

## Mehr Pufferkapazität mit Zwei-Zonen-Be- und -Entladung

# Es kommt nicht nur auf das Speichervolumen an

Wie wirkt sich das Be- und Entladeverhalten von Pufferspeichern an einer bestehenden Heizungsanlage auf die nutzbare Wärmemenge aus? Und wie lässt sich die effektive Speicherkapazität optimieren? Diese Fragen hat das Institut für Gebäude- und Energiesysteme der Hochschule Biberach zusammen mit dem Hersteller HG Baunach untersucht. **Das Ergebnis war eine deutlich höhere Speicherkapazität, nachdem der Pufferspeicher auf Zwei-Zonen-Be- und -Entladung umgestellt wurde.**

**P**ufferspeicher haben in Heizsystemen die Aufgabe, Wärme aufzunehmen, möglichst verlustarm zu speichern und mit dem geforderten Temperaturniveau an die Verbraucher abzugeben. Sinnvoll ist die Zwischenspeicherung der Heizwärme, – wenn Wärmeangebot und Wärmebedarf zeitlich versetzt auftreten, – um die Schaltzyklen von Wärmeerzeugern wie BHKWs, Biomasse-Heizkesseln oder Wärmepumpen möglichst gering zu halten, – um die aus solarthermischen Anlagen oder dem Betrieb von Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen produzierte Wärmeenergie optimal zu nutzen.

Bei häufigen Ein- und Ausschaltvorgängen oder einer zu geringen Nutzung von Solarwärme liegt die Ursache jedoch meist nicht in der Größe des Pufferspeichers, sondern in der daraus nutzbaren Wärmemenge.

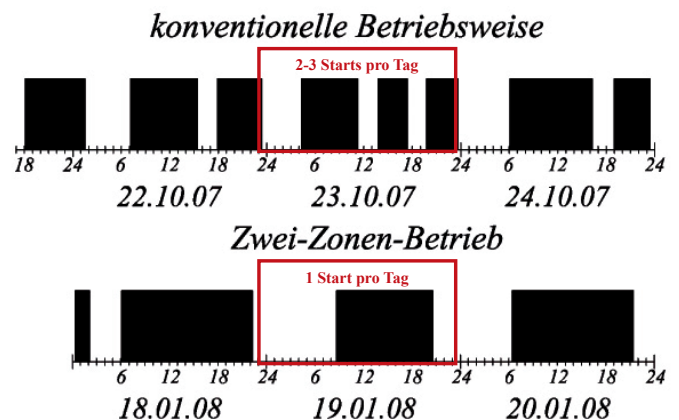
### Der Pufferspeicher speicherte zu wenig Wärme

Dieser Vermutung ging auch der SHK-Unternehmer Günther Muck nach, als er bei der SHK-Innung in Schweinfurt einen Fachvortrag der Firma HG Baunach über die hydraulische Optimierung von Heizsystemen besuchte. Sein Mehrfamilienhaus in Dittelbrunn-Hambach, das sechs Mietwohnungen und Lagerräume, die zu seinem SHK-Betrieb gehören, umfasst, wird von einem Mini-BHKW von Senertec beheizt (Bild 1). Ein Pufferspeicher mit 1000 l Inhalt ist als hydraulische Weiche zwischen den Wärmeerzeugern und der Wärmeverteilung eingebunden. Für das 1996 erbaute Gebäude hatte Günther Muck einen Heizwärmebedarf (zu dieser Zeit noch nach kWh 4701) von 18,1 kW ermittelt. Das Mini-BHKW liefert 12,5 kW<sub>th</sub>; für die Spitzenlastabdeckung wurde zusätzlich ein Gas-Brennwertkessel installiert. Die Wärmeabnehmer im Gebäude sind Heizkörper mit einer Auslegung von 70/50°C.

**Bild 1** SHK-Unternehmer Günther Muck im Heizraum seines vermieteten Sechsfamilienhauses. Nach der Umstellung auf Zwei-Zonen-Be- und -Entladung des Pufferspeichers arbeitet das BHKW bis -10 °C Außentemperatur als monovalenter Wärmeerzeuger

Die Puffereinbindung war wie üblich so ausgeführt, dass der Vorlauf oben und der Rücklauf unten angeschlossen ist. Richtig zufrieden war Günther Muck mit dem Anlagenbetrieb bis dato jedoch nicht, denn das Mini-BHKW hatte innerhalb von jeweils 24 Stunden bis zu fünf Start-Stopp-Vorgänge (Bild 2).

**Bild 2** Die kurzen Schaltzyklen des Wärmeerzeugers vor der Umstellung auf die Zwei-Zonen-Be- und -Entladung (l.) lassen auf eine geringe effektive Speicherkapazität des Puffers schließen. Nach der Umstellung gibt es nur noch einen-BHKW-Start pro Tag (r.)

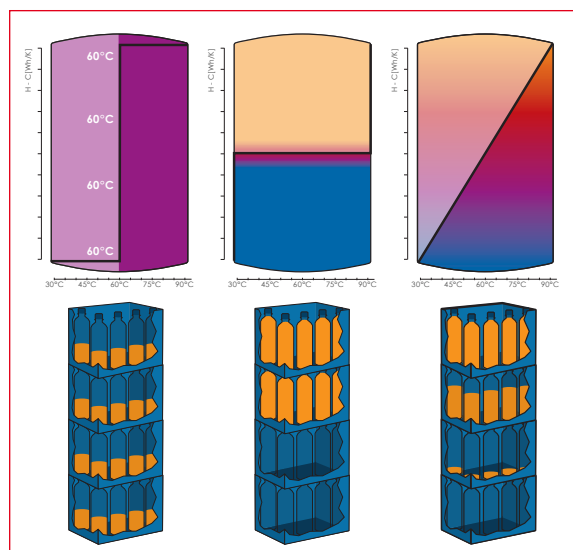


Während der Vortragsveranstaltung in Schweinfurt erfuhr er im Gespräch mit Hans-Georg Baunach, dass dieser gerade auf der Suche nach bestehenden Anlagen war, die als Versuchsobjekte für seine Mehrwege-Mischer Rendemix geeignet waren. Im Rahmen einer Kooperation mit dem Institut für Gebäude- und Energiesysteme der Hochschule Biberach initiierte Baunach daraufhin eine Untersuchung der Pufferspeicheranlage. Ziel war es, eine effizientere Nutzung des Speichervolumens zu erreichen und damit die Mini-BHKW-Laufzeiten zu optimieren.

## Die Heizungsanlage des SHK-Handwerkers als Versuchslabor

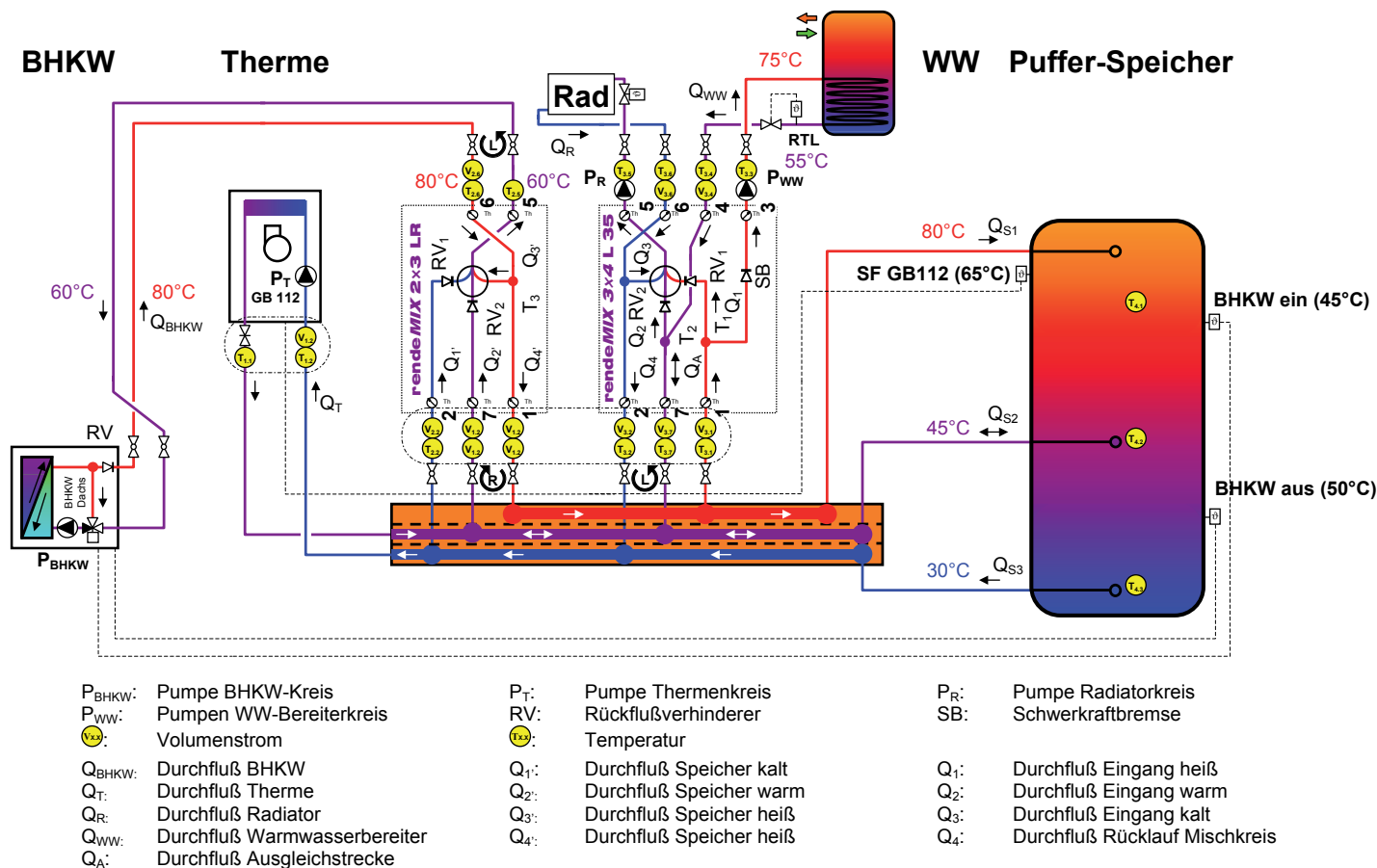
An der Hochschule Biberach befasste sich Christian Dietrich, angehender Dipl.-Ing. Gebäudeklimatik, im Rahmen seiner Diplomarbeit mit dem Thema „Optimierte Integration von Pufferspeichern in hydraulischen Systemen“. Ein erster Ansatz für die Untersuchung der Speichereffizienz war, welche Wärmemenge in den 1000 Litern Puffervolumen im Idealfall gespeichert werden könnte und wie viel davon tatsächlich nutzbar sein

**Bild 3** Die Grafiken zeigen die Temperaturverteilung in einem ideal durchmischten (l.), einem ideal geschichteten (M.) und einem linear geschichteten Speicher (r.). In der theoretischen Betrachtung lässt sich reale Betriebsweise am ehesten mit dem Modell des linear geschichteten Speichers beschreiben



würde. Unter idealen Bedingungen würde sich aus dem Speichervolumen bei einer Mini-BHKW-Vorlauftemperatur von 90 °C und einer Rücklauftemperatur aus dem Heizkreis von 50 °C eine theoretische Speicherkapazität von 47 kWh ergeben. Mit diesen theoretischen Überlegungen (Bild 3) passten jedoch die Schaltzyklen des kWh im Mehrfamilienhaus von Günther Muck nicht zusammen. Dies deutete darauf hin, dass die effektive Speicherkapazität – also die effektiv verfügbare Wärmeenergie im Verhältnis zum Inhalt des Pufferspeichers – deutlich vermindert sein musste. Um dies

festzustellen, mutierte die Heizungsanlage des SHK-Unternehmers für einige Monate zum Versuchslabor: Die vorhandenen Dreiwegemischer wurden durch Mehrwegemischverteiler ersetzt. An Speicher und Rohrleitungen platzierte man Temperaturfühler und Volumenstrommesser.



# Heizung



**Bild 4** Der Heizraum als Versuchslabor: Während der laufenden Untersuchung des Anlagenbetriebs mit zwei verschiedenen Pufferladeverfahren wurden permanent die Messdaten erfasst und per Datenfernübertragung zur Auswertung in die Hochschule Biberach übermittelt



**Bild 5** Für die Untersuchung der Speichereffizienz wurden am 1000-l-Pufferspeicher mehrere Temperatursensoren über die Speicherhöhe verteilt platziert

## Das Speicher-Effizienz-Diagramm bringt die Schwäche ans Licht

Für eine erste Versuchsphase wurden die „Remdix“-Mischverteiler zunächst so eingestellt, dass das Be- und Entladeverfahren der bisherigen Schaltung über Dreivegemischer entsprach. Von Mitte Oktober 2007 bis Mitte Februar 2008 erfasste ein im Heizraum aufgestellter PC die Messdaten, um das Be- und Entladeverhalten zu untersuchen (Bild 4). Während dieser Zeit herrschten nach den

Beobachtungen von Günther Muck nahezu alle typischen Witterungsverhältnisse einer Heizperiode.

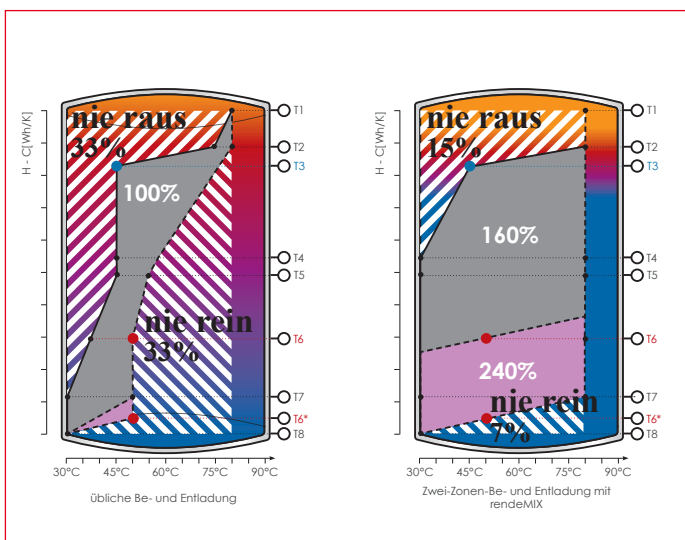
Die Messdaten wurden per Datenfernübertragung in die Hochschule Biberach übermittelt und dort von Christian Dietrich ausgewertet. Dietrich entwickelte dazu eine zeichnerische Darstellungsform, die sich Speicher-Effizienz-Diagramm nennt. Darin werden die Höhe des Speichers auf der senkrechten Y-Achse und die Temperatur waagrecht auf der X-Achse aufgetragen. Am Pufferspeicher wa-

ren über die Höhe mehrere Temperaturfühler positioniert (Bild 5). Aus den Koordinaten von Temperatur und Speicherhöhe lässt sich beim Eintragen in das Speicher-Effizienz-Diagramm die Speicherkapazität zeichnerisch als Fläche darstellen (Bild 6). **Das Ergebnis: Die effektive Speicherkapazität lag bei konventioneller Entladung bei rund 17 kWh und war damit um den Faktor 2,7 geringer als die theoretisch nutzbare Speicherkapazität von 47 kWh.**

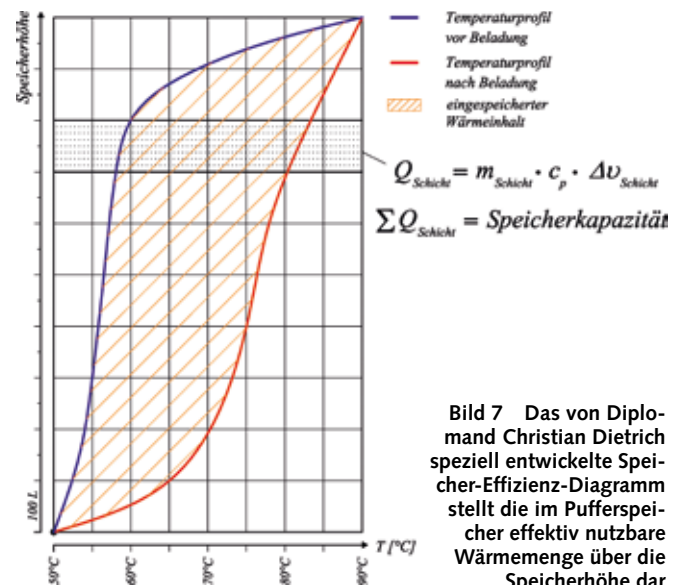
## Mehr Wärme aus gleichem Pufferinhalt herausholen

Im nächsten Schritt der Untersuchung wurde betrachtet, welche Parameter die effektiv nutzbare Speicherkapazität beeinflussen. Die reale, wie in Bild 7 (Speichergrafik rechts) dargestellte Be- und Entladung führt zwangsläufig zu einer Durchmischung im Pufferspeicher, welche die effektiv nutzbare Wärmemenge deutlich einschränkt. In der bestehenden Anlage hatte diese Art der Pufferbe- und -entladung regelmäßig die Schichtung zerstört. Die Durchmischung während der Be- und Entladung führt also dazu, dass die Temperatur im unteren Speicherbereich angehoben wird, im oberen Bereich dagegen absinkt. Es lässt sich daraus der Schluss ableiten, dass die Effizienz eines hydraulischen Puffers maßgeblich von der Temperaturverteilung im Speicher abhängt. Die Speichereffizienz wird beeinflusst von

- der Vorlauftemperatur des Wärmeerzeugers, die möglichst hoch sein soll,
- der Rücklauftemperatur des Verbraucherkreises, die möglichst niedrig sein soll,
- den Strömungsverhältnissen und -geschwindigkeiten beim Eintritt in den Pufferspeicher.



**Bild 6** Der Vorher-Nachher-Vergleich zeigt die jeweilige effektive Speicherkapazität des Pufferspeichers bei konventioneller Einbindung (l.) sowie nach der Umstellung auf Zwei-Zonen-Be- und Entladung (r.)



**Bild 7** Das von Diplomand Christian Dietrich speziell entwickelte Speicher-Effizienz-Diagramm stellt die im Pufferspeicher effektiv nutzbare Wärmemenge über die Speicherhöhe dar





**Bild 8** Für die Zwei-Zonen-Be- und Entladung des Pufferspeichers wurden die vorhandenen Dreiwege-Mischer durch Mehrwege-Mischverteiler vom Typ Rendemix 3x4 ersetzt

## Die Be- und Entladung wird auf zwei Zonen verteilt

Anstelle von Dreiwege-Mischern ist im Wärmeerzeugerkreis und im Verbraucherkreis jeweils ein Mehrwege-Mischer eingebunden. Für den weiteren Teil des Versuchs wurde nun die Ladestrategie auf die Betriebsart „Zwei-Zonen-Be- und Entladung“ verändert. Dazu wurden die bereits installierten Mehrwege-Mischer durch einen Austausch der Stellantriebe umgestellt, so dass sich nun – je nach Sollwertvorgabe – nicht heißes mit kaltem, sondern heißes mit warmem oder warmes mit kaltem Wasser vermischte. Damit änderte sich auch das Be- und Entladeverhalten des Pufferspeichers: Zuerst wird die obere Pufferzone (heiß) beladen, die sich dadurch schneller erwärmt. Die untere Zone bleibt länger kalt. Bei der Entladung wird zuerst über den mittleren (!) Speicheranschluss Wärme aus der unteren Pufferzone entnommen, die sich dadurch schneller abkühlt. Die obere Pufferzone bleibt somit länger auf einem hohen Temperaturniveau.

Hersteller des Mehrwege-Mischverteilers „Rendemix“:  
 HG Baunach  
 41836 Hückelhoven  
 Telefon (0 24 33) 9 70-2 10  
 Telefax (0 24 33) 9 70-2 19  
 E-Mail: info@baunach.net  
 Internet www.baunach.net

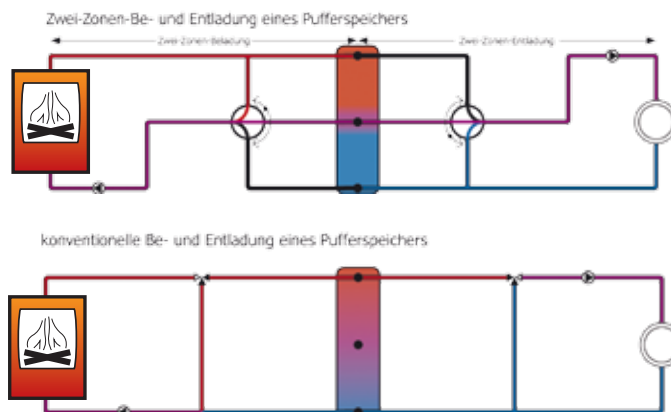


Die Mehrwege-Mischer (Bild 8) werden dabei wie die zuvor eingesetzten Dreiwegemischer über ein Dreipunktsignal (230 V) angesteuert. Während bei Entladung die Vorlauftemperatur des Heizkreises einer witterungsgeführten Heizkurve folgt, ist bei Beladung die Rücklauftemperatur zum Wärmeerzeuger auf einen festen Sollwert eingestellt. Die Zwei-Zonen-Beladung ersetzt damit auch eine sonst notwendige Rücklaufanhebung. Im Zuge der durchgeführten Untersuchung wurde auch deutlich,

dass die Positionierung der Temperaturfühler am Speicher einen erheblichen Einfluss auf die Speichereffizienz hat. Das in der Anlage vorhandene Senertec-BHKW verfügt über zwei getrennte Temperaturfühler, die auf unterschiedlichen Höhen am Puffer anzubringen sind. Beim Unterschreiten des Sollwerts am oberen Fühler startet das Aggregat. Wird der Sollwert am unteren Fühler unterschritten, schaltet die Maschine ab. **Wie die Auswertungen von Christian Dietrich ergaben, hat sich durch die Zwei-Zonen-Be- und -Entladung die effektive Speicherkapazität um rund 60 % von 17 kWh auf 27,4 kWh erhöht. Würde zusätzlich der untere Fühler am Speicher noch weiter nach unten versetzt, ließe sich im vorliegenden Fall die nutzbare Puffereffizienz noch einmal um ca. 30 bis 50 % vergrößern.**

## Zwei-Zonen-Prinzip ist für jedes hydraulische System anwendbar

Wie sich die gesteigerte Speicherkapazität auswirkt, merkte der SHK-Unternehmer und Hauseigentümer Günther Muck an den Schaltzyklen des Mini-BHKW: **Seit der Umstellung auf die Zwei-Zonen-Be- und -Entladung (Bild 9 + 10) startet das Aggregat nur noch einmal pro Tag, was jedoch durch eine Zwangsabschaltung des Motors im Intervall von 24 Stunden bedingt ist.** Das BHKW arbeitet nach Mucks Beobachtung nun weitestgehend als monovalenter Wärmeerzeuger. Das für die Spitzenlast eingesetzte Gas-Brennwertheizgerät schaltet sich erst ab einer Außentemperatur von etwa -10 °C dazu. Die Umstellung der Pufferspeicher-Betriebsart hatte auch positive Auswirkungen auf den



**Bild 9 + 10** Liegt bei der Zwei-Zonen-Entladung eines Pufferspeichers die Temperatur in der Speichermitte oberhalb der Vorlauftemperatur des Verbrauchers, dann wird das Wasser am mittleren Pufferanschluss entnommen und anschließend mit dem Rücklaufwasser vom Verbraucher auf das gewünschte Temperaturniveau gemischt. Sinkt die Temperatur am mittleren Speicheranschluss während der Entladung unter die Vorlauftemperatur, wird die Temperatur durch Beimischen von wärmerem Wasser aus dem oberen Speicherbereich angehoben. Der untere Speicherbereich kann so nahezu vollständig auf Rücklauftemperatur entladen werden

energetischen Zustand des Gebäudes: **Inzwischen hat Günther Muck für das Sechsfamilienhaus einen Energieausweis erstellen lassen, der dem Gebäude eine deutlich verbesserte Energieeffizienz bescheinigt.**

Die untersuchte Heizungsanlage mit BHKW, Gas-Brennwertkessel und Radiatoren-Heizkreis ist jedoch nur ein Beispiel für die Anwendungsmöglichkeiten des Zwei-Zonen-Prinzips. So lassen sich beispielsweise bei Flächenheizsystemen noch tiefere Rücklauftemperaturen erzielen, da die niedrigste Rücklauftemperatur aus dem Wärmeabnehmerkreis zum Rücklauf des Wärmeerzeugers gelangt und nicht unterwegs mit wärmerem Rücklaufwasser gemischt wird. Die Zwei-Zonen-Be- und -Entladung kann ebenso auf jedes andere hydraulische System übertragen, das mit Pufferspeicher arbeitet, z. B. bei der Einbindung erneuerbarer Energien oder Kälteanlagen.

Unser Autor Prof. Dr.-Ing. **Alexander Floß** machte sich 1995 mit einem TGA-Planungsbüro selbstständig, das sich heute den Bereichen Gutachten, Beratung und Produktentwicklung widmet. Seit 1999 betreut er die Bereiche thermische Energiesysteme und Anlagenplanung des Studiengangs Gebäudeklimatik und Energiesysteme an der Hochschule Biberach. Floß leitet dort auch das Institut für Gebäude- und Energiesysteme, Telefon (0 73 51) 58 22 56, E-Mail floss@hochschule-bc.de.

Unser Autor **Wolfgang Heinel** betreibt als freier Fachjournalist und PR-Manager ein Redaktionsbüro mit Spezialisierung auf die SHK-Branche und die Gebäudetechnik, 88239 Wangen, Tel. (0 75 22) 90 94 31, E-Mail wolfgang.heinel@t-online.de.