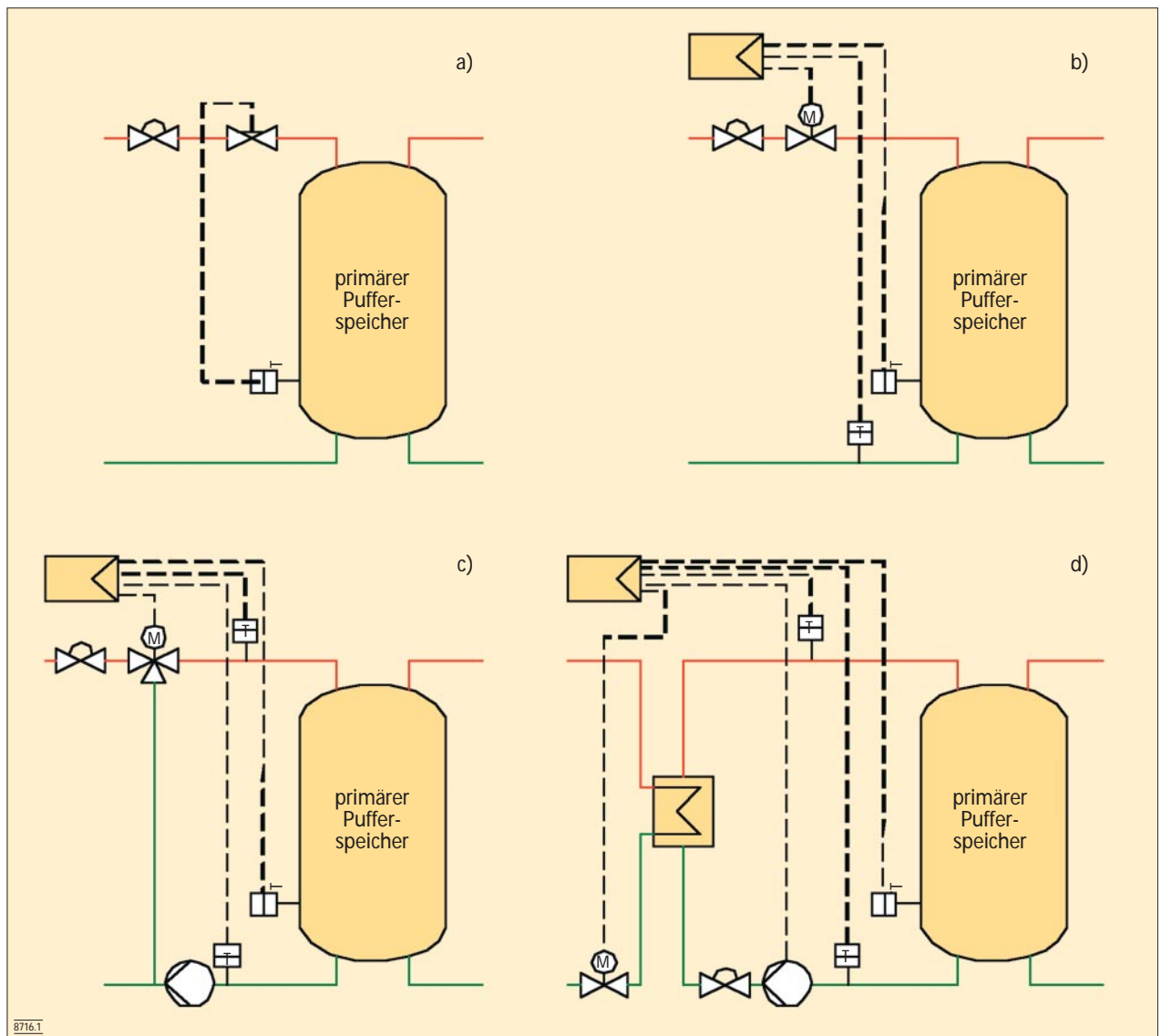


Bild 3. Grundsaltungen zur Ladung des primärseitigen Pufferspeichers

Das Thermoventil steuert die Ladung des Speichers. Bei steigender Temperatur im unteren Bereich des Speichers schließt das Ventil. Dieser einstellbare Wert hat direkten Einfluss auf die erzielbaren Speicherrücklauftemperaturen. Ein zu hoher Sollwert führt zu einem späten Schließen des Ventils und damit auch zu hohen Rücklauftemperaturen. Günstige Werte liegen im Bereich zwischen der Zirkulationsrücklauf-temperatur und der mittleren Rücklauf-temperatur während der Zapfungen (45 bis 58 °C).

Die anderen Lösungen realisieren ein 2-Punktverhalten der Speicherladung und verschiedene Anpassungen an die jeweiligen Verhältnisse des Versorgungssystems.

Generell ist ein Begrenzer für den Ladevolumenstrom vorzusehen.

#### Labortestanlage

Von der TGA Energietechnik wurde für das Projekt zunächst ein Versuchsaufbau für Laboruntersuchungen innerhalb des Fernwärmeversuchsstands der TU Dresden ausgeführt. Die Anlage war im Wesentlichen entsprechend dem in Bild 2 dargestellten Fließbild aufgebaut.

Mit der Teststation wurden umfangreiche Untersuchungen zu den folgenden Schwerpunkten vorgenommen:

- Erprobung verschiedener hydraulischer Schaltungen,
- Messung der Zeitkonstanten unterschiedlicher Temperaturfühler,
- Anordnung des Trinkwasser-Temperaturfühlers im Wärmeüber-träger,

- Untersuchung des Regelbereichs der Elektronikpumpe,
- Entwicklung eines Algorithmus- ses zur Regelung der Temperatur bzw. Beimischmenge,
- Auswahl eines geeigneten Misch- ventils,
- Optimierung der Parameter des Pumpenreglers.

An der Laboranlage wurden die notwendigen Erkenntnisse zur Auslegung der Pilotanlage für den Feldtest gewonnen.

#### Ergebnisse des Feldtests

Eine Überprüfung der Laborer-gebnisse erfolgte durch die mess-technische Begleitung des Einsatzes einer Prototypanlage unter realen Bedingungen. Die ausgeführte Anlage war für die Versorgung von



Bild 4. Prototypanlage (teilweise) mit Datenerfassung

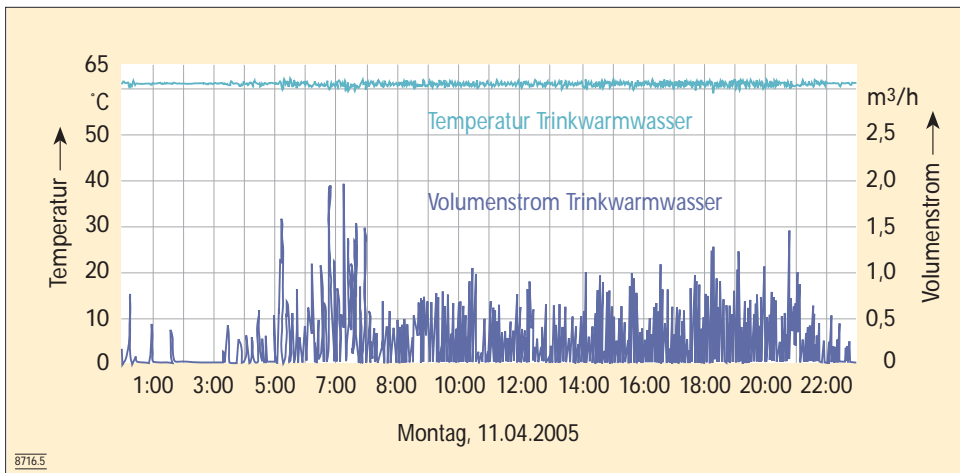


Bild 5. Tagesverlauf für den Volumenstrom und die Temperatur des Trinkwarmwassers

53 Wohnungen mit Trinkwarmwasser vorgesehen (Bild 4).

Konstruktiv wurden folgende Probleme untersucht:

- die 1-stufige und die 2-stufige Ausführung der Trinkwassererwärmung,
  - die unterschiedliche Einbindung der Zirkulationsleitung,
  - verschiedene Lösungen für die Rücklaufbeimischung.
- Im Rahmen des Feldtests sollten unter Praxisbedingungen
- die Versorgungssicherheit,
  - die Leistungsbemessung,
  - die Stabilität der Regelung,

- die Wirksamkeit des primärseitigen Speichers (Abdeckung von Bedarfsspitzen) sowie
- die Rücklaufauskühlung und damit
- die Funktion der Gesamtanlage überprüft werden.

Für die Lösung der Aufgabe wurden an der Anlage 11 Temperatur- und 3 Durchflussmessstellen installiert und die Messwerte über einen Zeitraum von rd. 8 Wochen in Zeitschritten von 3 s aufgezeichnet.

Ein Tagesverlauf für den Volumenstrom und die Temperatur des Trinkwarmwassers ist beispielhaft

im Bild 5 gezeigt. Die gewählte recht kurze Aufzeichnungsperiode ermöglicht eine sehr reale Erfassung des Trinkwarmwasserbedarfs. Charakteristisch sind die häufigen steilen Volumenstromänderungen. Längere Zeitabschnitte mit auch nur annähernd konstantem Bedarf sind kaum erkennbar.

Trotz dieser hohen dynamischen Belastung verbleibt die Trinkwarmwassertemperatur in einem sehr schmalen Toleranzbereich (rd.  $\pm 1$  bis 1,5 K).

Im Bild 6 ist ein ausgewählter Zeitbereich »gedehnt« dargestellt (Morgenspitze). Der hier nun zusätzlich angegebene Volumenstrom der Regelpumpe zeigt unverkennbar die erheblichen dynamischen Anforderungen, die zu erfüllen sind, um die angestrebte Regelstabilität der Trinkwassertemperatur zu erreichen.

Als Ergebnis der erzielten Regelstabilität wird im Bild 7 zusammenfassend ein Überblick über die aufgetretenen Abweichungen gegeben. Es sind die Tagesmittelwerte, sowie die Maximal- und Minimalwerte der Trinkwarmwasser-Temperatur während der einzelnen Testtage angegeben. Deutlich ist zu sehen, dass mit der 2-stufigen Version eine wesentlich höhere Stabilität erreicht wird. Die maximalen Abweichungen betragen hier nur rd. 1 bis 2 K.

Bei der Bewertung der hier nur beispielhaft genannten Messergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die angegebenen Warmwassertemperaturen generell unmittelbar am Ausgang des Wärmeübertragers ermittelt worden sind. Bis zur Zapfstelle in der Wohnung kann noch eine merkliche Glättung der Temperaturprofile angenommen werden. An der Zapfstelle ist von Temperaturschwankungen kleiner  $\pm 1$  K auszugehen. Im praktischen Einsatz wird damit ein recht hoher Komfort erreicht, der von Anlagen mit Trinkwasserspeichern nicht nennenswert übertroffen werden dürfte.

Bezüglich der erforderlichen Leistung von Trinkwasser-Erwärmungsanlagen ist anzumerken, dass der Maximalwert für die Warmwasserzapfmenge während der Messperiode lediglich 2,95 m<sup>3</sup>/h betrug. Im Vergleich dazu liegt der 10-Minuten-Spitzenwert nach DIN 4708 für 53 Wohnungen bei 4,8 m<sup>3</sup>/h, wobei allerdings zu berücksichtigen ist, dass keine Umrechnung auf Normwohnungen vorgenommen werden konnte, da

Anschluss- und Kundenanlagen

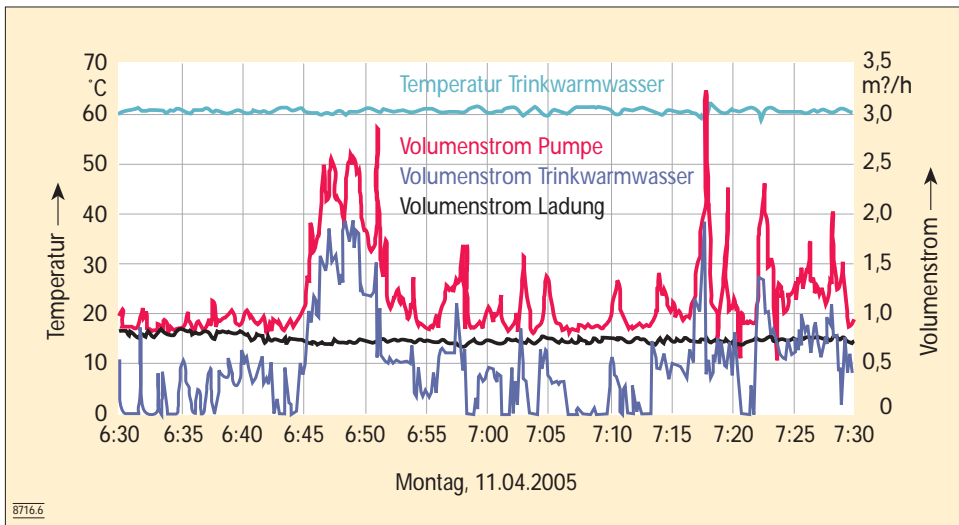


Bild 6. Zeitausschnitt einer Lastspitze

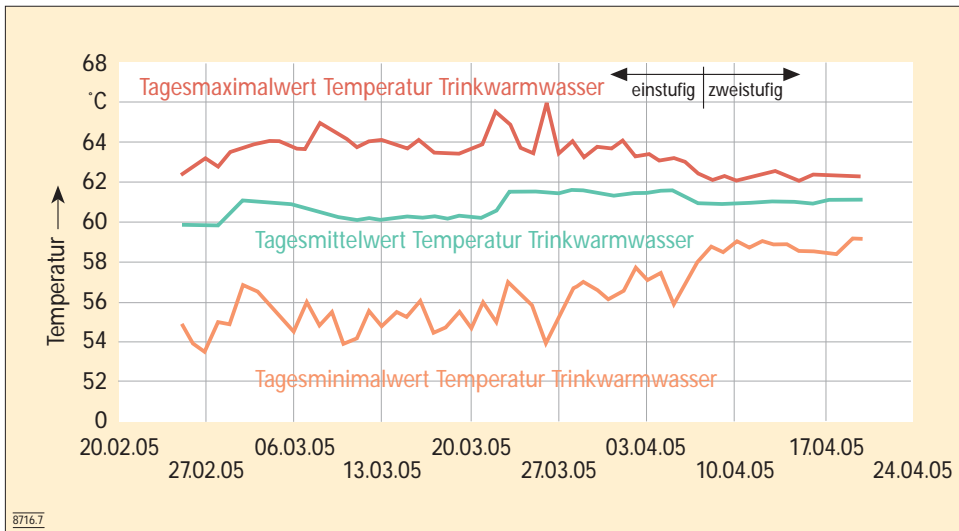


Bild 7. Regelabweichungen der Trinkwarmwassertemperatur an der Feldtestanlage

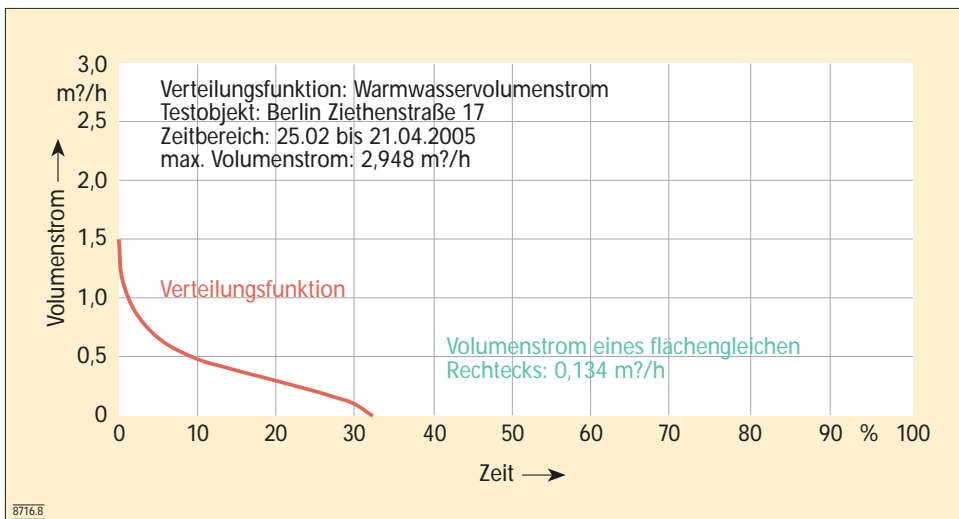


Bild 8. Häufigkeit des Trinkwarmwasserbedarfs

zu den Wohnungsgrößen des Versorgungsbereichs keine ausreichenden Angaben vorlagen.

Im Rahmen des Feldtests wurde ein Primärspeicher mit einem Volumen von 500 l eingesetzt. In Bezug auf die Wirkung des Primärspeichers ist beispielsweise während des im Bild 6 dargestellten Zeitbereiches eine Lademenge von maximal 0,8 m<sup>3</sup>/h registriert worden. Die von der Regelpumpe zur Trinkwassererwärmung geförderte Menge (Volumenstrom Pumpe) erreichte dagegen rd. 3,25 m<sup>3</sup>/h. Hier wird die Wirkung des Speichers deutlich, auch wenn für eine exaktere Betrachtung die unterschiedlichen Temperaturen beider Volumenströme zu berücksichtigen wären.

Um die Wirkung des Speichers zu testen, wurde die Begrenzung der Lademenge im Rahmen des Feldtests schrittweise reduziert. Minimal wurde die Lademenge bis auf 1,2 m<sup>3</sup>/h eingedrosselt, ohne dass es zu Versorgungsproblemen gekommen wäre.

Während des gesamten Zeitraums des Feldtests ist eine bedarfsgerechte Bereitstellung von Warmwasser für die Mieter erreicht worden. Es ereigneten sich, abgesehen von den kurzzeitigen Umbauphasen, keine Störungen in der Versorgung.

Häufigkeitsverteilung für den TWW-Bedarf

Für die Auslegung des Primärspeichers sind zuverlässige Kenntnisse über die Häufigkeitsverteilung des Trinkwarmwasserbedarfs des zu versorgenden Objektes erforderlich. Da diese Information im Allgemeinen nicht vorliegt, kann man sich nur an den Daten vergleichbarer Objekte orientieren.

Für die vorliegende Anlage wurde aus den Daten der Feldmessungen eine Verteilungsfunktion ermittelt. Entsprechend Bild 8 ist ein Trinkwarmwasserbedarf nur in 32 % der Zeit vorhanden. Volumenströme größer 0,5 m<sup>3</sup>/h treten nur in weniger als 10 % der Zeit auf.

Aus derartigen Verteilungsfunktionen kann das erforderliche Volumen des Primärspeichers berechnet werden. Hierzu muss zusätzlich der Zirkulationsbedarf beachtet werden, der im einfachsten Fall als konstanter Zuschlag berücksichtigt werden kann.

Aufgrund der Anordnung des Speichers auf der Primärseite des Wär-

meübertragers können die Volumenstromwerte der Verteilungsfunktion nicht direkt verwendet werden. Entsprechend den Betriebsparametern des Wärmeübertragers sind alle Kaltwasservolumenströme in die entsprechenden Primärspeichervolumenströme umzurechnen. Hierbei müssen sowohl die Betriebsparameter des Wärmeübertragers als auch die Parameter der Rücklaufbeimischung und die Speichertemperatur berücksichtigt werden.

Ausgehend von der Auswertung verfügbarer Ergebnisse von anderen Objekten ist auf der Grundlage dieser Zusammenhänge im Rahmen des Projekts ein Rechenprogramm zur Bestimmung der erforderlichen Größe des Primärspeichers entwickelt worden.

## Zusammenfassung

Das dem Beitrag zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des BMWA im Rahmen des Programms »Innovationskompetenz mittelständischer Unternehmen« gefördert und in Zusammenarbeit der TGA Energietechnik Wittenberg GmbH mit der Professur Energiesystemtechnik und Wärmewirtschaft der TU Dresden verwirklicht [2;3]. Im Rahmen dieser Untersuchungen sind die theoretischen und praktischen Grundlagen zur Realisierung einer neuen kostengünstigen Lösung der Trinkwarmwasserbereitung im Durchflussprinzip erarbeitet worden, die den aktuellen Qualitätsanforderungen an das Trinkwarmwasser gerecht wird.

Auf der Basis von serienmäßig verfügbaren Bauteilen verschiedener Hersteller wurde zunächst eine Labor-Lösung erprobt.

Für die bei Durchflusssystemen problematische Regelung der Trinkwarmwasser-Temperatur wurde auf eine Stellarmatur verzichtet und eine Regelpumpe eingesetzt. Bei Verwendung ausreichend schneller Temperaturgeber (hier  $T_{90} = 1$  s) ist eine sehr hohe Temperaturkonstanz bei allen Belastungsprofilen zu erreichen.

Eine Rücklaufbeimischung zwischen primärseitigem Pufferspeicher und Wärmeübertrager-Vorlauf kann vorteilhaft zur Leistungsanpassung eingesetzt werden.

In einem Feldtest konnte die Lösung unter realen Einsatzbedingungen erprobt werden. Beide Ausführungen, sowohl die 1-stufige als auch die 2-stufige Trinkwassererwär-

mung, überzeugten mit einer hohen Stabilität der Trinkwarmwassertemperatur. Die 2-stufige Version erwies sich jedoch – bei gleichzeitig reduzierter Rücklauftemperatur während längerer Zapfungen – als vorteilhafter.

Bei reinem Zirkulationsbetrieb bestimmt versionsunabhängig die Temperatur der Zirkulation die erzielbare primäre Rücklauftemperatur.

Mit einem auf der Primärseite eingebundenen Heizwasserspeicher ist eine deutliche Reduzierung der Anschlussleistung zu erreichen. Die Auslegung und Wirkung des Pufferspeichers konnte während des Feldtests jedoch nur eingeschränkt überprüft werden, da die aufgezeichneten Verbräuche weit unterhalb der normenkonform bemessenen Nennleistung lagen.

Bei der Sanierung vorhandener Trinkwassererwärmungsanlagen ist die Anschlussleistung häufig so reichlich bemessen, dass mit einer entsprechend modifizierten hydraulischen Schaltung auf einen Primärspeicher verzichtet werden kann.

## Schrifttum

- [1] *Rühling, K.; Stachs, H.; Wünsche, N.*: Trinkwarmwasserbereitung mit Primärspeicher. Tagungsband 10. Dresdner Fernwärme-Kolloquium, Dresden 20.-21. September 2005.
- [2] *Stachs, H.*: TGA-Warmwassermodul – Prototyp. TGA Energietechnik Wittenberg, Juli 2005, Abschlussbericht (unveröffentlicht) zum Proinno-Thema KF 0100804KMH3.
- [3] *Wünsche, N.*: TGA-Wassermodul – Grundlagen. TU Dresden, Professur für Energiesystemtechnik und Wärmewirtschaft, Mai 2005, Abschlussbericht zum Proinno-Thema KF 0100804KMH3.
- [4] *Wünsche, N.*: Optimale Systemgestaltung und Betriebsführung von Direktwärmesystemen mit wohnungsweiser Wärmeübergabe und -abrechnung in Mehrfamilienhäusern. BMWi-Abschlussbericht 11797B, Professur Energietechnik und Wärmewirtschaft, TU Dresden 2001. ■

stachs@tga-etw.de

www.tga-etw.de