

Reduzierung der Rücklauftemperatur

Nutzen innovativer Anschlussanlagen für den Fernwärmekunden

Durch die Reduzierung der Rücklauftemperatur können in Fernwärmenetzen beachtliche Effekte erzielt werden: Die Erhöhung der Transportkapazität und die Reduzierung der Wärmeverluste im Fernwärmenetz, die Reduzierung des Hilfsenergiebedarfs und die Erhöhung der Stromerzeugung im Heizkraftwerk stellen große wirtschaftliche Anreize für Fernwärmeversorgungsunternehmen dar. Welchen Nutzen haben jedoch die Fernwärmekunden aus der Anwendung innovativer Anschlussanlagen mit niedrigen Rücklauftemperaturen?

Fernwärmenetze in Kombination mit modernen Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (z.B. GuD-Heizkraftwerken) gehören heute in Bezug auf den Primärenergiebedarf und die Exergie zu den günstigsten Wärmeversorgungssystemen. Durch intelligente Anlagenschaltungen in den Anschlussanlagen kann die Rücklauftemperatur im Fernwärmenetz reduziert werden. Beachtliche Einsparungen an Brennstoff und Hilfsenergie sind die Folge. Gleichzeitig ist die Erhöhung der Transportkapazität des Fernwärmenetzes und der KWK-Stromerzeugung möglich.

Theoretische Analysen über die Auswirkungen der Reduzierung der Rücklauftemperatur an einer durchschnittlichen Anschlussanlage bezogen auf das gesamte Versorgungsnetz haben gezeigt, dass sich eine verbesserte Auskühlung des Rücklaufs bei jedem Kunden – auch bei kleineren – für den Fernwärmeversorger lohnt [1]. Aber auch der Kunde hat Vorteile durch den Einsatz innovativer Anschlussanlagen. Deshalb sollten die Versorgungsunternehmen den Kunden vermehrt Anreize bieten und diese intensiver aufklären, um durch die Umrüstung auf innovative Anschlussanlagen niedrigere Rücklauftemperaturen zu erzielen.

Messergebnisse an kürzlich im Rahmen der Dampfnetzumstellung

im Versorgungsgebiet der Stadtwerke München in Betrieb genommenen Anschlussanlagen vom Typ Thermo Integral bestätigen, dass eine hohe Auskühlung des Fernwärmerücklaufs möglich ist.

Auswirkungen niedriger Rücklauftemperaturen in Fernwärmenetzen

Bei vorgegebener Vorlauftemperatur und thermischer Anschlussleistung wirkt sich die Höhe der Rücklauftemperatur in einem Fernwärmenetz auf die Wärmeverluste im Leitungsnetz, die erforderlichen Hilfsenergieströme und die Stromerzeugung im Heizkraftwerk aus. Reduzierte Rücklauftemperaturen dienen zuerst dem Wärmeversorger. Bei genauer Kenntnis der damit verbundenen Energie- und Kosteneinsparung können diese Vorteile gezielt genutzt werden.

Die Reduzierung der Rücklauftemperatur hat folgende Auswirkungen [2]:

- Reduzierung des Volumenstroms im Fernwärmenetz,
- Reduzierung der Leistung für die Umwälzpumpen im Fernwärmenetz,
- Erhöhung der Transportkapazität im Leitungsnetz,
- Reduzierung der Wärmeverluste in der Fernwärmerücklaufleitung,
- Erhöhung der Stromerzeugung in Heizkraftwerken,
- Erhöhung des Brennstoffnutzungsgrads, Reduzierung der CO₂-Emissionen,

- Reduzierung der thermischen Ausdehnung der Rohrleitungen,
- verbesserte Bedingungen für die Einbindung von Sekundärenergien und erneuerbaren Energien (z.B. Abwärme aus Kühlprozessen, Geothermie, Solarenergie).

Wie stark neben dem Volumenstrom auch die Förderhöhe der Umwälzpumpe reduziert werden kann (selbst wenn nur einer von vielen Kunden seine Rücklauftemperatur und damit seinen Fernwärmestrom reduziert), hängt vom Anteil dieses Fernwärmekunden an der Summe der Anschlussleistungen aller von dieser Fernwärmeleitung versorgten Kunden und seiner Lage im Netz ab. Je höher dieser spezifische Anteil und je weiter die Kundenanlage von der Umwälzpumpe entfernt ist, desto höher ist die mögliche Leistungsreduzierung, die fast in der dritten Potenz von der Durchflussmenge und linear von der Rohrlänge abhängt (*Bild 1*).

Möglichkeiten zur Reduzierung der Fernwärme-Rücklauf-temperatur in der Praxis

Neben der Hausanlage hat die Anschlussanlage einen entscheidenden Einfluss auf die Rücklauftemperatur im Fernwärmenetz. Im Folgenden wird besonders die Warmwasserbereitung als Mittel zur Reduzierung der Rücklauftemperatur im Fernwärmenetz dargestellt.

Optimierung der Warmwasserzirkulation

Zirkulationssysteme zur Warmhaltung der Trinkwarmwassernetze in Gebäuden haben eine nicht zu unterschätzende Auswirkung auf die Rücklauftemperatur im Fernwärmenetz. Sie sind häufig die Ursache für Rücklauftemperaturen von durchschnittlich über 55 °C, nicht nur in den Sommermonaten, sondern auch in der Übergangszeit. Obwohl Niedertemperatur-Heizsysteme immer häufiger eingesetzt werden, verhindern Zirkulationssysteme oft eine entsprechende Reduzierung der Rücklauftemperatur im Fernwärmenetz. Nicht nur die Höhe der Wärmeverluste in den Trinkwarmwassernetzen, sondern auch die Art ihrer Einbindung wirken sich dabei negativ aus.

Zur Minimierung des Aufwands zur Warmhaltung des Trinkwarmwasserverteil- und Zirkulationssystems existieren verschiedene Mög-

lichkeiten. Diese sind in *Tafel 1* dargestellt.

Mit Inliner-Zirkulationsrohren (1a) in den vertikalen Steigsträngen können rd. 50 % der gesamten Zirkulationsverluste vermieden werden, da hier die Zirkulationsrücklaufleitung innerhalb des Warmwasserverteilerrohrs geführt wird [3]. Durch den guten Wärmeübergang zwischen dem Zirkulationswasser im Inliner und dem im Gegenstrom fließenden Warmwasser im Ringraum ergibt sich bereits nach wenigen Metern eine Angleichung der Temperatur. Wird also thermostatisch eine zulässige Zirkulationsrücklauftemperatur von 55 °C am Austritt des Inliners eingestellt, wird nach einer Zapfung bei einer Warmwassertemperatur von 60 °C am Eintritt die Zirkulation thermostatisch unterbunden und erst nach einer Abkühlung auf 55 °C im unteren Teil des Strangs wieder freigegeben. Das Verfahren kann bei Zapfungen deshalb zu geringen Temperaturschwankungen beim Verbraucher führen. Diese Besonderheit tritt nicht auf bei einer parallelen Verlegung von Warmwasserstrang und Zirkulationsleitung in einer gemeinsamen Dämmschale (1b) ohne direkten Kontakt zwischen den Rohren [4].

Durch eine optimale Rohrdämmung (1c) lassen sich ebenfalls große Einsparungen erreichen. Gemäß Energieeinsparverordnung (EnEV) sind Warmwasserleitungen in Wohnungen, die in den Zirkulationskreislauf einbezogen sind, mit einer Mindestdicke der Dämmschicht zu versehen. Diese beträgt bei einem Rohrrinnendurchmesser bis 22 mm insgesamt 20 mm, bei einem Durchmesser zwischen 22 mm und 35 mm sind 30 mm erforderlich (bezogen auf eine Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/(m·K); [5]). Darüber hinausgehende Dämmdicken wirken sich positiv aus, sind in ihrer Wirkung jedoch nicht vergleichbar mit den oben beschriebenen Maßnahmen (1a) und (1b).

Bei der Drosselung des Volumenstroms in einem thermo-hydraulisch abgeglichenen System (2) kann der Differenzdruck im Zirkulationssystem an der Zirkulationspumpe der Anschlussanlage geregelt werden. Eine gleichmäßige Reduzierung der Zirkulationsrücklauftemperatur auf 55 °C führt dann zusätzlich zu einer bedeutenden Reduzierung des Zirkulationswärmebedarfs und der Pumpenergie bei gleichzei-

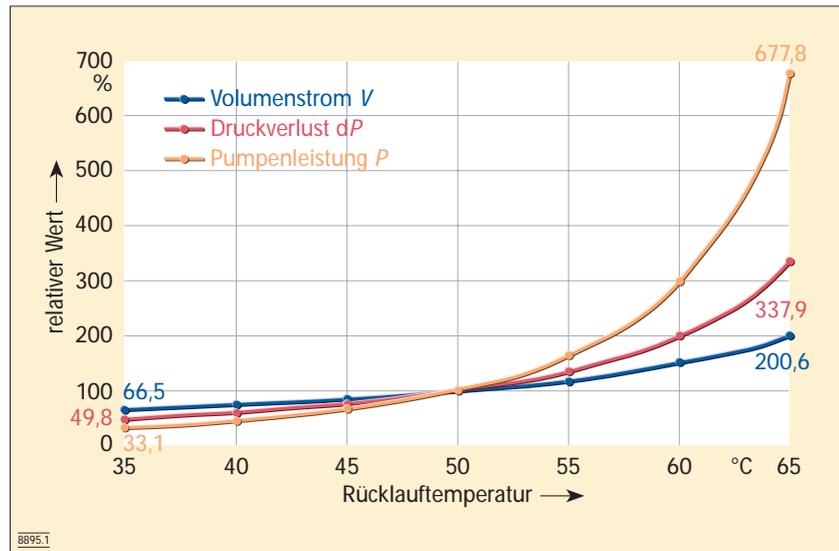


Bild 1. Auswirkungen der Fernwärmerücklauftemperatur auf den Betrieb eines Fernwärmenetzes im Sommer (Vorlauf 80 °C; Nennrücklauf 50 °C)

1. Verbesserung der Wärmedämmung der Rohrleitungen
 - a) Einsatz von Inliner-Zirkulationsrohren in den vertikalen Steigsträngen
 - b) Doppelrohrdämmung von Warmwasserstrang und Zirkulationsrohr
 - c) erhöhte Dämmdicke
2. Thermo-hydraulischer Abgleich des Zirkulationssystems
3. Verbesserung der Auskühlung des Zirkulationsrücklaufs am Trinkwassererwärmer auf 55 °C
 - a) Temperaturgesteuerter Intervallbetrieb der Zirkulationspumpe
 - b) Temperaturgesteuerte Durchsatzmengenregelung der Zirkulationspumpe
 - c) Thermostatische Drosselung der Durchsatzmenge am Trinkwassererwärmer
4. Abschaltung der Zirkulationspumpe für bis zu 8 h täglich

Tafel 1. Möglichkeiten zur Minimierung des Aufwands zur Warmhaltung des Trinkwarmwasserverteil- und Zirkulationssysteme

tig optimalem Warmwasserkomfort. Auch die Rücklauftemperatur im Fernwärmenetz kommt so stets dem möglichen Minimum nahe.

Während die ersten beiden Maßnahmen mit erheblichem Umbau- und Investitionsaufwand verbunden sind und im wesentlichen Sanierungs- und Neubaumaßnahmen vorbehalten bleiben, lassen sich die Maßnahmen (3) und (4) durch eine Anpassung der Anschlussanlage realisieren.

Der Intervallbetrieb der Zirkulationspumpe (3a) ist dann sinnvoll, wenn diese zu groß dimensioniert ist, ein thermo-hydraulischer Abgleich nicht erfolgt und nur eine geringe Auskühlung des Zirkulationswassers erzielt wird. Praxiserfahrungen zeigen, dass an Anschlussanlagen häufig nur Temperaturspreizungen von 1 bis 3 K auftreten. Die zulässige Auskühlung auf 55 °C am Eintritt des Zirkulationsrücklaufs in den Trinkwasser-

erwärmer könnte dann unter anderem durch einen Intervallbetrieb der Umwälzpumpe erreicht werden. Neben dem Pumpenergiebedarf werden auch die Wärmeverluste reduziert. Neueste Untersuchungen zum Intervallbetrieb in Heizsystemen zeigen jedoch, dass dieser Effekt bedeutend geringer ist, als bei einem thermo-hydraulisch abgeglichenen System [6]. Bei Intervallbetrieb der Umwälzpumpe ist es möglich, dass einzelne Strangabschnitte aufgrund eines geringeren Rohrquerschnitts schneller bzw. mehr auskühlen als das Wasser im Zirkulationsrücklauf am Trinkwassererwärmer. Deshalb ist zunächst die Schalttemperatur am Eintritt der Zirkulation in den Trinkwassererwärmer für jede konkrete Anlage vor Ort zu ermitteln. Sie hängt von der Gestaltung und Ausdehnung des Leitungsnetzes ab. Nach wenigen vollständigen Umwälzungen des Leitungsinhalts sind die Leitungen

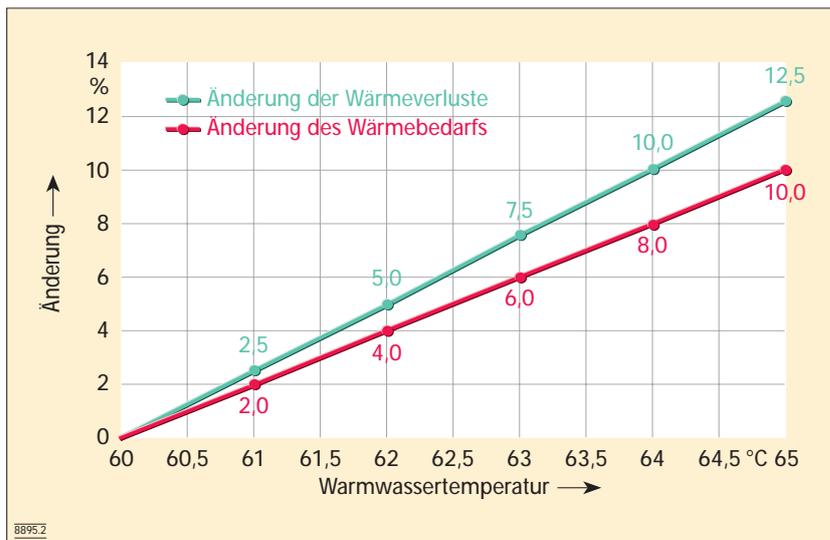


Bild 2. Auswirkungen erhöhter Warmwassertemperaturen auf Wärmebedarf und Wärmeverluste (Raumtemperatur 20 °C; kaltes Trinkwasser 10 °C)

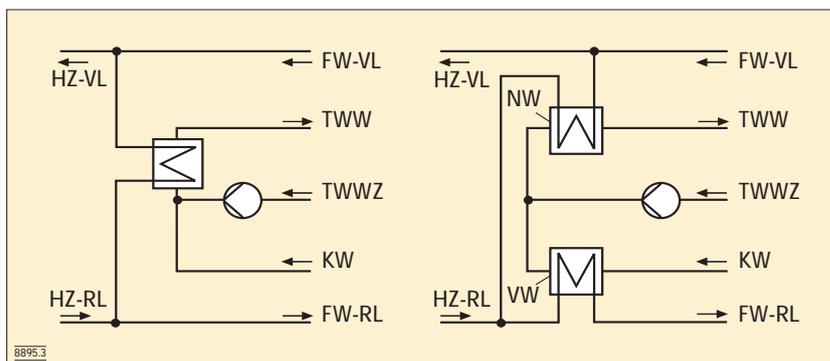


Bild 3. Trinkwarmwasserbereitung im Durchflussprinzip – 1-stufig (links) und 2-stufig mit Vorwärmer (VW) und Nachwärmer (NW) (rechts)

wieder gleichmäßig durchwärmt. Dabei stellen sich jedoch im Warmwasserverteilsystem insgesamt höhere Mitteltemperaturen und Durchsatzmengen ein, als bei einem vollständig thermo-hydraulisch abgeglichenen System im stationären Betrieb. Dies wirkt sich negativ auf die Wärmeverluste und die erzielbaren Rücklauftemperaturen aus.

Als temporäre Lösungen bis zu einem thermo-hydraulischen Abgleich des Gesamtsystems (2) können auch die temperaturgesteuerte Regelung der Zirkulationsumwälzmenge am Trinkwassererwärmer mit einer temperaturgeregelten Zirkulationspumpe (3b) oder einer thermostatisch gedrosselten und differenzdruckgeregelten Zirkulationspumpe (3c) zur Anwendung kommen. Dabei ist die einzustellende Temperatur aus oben genannten Gründen für jede konkrete Anlage vor Ort zu ermitteln.

Ein zufriedenstellender Komfort und die gewünschte Reduzierung der Wärmeverluste können bei allen beschriebenen Verfahren nur dann erreicht werden, wenn auch die Warmwasseraustrittstemperatur am Trinkwassererwärmer mit hoher Genauigkeit geregelt wird. Denn je Kelvin Temperaturerhöhung am Austritt des Trinkwassererwärmers steigen die Wärmeverluste um rd. 2,5 % (Bild 2). Außerdem ist davon auszugehen, dass in der Praxis nicht jede Verbrauchsarmatur thermostatisch die Warmwasseraustrittstemperatur regelt. Deshalb wirkt sich eine erhöhte Warmwassertemperatur auch auf den Wärmebedarf zur Warmwasserbereitung insgesamt aus. Jedes Kelvin erhöhte Warmwasserszapfentemperatur würde den Wärmebedarf um rd. 2 % erhöhen (Bild 2); und mit der erhöhten Warmwassertemperatur steigt auch die Rücklauftemperatur.

Die Forderungen des DVGW-Arbeitsblattes W 551 bieten – selbst in einem optimal thermo-hydraulisch abgeglichenen System – nur wenig Spielraum für eine weitere Reduzierung der Wärmeverluste. Die minimale Warmwassertemperatur muss an beliebiger Stelle im Warmwasserverteilsystem 60 °C betragen. Im Zirkulationssystem darf sie 55 °C nicht unterschreiten [7].

Das DVGW-Arbeitsblatt gestattet jedoch eine Abschaltung der Zirkulationspumpe (4) für täglich maximal 8 h. In dieser Zeit kann das Leitungssystem – sofern keine Warmwasserentnahme auftritt – nahezu vollständig auf Schacht- bzw. Kellertemperatur auskühlen. Für die Wiederaufheizung des Wasserinhalts und des Rohrsystems wird anschließend jedoch eine Energiemenge benötigt, die den Wärmeverlusten bei einem Zirkulationsbetrieb von mehreren Stunden entspricht. Bei Ausschöpfung der 8 h für die Abschaltung der Zirkulation können rd. 25 % der gesamten Zirkulationsverluste vermieden werden [4]. Dies ist jedoch nur möglich, wenn in dieser Zeit keine Warmwasserzapfung erfolgt. Ist dies nicht der Fall, würde zumindest ein Teil der Verteilleitungen wieder auf 60 °C erwärmt werden und anschließend erneut auskühlen.

Da bei abgeschalteter Trinkwarmwasserzirkulation keine Erhöhung der Rücklauftemperatur im Fernwärmenetz erfolgen kann, ist es empfehlenswert, neben dem thermo-hydraulischen Abgleich (2) auch die Umwälzpumpen in der Nacht abzuschalten (4).

Alle genannten Maßnahmen zur Energieeinsparung bei der Warmwasserzirkulation dürfen nur dann zur Anwendung kommen, wenn die Trinkwasserhygiene in jedem Fall gewährleistet ist. Die genaue Kenntnis der jeweiligen Hausanlage ist deshalb unumgänglich.

Der Einfluss der Art der Einbindung von Zirkulationssystemen in die Anschlussanlage auf die Rücklauftemperatur im Fernwärmenetz muss wegen der Vielfalt der Ausführungsformen in der Praxis weitergehenden Betrachtungen vorbehalten bleiben.

2-stufige Warmwasserbereitung im Durchflussprinzip

Die 2-stufige Trinkwarmwasserbereitung im Durchflussprinzip zählt zum Stand der Technik. Dieses Ver-

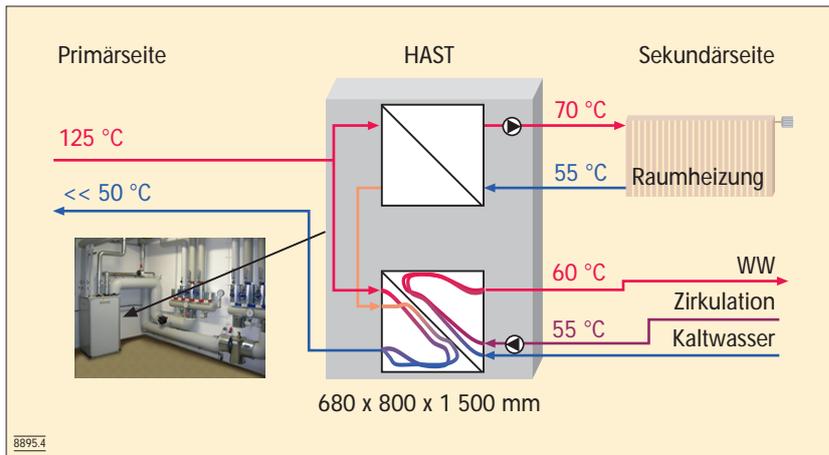


Bild 4. Hausanschlussstation (HAST) Thermo Integral mit 2-stufiger Warmwasserbereitung im Durchflussprinzip – Prinzipschaltbild

fahren wird beispielsweise in den Ländern der ehemaligen Sowjetunion und wurde auch in der DDR grundsätzlich eingesetzt, wenn das Verhältnis der Trinkwarmwasserleistung im Durchflussprinzip zur übrigen Heizleistung des Fernwärmeanschlusses zwischen 0,2 und 1 betrug [8;9]. Außerhalb dieses Intervalls kam die 1-stufige Warmwasserbereitung im Durchflussprinzip zur Anwendung (Bild 3).

Wegen der primärseitigen Einbindung und der damit gegebenen Möglichkeit der Vermischung von Trink- und Fernwärmewasser bei Leckagen im Wärmeübertrager ist jedoch diese effektive Variante der Rücklaufauskühlung in Deutschland praktisch in Vergessenheit geraten. Dabei bieten neue technische Lösungen die Möglichkeit, zur hygienischen Warmwasserbereitung im Durchflussprinzip zurückzukehren.

Der Einsatz der 2-stufigen Warmwasserbereitung im Durchflussprinzip ist dabei nicht nur – wie häufig angenommen – auf große Liegenschaften begrenzt. So wurde eine Pilotanlage im Durchflussprinzip für nur 16 Wohneinheiten mit einer Warmwasserleistung von 60 kW untersucht [10]. In der Anschlussanlage wird das Trinkwasser 2-stufig erwärmt (Bild 3), wobei der Fernwärmeteilstrom aus dem Heizungssystem mit durch den Vorwärmer der Trinkwarmwasserbereitung fließt und dabei weiter auskühlt. Es traten im Praxisbetrieb häufige Warmwasserentnahmen zwischen 6 und 23 Uhr auf. Im Sommer sank die Fernwärmerücklauftemperatur am Tag bis auf 20 °C, im Winter bis auf 45 °C.

Anschlussstation Thermo Integral

Eine hohe Rücklaufauskühlung kann auch mit nur einem Trinkwarmwassererwärmer im Durchflussprinzip erreicht werden. Mit einem patentierten Verfahren können die Vorteile der 2-stufigen Schaltung in nur einem Wärmeübertrager realisiert werden (Bild 4).

Besonderheiten und Vorteile gegenüber Speicherladesystemen
Im Folgenden sind die Besonderheiten und Vorteile der 2-stufigen Warmwasserbereitung im Durchflussprinzip nach Thermo Integral gegenüber Speicherladesystemen dargestellt.

- Das Warmwasser wird erst bei Bedarf im Durchflussprinzip in einem gelöteten Plattenwärmeübertrager aus Edelstahl bereitet. Damit ist das Warmwasser stets frisch und nicht abgestanden. Legionellenbildung ist so nicht möglich.
- Durch die Ausnutzung der Restwärme des Heizungsrücklaufs zur Brauchwasservorwärmung wird der Fernwärmerücklauf wesentlich mehr ausgekühlt. Dadurch kann der Fernwärmeanschlusswert etwa auf den Leistungswert der Heizung des versorgten Gebäudes reduziert werden. Dies führt zu wesentlich geringeren Betriebskosten im Vergleich zu einer Parallelschaltung.
- Das für die Temperaturregelung verwendete Thermostatventil arbeitet ohne Fremdenergie, also auch bei Stromausfall. Dies erhöht die Versorgungssicherheit. Die Regelung ist auch bei Anlagen nach dem Durchflussprinzip von großer Bedeutung. Ein richtig installierter,

schnell reagierender Thermostat führt zu höchster Regelgüte auf der Warmwasserseite und verhindert so die Überhöhung der Wandtemperatur des Wärmeübertragers bei den schnell wechselnden Betriebsbedingungen der Warmwasserbereitung im Durchflussbetrieb. Dies verhindert die Bildung von Kalkablagerungen und ist die Voraussetzung für die Reduzierung des Wärmebedarfs für die Warmwasserbereitung und eine optimale Auskühlung des Fernwärmeeinstroms.

- Der Plattenwärmeübertrager wird durch technische Maßnahmen auch bei kleinsten Zapfmengen auf beiden Seiten gleichmäßig durchströmt. Dadurch wird eine örtliche Überhitzung der Wärmeübertragerwände und die Bildung von Kalkablagerungen vermieden. Der Wärmeübertrager ist ausgelegt auf maximale Strömungsgeschwindigkeit auf der Warmwasserseite. Dies verhindert die Ablagerung von Kalkpartikeln im Wärmeübertrager.

- Im Betrieb des Durchflusswarmwasserbereiters treten Zapfungen und reiner Zirkulationsbetrieb im steten Wechsel auf. Dadurch ändert sich die mittlere Wandtemperatur so sehr, dass eventuell angelagerte Kalkpartikel durch den unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten von Edelstahl und Kalk wieder abplatzen und ausgetragen werden.

- Bei einer Rücklauftemperatur im Fernwärmenetz von über 60 °C im Winter geht die Zirkulationspumpe thermostatisch in Dauerbetrieb. Dies verhindert die Ablagerung von Kalkpartikeln im Wärmeübertrager. Die Zirkulationspumpe schaltet bei Warmwasserzapfungen sofort wieder ab, wenn die Zirkulation durch ein Zeitprogramm planmäßig unterbrochen sein sollte. Dieser »Kalkschutzbetrieb« wirkt sich auf die Wärmeverluste insgesamt nicht negativ aus, da bei Rücklauftemperaturen über 60 °C ohnehin Heizbetrieb herrscht [4]. Die Rücklauftemperaturen werden weiter gesenkt.

- Eine Hausanschlussstation (HAST) oder ein Frischwassermodul (FWM) Thermo Integral benötigen nur eine sehr geringe Stellfläche von rd. 680 x 800 mm (0,54 m²) bzw. 680 x 400 mm (0,27 m²). Warmwasserspeicher und das entsprechende Speicherlademodul hingegen benötigen eine wesentlich größere Aufstellfläche (Bild 5). Die nicht benötigte Fläche kann anderweitig genutzt werden. Außerdem ist die Einbringung

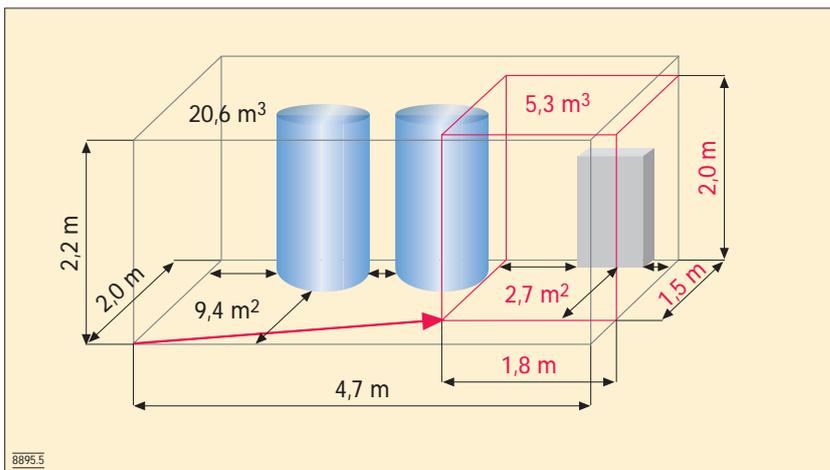


Bild 5. Flächen- und Raumbedarf eines Frischwassermoduls (FWM) Thermo Integral im Vergleich mit einem Speicherladesystem (235 kW im Durchflussprinzip; 2 x 655 l Speicherladesystem)

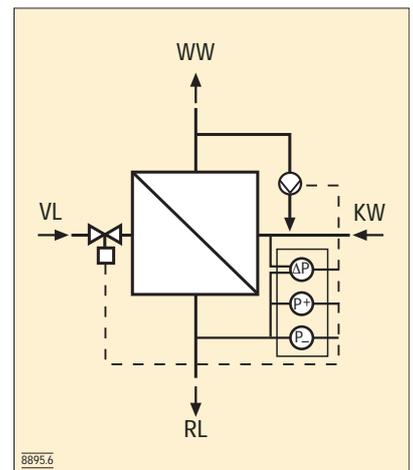


Bild 6. Absicherung eines Wärmeübertragers in HAST/FWM Thermo Integral



Bild 7. Leckageschalter DeltaHEX-2 zur Absicherung von Wärmeübertragern

einer solchen Anschlussstation bzw. eines Frischwassermoduls in den Aufstellungsraum leichter. Der Montageaufwand verringert sich auf weniger als die Hälfte

- Warmwasserspeicher geben ständig Wärme in den Aufstellungsraum ab. Anschlussstationen oder Frischwassermodule vom Typ Thermo Integral strahlen aufgrund der geringen Oberfläche wesentlich weniger Wärme ab. Dies reduziert die Fernwärmekosten erheblich.

Die Primäransbindung des Warmwasserbereiters ist möglich durch eine zuverlässige Absicherung des Wärmeübertragers bei einer Leckage. Durch die Primäransbindung entfällt der Aufwand für einen Zwischenkreislauf:

- Ein zweiter Wärmeübertrager, eine interne Umwälzpumpe, ein Ausdehnungsgefäß, eine Druckabsicherung und eine komplexe Rege-

lung von Primär- und Zwischenkreislauf sind nicht notwendig.

- Eine ständig zu überwindende doppelte Temperaturdifferenz an beiden Wärmeübertragern entfällt. Um diese zu vermeiden, wären größere Wärmeübertragungsflächen notwendig (bis hin zu mehr als dem Sechsfachen eines einzelnen Apparats). Da diese Bedingung in der Praxis häufig nicht beachtet wird, sind höhere Vorlauftemperaturen erforderlich, um die gewünschten Warmwassertemperaturen von 60 bis 70 °C zu erreichen. Ebenso entstehen höhere Rücklauftemperaturen im Fernwärmenetz.

- Zudem steigen bei einem Zwischenkreislauf die Betriebskosten durch den kontinuierlichen Strombedarf für die Umwälzpumpe sowie die Wartung und Instandhaltung der zusätzlichen Bauteile, ohne die sich die Zuverlässigkeit des Systems reduzieren würde.

Absicherung des primärseitig eingebundenen Trinkwarmwasserbereiters

Die primärseitige Einbindung des Trinkwarmwasserbereiters ist nur möglich, wenn ein Wassereintrich bei einer Leckage sicher signalisiert und verhindert wird. Dafür wurde der Leckageschalter DeltaHEX (HEX für Heat Exchanger) entwickelt, der folgende Werte überwacht (**Bild 6**):

- Maximaldruck auf der Sekundärseite (Leckage durch Primärwassereintrich),
- Minimaldruck auf der Sekundärseite (Wassermangel, Leckage nach außen),

- Differenzdruck zwischen Primär- und Sekundärseite (Leckage führt zu Druckausgleich).

Damit kann mit dem Leckageschalter auch eine Leckage des Wärmeübertragers nachgewiesen werden, wenn der Maximaldruck auf der Sekundärseite nicht erreicht wird. Während ein Wassermangel selbstquittierend ist und die Zirkulationspumpe bei erneutem Anstieg des Wasserdrucks automatisch wieder in Betrieb geht, bleibt die Anschlussanlage bei einer Leckage des Wärmeübertragers blockiert, bis sie vor Ort nach Wiederherstellen eines ordnungsgemäßen Betriebs wieder entriegelt wird. Auch der Heizungswärmeübertrager wird mit einem eigenen Leckageschalter DeltaHEX überwacht (**Bild 7**).

Praxiserfahrungen mit der Anschlussstation Thermo Integral

Mehrere Hausstationen und Frischwassermodule vom Typ Thermo Integral wurden seit dem Jahr 2006 im Versorgungsgebiet der Stadtwerke München im Rahmen der Dampfnetzumstellung installiert. In **Bild 8** und **9** sind die Anschlussanlagen vor und nach der Umstellung dargestellt. Das Gebäude mit 120 Apartments und Gewerbeeinrichtungen im Erdgeschoss wurde bisher über ein mit Dampf direkt beheiztes Speichersystem versorgt, das aus zwei stehenden Speichersystemen mit je 1 500 l Inhalt bestand (**Tafel 2**).

In Speichersystemen mit innen liegenden Spiralwärmeübertragern ohne externen Trinkwasservorwärmer werden oft nur Fernwärme-



Bild 8. Anschlussanlage vor der Umstellung, betrieben mit Dampf, 2 x 1500 l

Bild 9. HAST Thermo Integral nach Umstellung und neuer Nutzung des ehemaligen Speicheraufstellungsplatzes

rücklauftemperaturen zwischen 55 und 63 °C erreicht. Ursachen sind neben dem Grundprinzip des schlechteren Wärmeübergangs an Heizschlangen in freier Konvektion auch die Unzulänglichkeiten der Regelung der Speicherladung und der Einbindung des Zirkulationsrücklaufs in den Speicher. Deshalb wird ein Speicher oft nachgeheizt. Je nach Trinkwarmwasserbedarf und Zirkulationsverlusten im Warmwasserverteilsystem sind durchschnittliche Rücklauftemperaturen im Fernwärmenetz unter 60 °C nur selten zu erzielen – und dies auch nur mit optimal konstruierten Speicherwassererwärmern und reichlich bemessener Wärmeübertragerfläche.

In Bild 10 wird die hohe Regelgüte der eingesetzten Thermostatregler ohne Hilfsenergie deutlich. Die gewählte Temperaturmessstelle (KW/Zi) zeigt deutlich die Zapfcharakteristik. Trotz größter Temperaturabsenkungen an dieser Messstelle kommt es zu keinen nennenswerten Schwankungen der Warm-

	vor der Umstellung	nach der Umstellung
Typ der Station	Dampf, direkt beheizt Warmwasserspeicher 2 x 1 500 l	Heißwasser 125°C/80 °C, direkt beheizt, 2-stufiges Durchflusssystem Thermo Integral, elektronische Leckageüberwachung der Plattenwärmeübertrager
Anschlussleistung	588 kW gesamt HZ: 500 kW + WWB: 88 kW	4 m ³ /h gesamt entspricht 295 kW / 65 K HZ: 295 kW / WWB: 274 kW (ermittelt nach [9])
Platzbedarf	12,4 m ²	3,4 m ²

Tafel 2. Vergleich der Parameter der Anschlussstation vor und nach der Umstellung

wassertemperatur (gemessen unmittelbar in der Anschlussanlage).

Während in Bild 11 die hohe Konstanz der Warmwasseraustrittstemperatur dargestellt ist, zeigt Bild 12 die große Abkühlung des Primär-rücklaufs aus der Heizung bei allen Zapfungen. Im Resultat wird eine zeitlich gemittelte Primär-rücklauf-temperatur von rd. 48,4 °C erreicht – bei einer mittleren Primär-rück-

lauf-temperatur aus der Heizung von 52,8 °C (zuzüglich Messtoleranz der Anlegefühler von rd. 4 K). In der Messwerterfassung fehlt allerdings noch die große Abkühlung in der Mittagsspitze, sodass insgesamt mittlere Primär-rücklauf-temperaturen von deutlich unter 50 °C erreicht werden. Es wird außerdem deutlich, dass die Rück-lauf-temperatur aus der Heizung

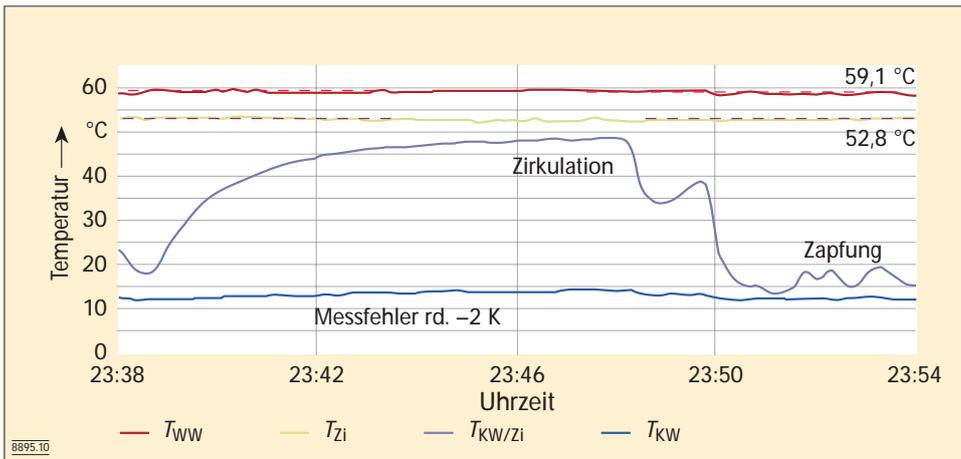


Bild 10. Messwerte an einer HAST Thermo Integral – Trinkwasserseite

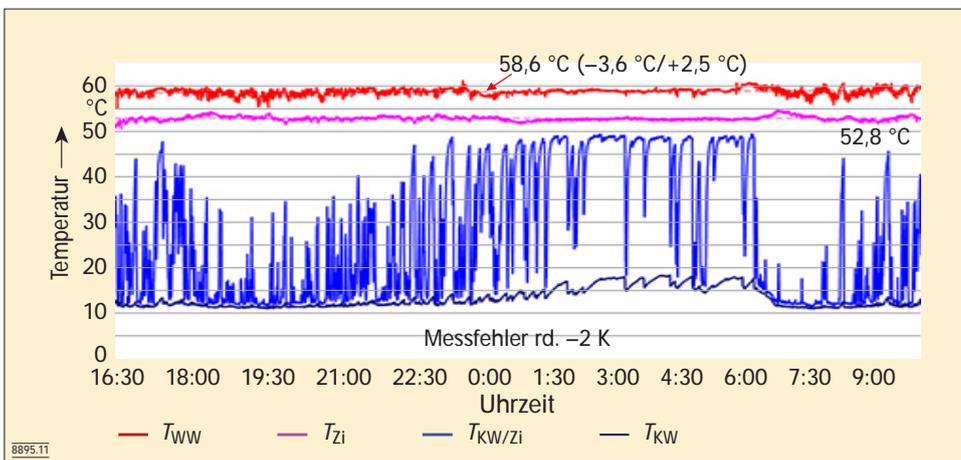


Bild 11. Messwerte an einer HAST Thermo Integral – Trinkwasserseite

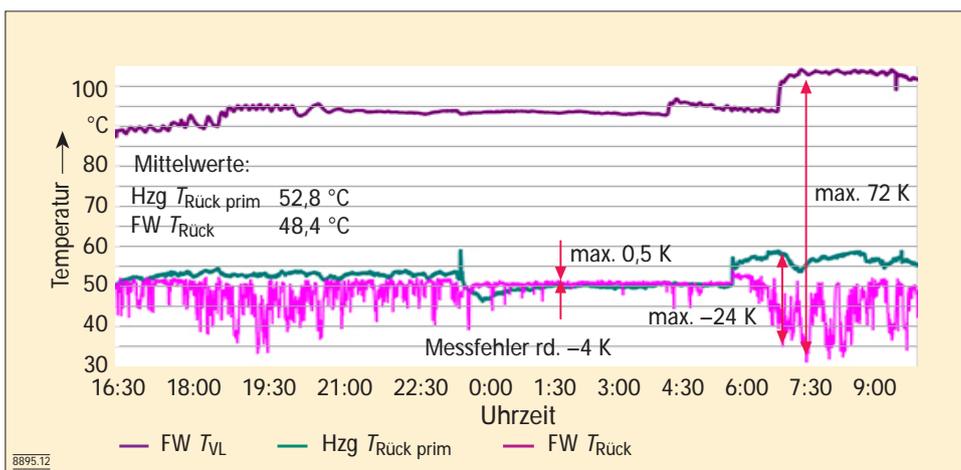


Bild 12. Messwerte an einer HAST Thermo Integral – Primärseite

(Primär) am Tag mit bis zu 24 K weit unterschritten und in der Nacht durch den Einfluss der Warmwasserzirkulation mit rd. 0,5 K nur geringfügig überschritten wird, sodass die Rücklauftemperatur aus

der Heizung durchschnittlich um rd. 4,4 K unterschritten wird. Die maximale Primärtemperaturspitzung an diesem Tag betrug in der Morgenspitze rd. 72 K (103 °C – 31 °C).

Nutzen innovativer Anschlussstationen für Fernwärmekunden

Im Folgenden wird dargestellt, dass auch der Fernwärmekunde von einer innovativen Anschlussstation profitiert – auch ohne zusätzliche finanzielle Anreize durch den Versorger. Die Untersuchung basiert auf einem Musterhaus, wie es dem mittleren Anschlusswert der AGFW-Mitgliedsunternehmen im Jahr 2005 entsprach [11] (Tafel 3).

Anschlusswert – ein Paradigmenwechsel ist erforderlich

Häufig wird argumentiert, dass die Fernwärme-Anschlussleistung bei einer Brauchwasserbereitung im Durchflussprinzip wesentlich höher ist als bei Speicherladesystemen. Bei der Anschlussanlage Thermo Integral mit 162 kW Anschlussleistung ist diese zumindest bezüglich des Absolutwerts um rd. 8 % niedriger als die Heizleistung und damit der Anschlusswert des Gebäudes (Anschlusswert: 162 kW, Warmwasserbereitung: 148 kW).

Bei einem Hausanschluss wird üblicherweise mit einem Volumenstrombegrenzungsventil im Rücklauf der maximal mögliche Volumenstrom eingestellt. Dieser sei wie folgt definiert: 162 kW; 125/60 °C ⇒ 2,13 t/h = 2,16 m³/h im Primärücklauf. Dieser Volumenstrom genügt, um im Sommer und in der Übergangszeit die Warmwasserbereitung zu sichern (148 kW; 80/21 °C). Wie verhält es sich aber in der Heizperiode?

Da es in Deutschland derzeit keine verbindliche Norm zur Auslegung von Warmwasserbereitern mit Durchflussprinzip gibt, werden im Folgenden Vergleiche mit ehemals in der Sowjetunion bzw. aktuell in Russland geltenden Normen durchgeführt. Dort war und ist nach wie vor die Warmwasserbereitung im Durchflussprinzip obligatorisch. Danach müsste der Kunde theoretisch über eine Anschlussleistung von 310 kW (4,38 t/h) bzw. 372 kW (5,58 t/h) verfügen (je nach zugrunde gelegter Normkurven nach SNIp 2.04.07.86 [14] bzw. SP 41-101-95 [8] in Bild 13b). Bei einer Spreizung von 65 K entspräche dies Anschlussleistungen von 334 kW (4,38 t/h) bzw. 425 kW (5,58 t/h).

Eine Anschlussstation Thermo Integral mit 2-stufiger Warmwasserbereitung im Durchflussprinzip benötigt einen maximalen Primär-Vo-

Musterhaus

- Hausanschlusswert 162 kW (Heizlast)
- beheizte Fläche 2 000 m²
- jährlicher Gesamtwärmebedarf 288 MWh/a

Wohnungen¹

- mittlere Wohnungsgröße 64,5 m²
⇒ 31 WE
- durchschnittlicher Wärmebedarf Warmwasserbereitung: 2 817 kWh/(WE · a)

Warmwasserbereitung mit Speicherwarmwasserbereiter²

- Raumzahl 2,5
- Belegungszahl 2,3
- Bedarfskennzahl $N = 20,4$ Einheitswohnungen
- Standardbadewanne mit 140 l, Füllzeit von 10 min mit 45 °C
- Kalt-/Warmwassertemperatur 10/60 °C

Alternative Warmwasserbereitung im Durchflussprinzip³

- Gleichzeitigkeitsfaktor TU Dresden für $n = 31$ WE ⇒ $f_{TU} = 0,1412$

Sekundärseite

- Radiatorheizung mit einer Spreizung von 75/55 °C bei einer Außentemperatur von -16 °C
- Wärmeübertrager für die indirekte Heizungseinbindung soll eine Temperaturdifferenz am Austritt von durchgehend 5 K haben

¹ Durchschnittswerte aus [12]

² entsprechend DIN 4708 [13]

³ Gleichzeitigkeitsverteilung nach Forschungsergebnissen der TU Dresden [9]

Tafel 3. Musterhaus

lumenstrom von 2,74 t/h. Dies entspricht einem Anschlusswert von 209 kW (65 K) und übersteigt den vorhandenen Anschlusswert um 47 kW (29 %).

Das Verfahren der gemischten 2-stufigen Warmwasserbereitung im Durchflussprinzip nach Thermo Integral ermöglicht somit in der vorliegenden Konstellation ohne Komforteinbußen bereits eine Reduzierung der Anschlussleistung um bis zu 37,4 % bzw. 50,8 % gegenüber anderwärts gültigen Normen (entsprechend [14] bzw. [8]). Ebenso fällt der Hausanschluss kleiner aus (DN 25). Wie gelingt dies? Das primäre Rücklaufwasser aus der Heizung wird bei jeder Warmwasserbereitung mit dem gesamten Wärmeübertrager weitestgehend ausgekühlt. Rücklauftemperaturen von rd. 20 °C bei Spitzenzapfungen sind möglich (Bild 13a). Damit erhöht

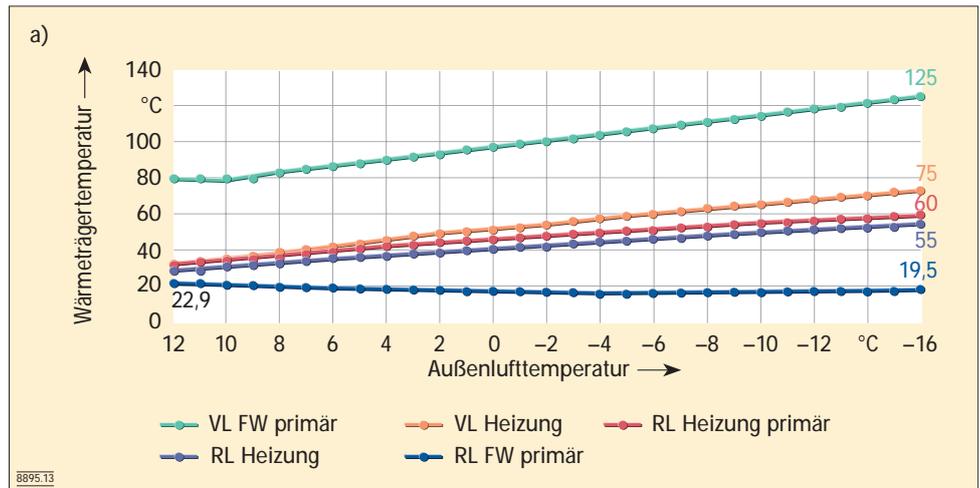


Bild 13a. Temperaturen an einer HAST Thermo Integral mit 162 kW Heizleistung und 148 kW Warmwasserbedarf (Musterhaus)

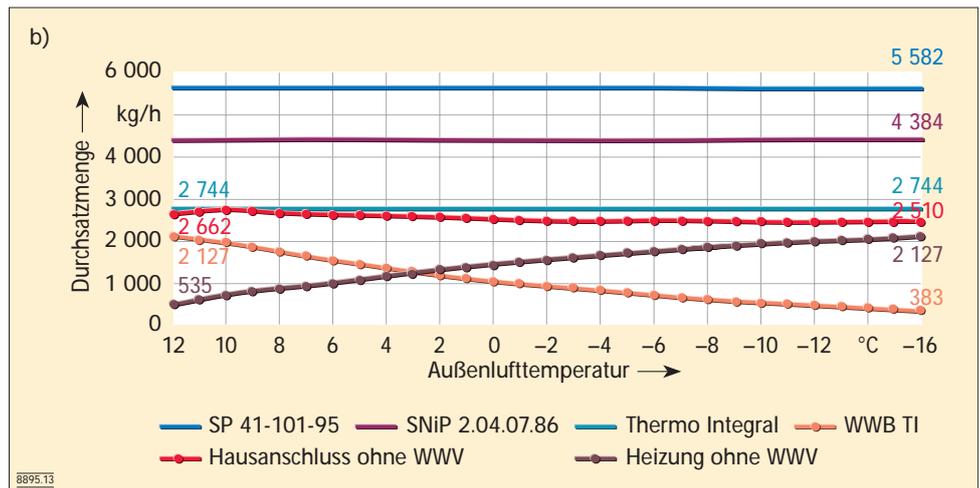


Bild 13b. Primärdurchsatzmengen an einer HAST Thermo Integral mit 162 kW Heizleistung und 148 kW Warmwasserbedarf (Musterhaus)

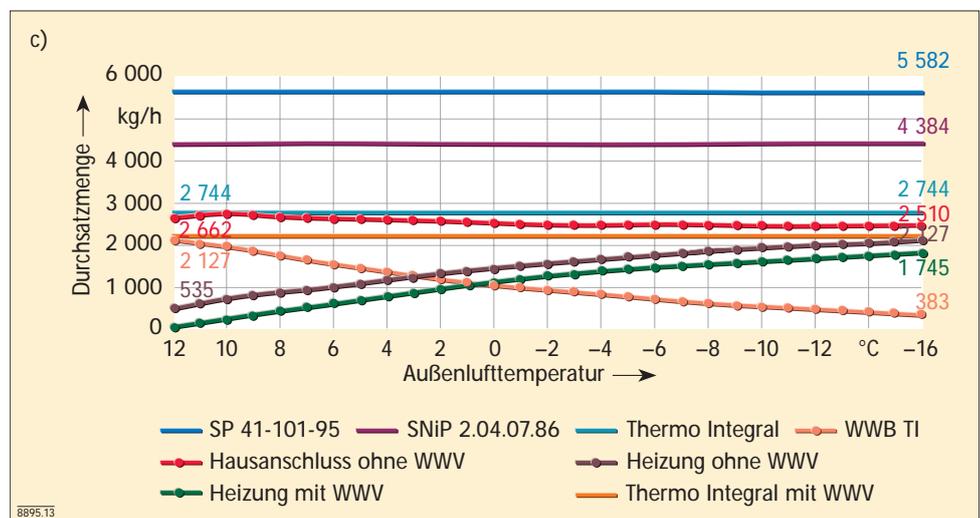


Bild 13c. Primärdurchsatzmengen an einer HAST Thermo Integral mit Warmwasservorrangschaltung (WWV) (Musterhaus)

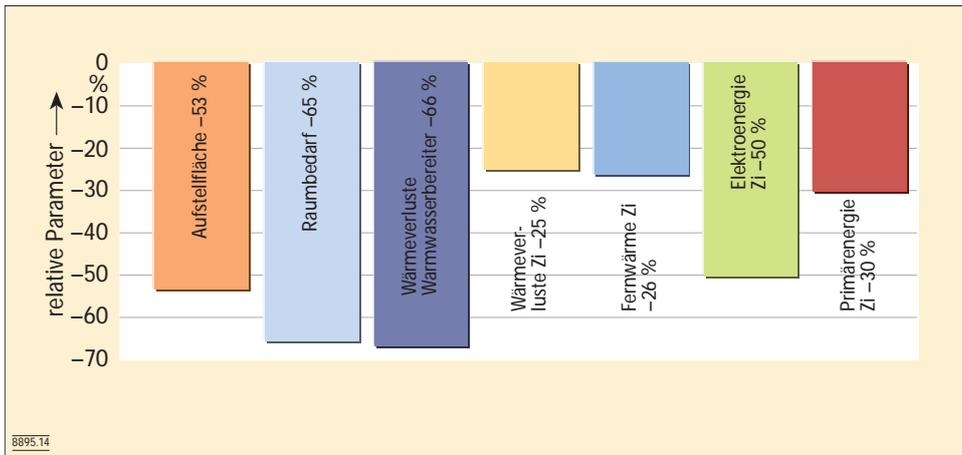


Bild 14. Mögliche Reduzierung einzelner Parameter mit einem FWM Thermo Integral gegenüber einem Speicherladesystem (Musterhaus)

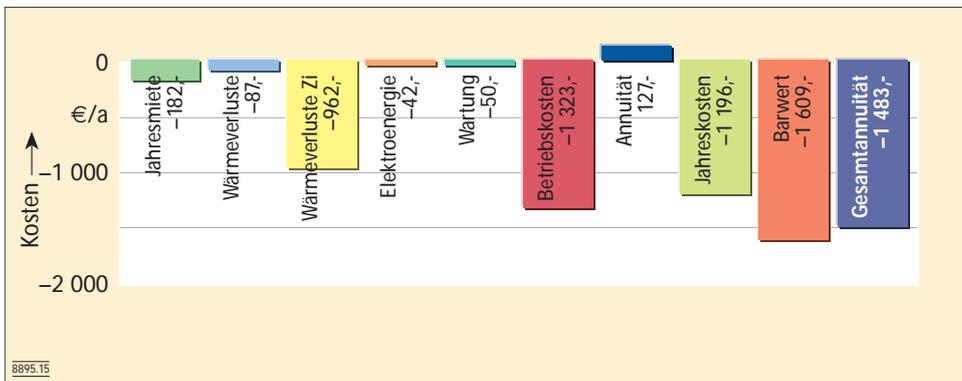


Bild 15. Mögliche Kostensenkungen mit einem Frischwassermodul (FWM) Thermo Integral gegenüber einem Speicherladesystem (Musterhaus)

sich die Spreizung im Auslegungspunkt um bis zu 40 K (bzw. 61,5 %) auf maximal 105 K. Im vorliegenden Fall bleibt die erforderliche Primärwassermenge über die gesamte Heizsaison nahezu konstant (Bild 13b). Im »Knickpunkt« der Fernwärmeheizkurve bei einer Außentemperatur von 10 °C tritt ein leichtes Maximum der erforderlichen Primärwassermenge auf, das Minimum liegt im Auslegungspunkt (2,51 t/h). Um eine Unterversorgung in der Übergangszeit zu vermeiden, wäre ein Mengenbegrenzer auf die Durchsatzmenge im »Knickpunkt« der Fernwärmeheizkurve ausulegen.

Die 31 Wohnungen des AGFW-Musterhauses können mit einer Spitzenleistung der Warmwasserbereitung im Durchflussprinzip von 148 kW mit Warmwasser versorgt werden. Demgegenüber wäre ein Speicher mit rd. 433 l Inhalt (verfügbar ist beispielsweise ein 490 l-Speicher) mit einer Heizleistung von 73 kW erforderlich (ohne Nachla-

dung bei einer Speicheraufheizzeit von 20 min), um die 31 Wohnungen ausreichend mit Warmwasser zu versorgen. Der Kesselzuschlag nach DIN 4708 würde rd. 49 kW betragen. In der Praxis wird auf den Kesselzuschlag verzichtet und eine Warmwasservorrangschaltung genutzt.

Es fällt auf, dass die benötigte Mehrleistung im Durchflussprinzip (47 kW) sehr gut mit dem Kesselzuschlag übereinstimmt (49 kW). Dies bedeutet, dass in dem vorliegenden Fall auch beim Einsatz einer Anschlussstation Thermo Integral mit Warmwasservorrangschaltung die Heizleistung des versorgten Gebäudes zur Festlegung des Anschlusswertes genügt (Bild 13c). Allerdings kann dies nicht verallgemeinert werden. Deshalb ist in jedem konkreten Fall das Verhältnis der thermischen Leistungen der Gebäudeheizung und der 2-stufigen Warmwasserbereitung im Durchflussprinzip gesondert zu betrachten.

Damit wird aber deutlich, dass die Warmwasserbereitung im Durch-

flussprinzip nach Thermo Integral einen Paradigmenwechsel bezüglich der notwendigen Anschlussleistung erforderlich macht: *Dieses Verfahren benötigt in den meisten Fällen keine höhere Anschlussleistung als herkömmliche Anschlussstationen mit Speicherladesystem und Warmwasservorrangschaltung – und zwar eine der Hausheizung entsprechende Leistung.* Damit entstehen sowohl für den Versorger als auch für den Fernwärmekunden keinerlei Nachteile.

Nutzen für einen Fernwärmekunden

Hausstationen bzw. Frischwassermodule vom Typ Thermo Integral bieten die Möglichkeit, die Zirkulationspumpe über einen Zeitraum von maximal 8 h/d abzuschalten. Dadurch und durch die nicht benötigte Speicherladepumpe werden die Wärmeverluste und der Strombedarf reduziert. Die kompakte Ausführung der Station verringert die Wärmeverluste in den Aufstellungsraum. Außerdem wird durch die kompakte und gekapselte Ausführung zusätzlicher Kellerraum für andere Zwecke nutzbar (Bild 9 und 14).

Wie die Lebenszykluskosten (Barwert-Methode) zeigen, amortisieren sich die geringfügig höheren Investitionskosten eines Frischwassermoduls Thermo Integral im Fall des betrachteten AGFW-Musterhauses bereits in weniger als einem Jahr (9 Monaten) (Bild 15 und 16). Über die gesamte Lebensdauer des Warmwasserbereiters von 15 Jahren betragen die Investitionskosten lediglich rd. 33 % der Gesamtkosten – ohne die eigentliche Warmwasserbereitung, die in beiden Fällen als gleich angesehen wird. Gegenüber einem Speicherladesystem lassen sich im Fall des betrachteten Musterhauses die Kosten um insgesamt rd. 22 200 € reduzieren, was selbst die Investitionskosten des Frischwassermoduls insgesamt übertrifft. Bei Großanlagen, bei denen Speicherladesysteme mit mehreren Speichern notwendig wären, sind im Vergleich auch die Investitionskosten für das Frischwassermodul Thermo Integral bedeutend geringer.

Noch unbeachtet blieb der mögliche monetäre Vorteil aus niedrigeren Fernwärmerrücklauftemperaturen bei einer geänderten Tarifstruktur [15]. Nicht zuletzt steht den Kunden frisches, im Durchflussprinzip bereitetes Trinkwarmwas-

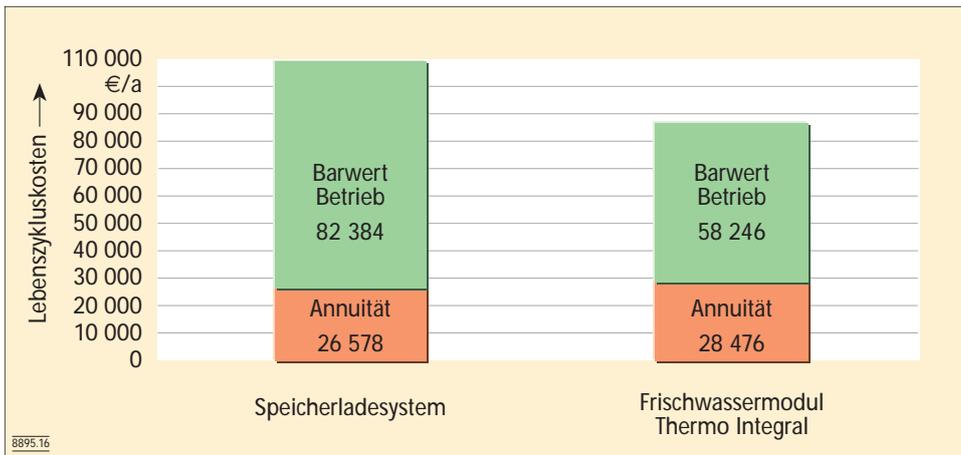


Bild 16. Vergleich der Lebenszykluskosten eines FWM Thermo Integral mit einem Speicherladesystem nach der Barwert-Methode ohne Warmwasserbereitung

ser mit einer sehr hohen Regelgüte zur Verfügung. Und Gesundheit kann man bekanntlich nicht mit Geld aufwiegen.

Fazit

Die standardisierten Hausanschlussstationen und Frischwassermodule vom Typ Thermo Integral erhöhen volkswirtschaftlich gesehen die Energieeffizienz um rd. 30 % und reduzieren die CO₂-Emissionen entsprechend. Der Fernwärmekunde partizipiert durch verbesserte Hygiene und durch eine Reduzierung der Lebenszykluskosten um rd. 20 %. Die konkrete Ermittlung des Nutzens für den FernwärmeverSORger bleibt weitergehenden Studien vorbehalten. Es ist jedoch bereits heute klar, dass durch die Anwendung innovativer Anschlussstationen mit niedrigen Fernwärmerücklauftemperaturen eine Win-Win-Situation entsteht, und zwar für den VersORger, den Kunden, den Hersteller und nicht zuletzt für die Umwelt. Dies sollte für alle Beteiligten Anlass genug sein, sich vermehrt der neuen Technik zuzuwenden.

Ausblick

Praxiserfahrungen zeigen, dass die Warmwasserbereitung im Durchflussprinzip besonders in der Übergangszeit Reserven bezüglich einer noch höheren Absenkung der Rücklaufemperatur bietet. Hierzu sind weitere Verbesserungen an den Hausstationen und Frischwassermodulen vom Typ Thermo Integral in Vorbereitung.

Schrifttum

[1] *Knierim, R.*: Weitere Erlöse aus ungenutzter Wärmeenergie. Rücklaufemperatur: Ungehobener Schatz für VersORger und Kunden. *EuroHeat&Power* 3/2007, S. 56-65.

[2] *Zschernig, J.*: Wärmeversorgung – 2. Studienbrief. TU Dresden, 1999.

[3] Entwicklung eines Warmwasserverteilsystems zur Hauswasserinstallation mit innenliegender Zirkulation. Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt. Az 14123. Referat 22/2. Projektbeginn 10. Dezember 1998. Projektende 31. Oktober 2000.

[4] *Brillinger, M.H.; Pufahl T.; Valentin G.* (Bearb.): Energie- und wassersparende Maßnahmen bei der Warmwasserverteilung im Wohnungsbau. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben 0327228A. ME-Consult GmbH Architekten und Ingenieure, Würzburg; Dr. Valentin EnergieSoftware GmbH, Berlin (Hrsg.). Februar 2004.

[5] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV). Bundesgesetzblatt 2007, Teil 1, Nr. 34. Bonn, 26. Juli 2007.

[6] *Hirschberg, R.*: Vom Heizkessel zum Heizkörper – ohne Wärmeverteilung geht nichts! Einfluss der Verteilung auf die Wärmeübergabe und Wärmeverzeugung. Vortrag, gehalten

ten anlässlich des TGA-Kongresses am 7. und 8. Mai 2007 in Plattling.

[7] Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen; Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums; Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasserinstallationen. Bonn, DVGW, April 2004.

[8] SP 41-101-95 Projektirowanije teplowych punktow. Ministerium für Bauwesen der Russischen Föderation (Minstroi Rossii). Moskau, 1997.

[9] *Zschernig, J.*: Durchflusserwärmung kontra Speicherladesystem – Entwicklungstendenzen bei Hausanschlussstationen. Vortrag, gehalten anlässlich der 13. Fachmesse Fern-/Nahwärmetechnik in Essen, Februar 1998.

[10] *Bräunig, K.-U.; Rasim, W.*: Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen der Brauchwasserbereitung im Durchlaufprinzip bei der Sanierung der Abnehmeranlagen in typischen FernwärmeverSORgungsgebieten der neuen Bundesländer. Bericht 10/99, Lehrstuhl für Energiewirtschaft der TU Dresden, BMFT, Förderkennzeichen 0326927P.

[11] AGFW Branchenreport 2006; Arbeitsgemeinschaft für Wärme und Heizkraftwirtschaft – AGFW – e.V., Frankfurt am Main.

[12] Energiekennwerte. Hilfen für den Wohnungswirt. Eine Studie der Techem AG. Liederbach 1990.

[13] DIN 4708. Zentrale Wassererwärmungsanlagen – Auslegung für Wohngebäude. Berlin, Beuth, April 1994.

[14] SNiP 2.04.07.86 Teplowyje seti. Staatliches Komitee für Bauwesen der UdSSR. Moskau 1989.

[15] *Meixner, D.*: Neue Abrechnungszähler für Wärmemengenzähler. *EuroHeat&Power* 3/2007, S. 66-73. ■

triesch@gmx.de
 Weinmann.Edwin@swm.de
 www.swm.de