

# Warmwasser - bereit?

## Planung von Trinkwassererwärmern im Umbruch

*Haben Sie auch das Gefühl, dass die meisten Warmwasserbereiter zwei Nummern zu groß sind? Oder haben Sie alles nach Lehrbuch ausgelegt und es gab hinterher doch böse Überraschungen? Dieser Artikel geht auf Spurensuche mit Negativbeispielen aus der Praxis und zeigt Schwächen der Auslegung nach NL-Zahl in DIN 4708. Doch auch das heiß gehandelte Summenlinienverfahren, welches Grundlage der zukünftigen Norm DIN EN 12831 - Teil 3 ist, hat Grenzen. Kann Simulationssoftware eine Lösung bieten?*



Dipl.-Ing.  
Heiko Heitefuss,  
Mitglied für den BTGA  
im DIN-Ausschuss  
NA 041-01-58-06 AK

### Böse Überraschungen in der Praxis

Warmwasserbereiter sind oft die Ursache vielfältiger Probleme, die meist unterschätzt, verkannt oder verdrängt werden. Dabei können selbst vermeintlich korrekt dimensionierte Trinkwassererwärmer erhebliche Schwierigkeiten bereiten. Die folgenden Negativbeispiele sind ein kleiner Auszug aus der eigenen Planungspraxis.

Das erste Beispiel ist eine Wohnanlage mit zwei Blöcken und insgesamt 200 Wohnungen. Hier wurden im Jahr 2009 die Heizzentrale und eine Unterstation erneuert. Dies umfasste einen Gasbrennwert-Kessel und zwei Speicherladesysteme mit je 750 Litern. Die Planung der Trinkwassererwärmer erfolgte von unserem Büro gemeinsam mit dem Kesselhersteller nach DIN 4708. Kurz vor Ablauf der Gewährleistung kam es zu einem totalen Kesselschaden durch Korrosion der Abgasseite. Der Schaden lag bei etwa 25.000 Euro.

Was war die Ursache? Die rechnerisch und durch Messung ermittelten Wärmeverluste der Warmwasser- und Zirkulationsleitungen betragen je Block 15 - 20 kW. Die 750 Liter Ladespeicher kühlen allein durch den Zustrom der Zirkulation innerhalb von ca. 15 Minuten von 60° Solltemperatur auf 55° ab. Aus hygienischen Gründen muss zu diesem Zeitpunkt die Nachladung beginnen. Am Brenner wurden knapp 32.000 Brennerstarts pro Jahr ausgelesen, was laut Herstel-

ler infolge der häufigen thermischen Spannungen zum Schaden geführt hat.

Mittlerweile hat der Hersteller für seine Stahlkessel die Betriebs- und Gewährleistungsbedingungen um die Forderung nach max. 15.000 Brennerstarts pro Jahr ergänzt. Es bleibt die Frage, wie die Anzahl der Starts vorab berechnet werden kann? Häufig wird man bei Planern, Handwerkern und Herstellern wohl nur Achselzucken als Antwort ernten.

Ein anderes Beispiel: Das zweite Obergeschoss eines kleinen Mehrfamilienhauses wurde im Jahr 2008 saniert. Dabei wurden zwei Wohnungen zusammengelegt und es gibt zwei entfernt liegende Bäder. Rohrleitungen und Warmwasserspeicher wurden erneuert. Der neue Speicher versorgt nur das zweite Obergeschoss und befindet sich in der Heizzentrale im Keller. Über einen Wasserzähler im Kaltwasserzulauf und einen Wärmemengenzähler in der Heizungsleitung zum Warmwasserspeicher werden sowohl Wärmebedarf als auch Wärmeverbrauch ermittelt.

Für die Erwärmung des Warmwassers der vierköpfigen Familie werden eigentlich nur etwa 3.000 kWh/Jahr benötigt. Der Wärmeverbrauch liegt aber bei etwa 13.000 kWh/Jahr. Trotz sehr guter Dämmung gibt es 75% Wärmeverluste durch das relativ lange Rohrnetz. Die jährlichen Mehrkosten für Gas betragen etwa 600 Euro und entsprechen damit dem gesamten Gasverbrauch eines neuen Einfamilienhauses. Fast jede andere Lösung wäre energetisch, ökologisch und preislich günstiger gewesen, beispielsweise der Einbau von Elektro-Durchlauferhitzern.

Das dritte Beispiel ist eine Schulsporthalle. Im Jahr 2015 war die Erneuerung eines alten 2.000-Liter-Speichers geplant. Unser Büro sollte im Vorfeld den Wasserverbrauch (60°) über einen Monat messen und den neuen Speicher auslegen. Die schlimmsten Befürchtungen wurden bei der Messung

übertrifft: Der Tagesverbrauch lag im Mittel bei nur 50 Litern bzw. max. 111 Liter/Tag, weil die Halle neben dem Schulsport fast nur von Kindersportvereinen benutzt wird. Der Wasseraustausch im alten Speicher dauert 40 Tage und liegt damit 13-fach über dem zulässigen Grenzwert der VDI 6023 für einen bestimmungsgemäßen Betrieb. Bei dieser Größenordnung sind nicht nur Schlammablagerungen im Speicher und Wachstumszeiten für Mikroorganismen Themen, sondern auch das Anreichern von Metallen aus Speicher und Rohrwandung im Trinkwasser.

Alle drei Beispiele zeigen: Die richtige Planung ist viel mehr als nur eine einfache Größenbestimmung. Sie muss wichtige Kriterien berücksichtigen, beispielsweise das Taktverhalten des Wärmeerzeugers. Auch eine intensive Betrachtung der Trinkwasserhygiene nach VDI 6023 ist unverzichtbar.

### DIN 4708 - NL-Zahl versus Realität!

Das Anwendungsgebiet der DIN 4708 sind Wohngebäude und wohnähnliche Nutzungen. Die DIN 4708 erschien erstmals im Jahr 1979. Die statistischen Vorarbeiten reichen vermutlich bis in die 1960er-Jahre zurück. Der Wärmewasserverbrauch wird im so genannten Bedarfszeitraum als Gaußkurve angenommen. Die Spitze wird dabei durch Überlagerung mit einer zweiten Kurve nochmals angehoben. Die Form der Gaußkurve ändert sich in Abhängigkeit der Anzahl an Einheitswohnungen N (3,5 Pers., 1 Badewanne). Aus den tatsächlich vorhandenen Wohnungen errechnet der Planende über die Raumanzahl, die Personenbelegung und die Ausstattung der Sanitärräume das Äquivalent an Einheitswohnungen.

Im Prüflabor werden die Warmwasserbereiter bei ihrer jeweiligen NL-Zahl getestet. Die NL-Zahl ist das Laborgegenstück zur N-Zahl. Aus der jeweiligen Gaußkurve wird ein Zapfprofil mit fünf Zapfungen abgeleitet, welches im Labor nachgefahren wird. Die



Prüfung wird meist bei 80 ° Vorlauf, 45 ° Warmwasser an der Mischarmatur (z. B. Zapfstelle mit thermostatischem Mischer), 10 ° Kaltwasser und 60 ° Warmwasser im Speicher bei Versuchsbeginn durchgeführt. Der Versuch gilt als bestanden, wenn die 45 ° an der Mischarmatur bei Versuchsende noch eingehalten werden. Was auf den Produktunterlagen eines Warmwasserbereiters steht, ist also im Labor nachgeprüft worden.

Das Anwendungsgebiet der DIN 4708 ist stark begrenzt: Es fehlen beispielsweise Prüfvorschriften für Frischwasserstationen mit Heizungspufferspeichern oder Warmwasserbereiter, die von Wärmepumpen auf niedrigem Temperaturniveau beheizt werden.

Außerdem ist die DIN 4708 grundsätzlich nicht empfehlenswert bei Holzkesseln. Diese benötigen bei einem Kaltstart nach eigenen Recherchen erst einmal 20 bis 60 Minuten, um selbst die ausreichende Temperatur zu erreichen. Diese Reaktionszeit des vorgelagerten Heizungssystems muss vom Speicher überbrückt werden können. Das wird bei den Laborprüfungen nach DIN 4708 aber nicht untersucht.

Ein offenes Geheimnis in der Fachwelt ist zudem die systematische und teilweise erhebliche Überdimensionierung durch die DIN 4708, weshalb ja auch die DIN EN 12831-3 entwickelt wurde. Hierzu zwei Beispiele, gewissermaßen ein „Realitätsschock“ für das eher theoretische Gaußmodell (siehe Abbildung 1):

In dieser Grafik ist das gemessene Zapfprofil des stärksten Tages einer Langzeitmessung (rosa) eines typischen Mehrfamilienhauses dem Zapfprofil der entsprechenden NL-Zahl (hellblau) gegenübergestellt. Zusätzlich sind die Summenlinien dargestellt (Messung = rot, NL-Zahl = dunkelblau). Alle Werte sind auf 10 °/60 ° bezogen.

Auffällig und unrealistisch ist der rasante Anstieg der NL-Summenkurve. Aufgrund der Stauchung auf ca. 5,5 Stunden, ist die Zehn-Minuten-Spitzenzapfung nach DIN 4708 rund 40 % stärker als die höchste gemessene Ein-Minuten-Zapfung. Der gemessene Tagesverbrauch liegt dabei sogar ca. 20 % höher als nach NL-Zahl. Anders gesagt: In Wirklichkeit verteilen sich die Zapfungen viel stärker über den Tag und überlagern sich auch weniger. Die Spitze nach DIN 4708 ist intensiver und länger als in der Realität.

Im zweiten Beispiel geht in die Ermittlung der Einheitswohnungen N nach Gleichung 1 die Personenbelegung p der Wohnungen n ein.

$$\text{Gleichung 1: } N = \frac{\sum(n \cdot p \cdot \sum w_v)}{3,5 \cdot 5820}$$

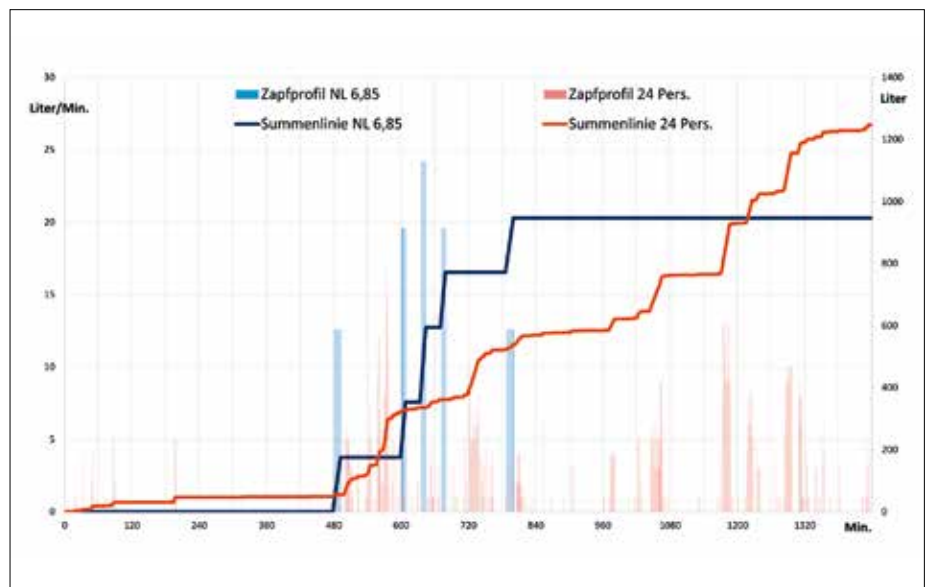


Abbildung 1: Gegenüberstellung WW-Verbrauch NL-Zahl zu Messung

Grafik: h4plan GmbH

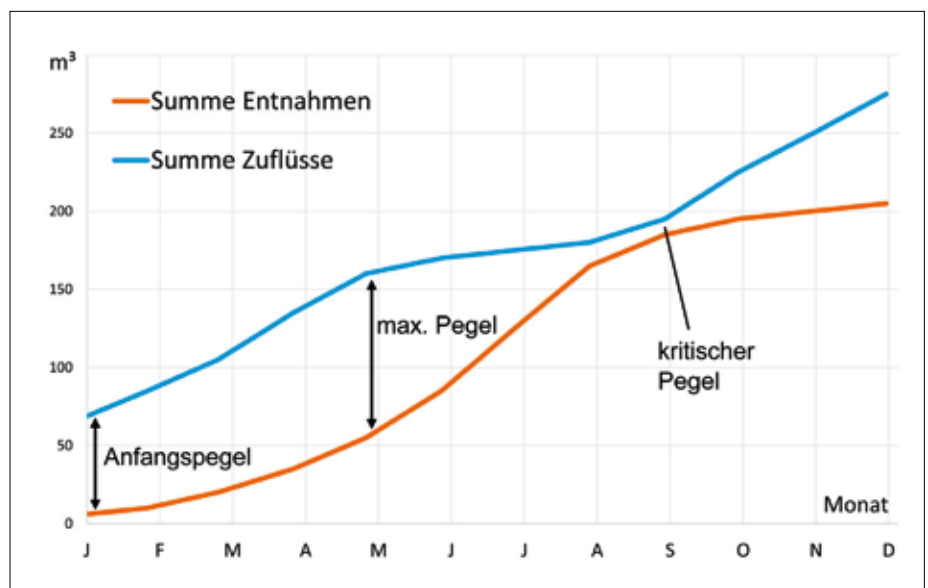


Abbildung 2: Beispiel für Summenlinienverfahren bei Talsperre

Grafik: h4plan GmbH

Die in der Norm hinterlegten Standardwerte für die Belegung p haben sich aber seit Jahrzehnten nicht verändert, obwohl sich Wohnungszuschnitt und Wohnflächen je Person deutlich geändert haben: Laut Statistischem Bundesamt lag die Wohnfläche Ende der 1970er-Jahre bei ca. 29 m²/Person, im Jahr 2011 lag sie bereits bei ca. 43 m²/Person. Die ermittelten N-Zahlen sind also im statistischen Mittel etwa 50 % zu groß.

Die aufgeführten Beispiele zeigen: Die DIN 4708 ist veraltet, gilt nur für Wohngebäude, führt häufig zu massiver Überdimensionierung und ist bei Holzkesseln oder Wärmepumpen nicht sinnvoll einsetzbar.

### DIN EN 12831 (Teil 3) – Grundprinzip und Kritik

Vom Anspruch her soll die DIN EN 12831 – Teil 3 (Entwurf 2014) die Schwächen der alten DIN 4708 überwinden und ein zukunftsweisendes Rechenverfahren liefern. Die Norm ist grundsätzlich offen für alle Arten von Gebäuden oder Trinkwassererwärmern. Das Prinzip des Summenlinienverfahrens ist auch tatsächlich sehr einfach und erscheint daher zunächst plausibel für diesen Anwendungsfall. Der Teufel liegt wie so häufig im Detail.

Als ursprünglich grafisches Verfahren wird das Summenlinienverfahren zur Aus-

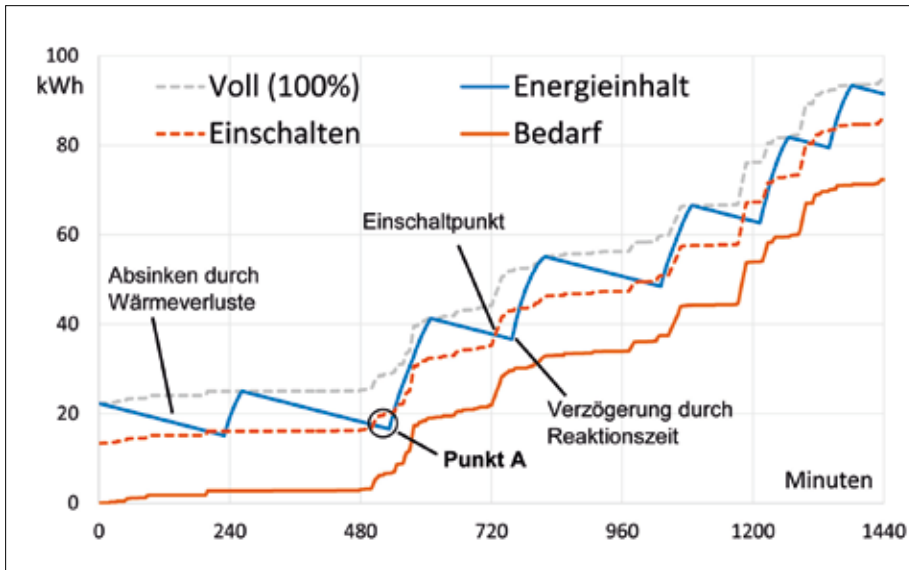


Abbildung 3: Erläuterungen zum Summenlinienverfahren nach DIN EN 12831-3

Grafik: h4plan GmbH

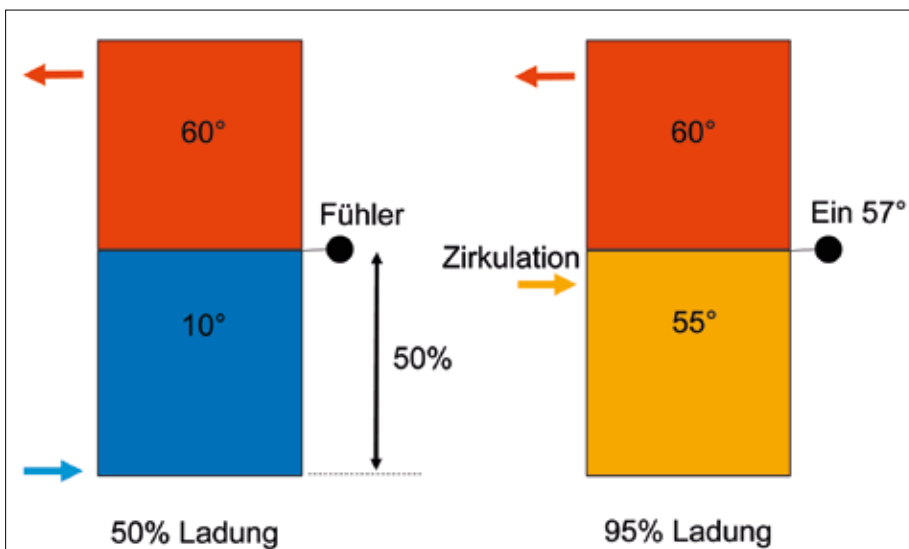


Abbildung 4: Ladestand mit und ohne Zirkulation bei Ladebeginn

Grafik: h4plan GmbH

legung von Speichern aller Art seit Jahrzehnten erfolgreich eingesetzt. Es basiert auf der statistischen Auswertung von Zustrom und Abstrom bzw. der Entnahme über einen Zeitraum. Am einfachsten ist das Grundprinzip anhand einer Talsperre im mediterranen Gebiet zu erklären: Der Zustrom ist im Frühjahr besonders groß, während die Entnahme wegen Bewässerung im Sommer am stärksten ist. Zu- und Abflüsse werden jeweils aufsummiert und als Summenlinien übereinander für den betrachteten Zeitraum dargestellt. Der Anfangsinhalt des Speichers als Fußpunkt der Zufluss-Summenlinien geben den zeitlichen Verlauf des Füllstandes an. Wenn sich beide Linien treffen, ist die Talsperre trocken gefallen und der

Bedarf kann nicht mehr gedeckt werden, das heißt, die Talsperre wäre zu klein. Der höchste Pegel stellt die Mindestgröße der Talsperre dar (siehe Abbildung 2).

Das Verfahren nach DIN EN 12831-3 ist ein modifiziertes Summenlinienverfahren und basiert auf Muster-Zapfprofilen, die an realen Gebäuden gemessen werden sollen. Für eine vorgegebene Kombination aus Speicherinhalt und Dauerleistung wird die Eignung nachgewiesen oder verworfen. In Abbildung 3 wird das Verfahren erläutert. Aus dem Zapfprofil wird die Bedarfskurve ermittelt. Bedarf (braun), Inhalt und Wärmezufuhr (blau) beim Nachladen des Speichers werden als Energie [kWh] dargestellt. Die Differenz der beiden Kurven stellt den aktuellen Energieinhalt bzw. Ladestand dar. Die

Umrechnung von Volumen zu Energie erfolgt über die Gleichungen 2 und 3. Bei trinkwasserführenden Speichern ergibt sich die Solltemperatur des Speichers aus der Warmwassertemperatur, bei Heizungspufferspeichern aus der Vorlauftemperatur.

Gleichung 2:

$$Q_{\text{Bedarf}} = V_{\text{Warmwasser}} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{\text{Warmwasser}} - T_{\text{Kaltwasser}})$$

Gleichung 3:

$$Q_{\text{Speicher}} = V_{\text{Speicher}} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{\text{Speicher}} - T_{\text{Kaltwasser}})$$

Zusätzlich sind Einflüsse wie Wärmeverluste des Rohrnetzes und Reaktionszeit berücksichtigt. Außerdem ist der 100-Prozent-Ladestand als (graue) Obergrenze eingezeichnet. Die (rote) Einschaltkurve ist eine Parallelverschiebung der Bedarfskurve anhand geometrischer Überlegungen zur Fühlerhöhe. Liegt der Fühler beispielsweise auf 40% der Höhe, wird die Ladung ausgelöst, wenn 40% der Energie verbraucht sind.

Positiv sind die Verwendung von gemessenen Zapfprofilen sowie die Berücksichtigung von Wärmeverlusten und Reaktionszeit. Bei genauer Betrachtung fallen allerdings viele Schwächen auf, von denen einige hier genannt seien:

Es gibt beispielsweise derzeit noch keine dem Autor bekannten Zapfprofile in Ein-Minuten-Auflösung, die frei verfügbar sind oder gar in den offiziellen DIN-Kanon aufgenommen wurden. Eigene Messungen einer Vielzahl von Wohn- und Nichtwohngebäuden haben zudem ergeben, dass stärkster Tag, stärkste Stunde und stärkste Minute selten auf einen gemeinsamen Tag fallen. Daher ist die Verwendung einzelner Mustertage statistisch fragwürdig. Je nach System sind unterschiedliche Tage relevant: Für Frischwasserstationen sollte die Auslegung für die stärkste Minute erfolgen. Der zugehörige Heizungspufferspeicher, der vielleicht von einem vergleichsweise kleinen BHKW versorgt wird, ist dagegen auf den stärksten Tag auszulegen. Und für normale Warmwasserspeicher wird tendenziell die stärkste Stunde wichtig sein.

Der wichtigste Kritikpunkt ist, dass der Energieinhalt des Speichers nach Gleichung 3 lediglich Rückschlüsse auf die mittlere Temperatur im Speicher zulässt. Die Temperaturverteilung im Speicher ist bei Gebäuden mit Zirkulation nicht bekannt. Die Einschaltpunkte für die Nachladung werden daher nicht korrekt ermittelt.

Die Ladung wird in der Realität ausgelöst, wenn die Einschalttemperatur am Fühler unterschritten wird. Dies passiert gemäß Abbildung 4, wenn das Kaltwasser bis zum



Fühler ansteigt (links) oder wenn der Speicher durch Zirkulation zu Schwachlastzeiten abgekühlt ist (rechts). Im zweiten Fall beginnt die Ladung bereits, wenn noch 95 % der Energie im Warmwasserspeicher vorhanden ist.

Zum Vergleich ist in Abbildung 3 der Punkt A markiert, der den rechnerischen Energieinhalt eines Warmwasserspeichers bei einem Ladebeginn kurz vor einer Phase starker Zapfungen zeigt. In Wirklichkeit ist zu diesem Zeitpunkt noch eine sehr komfortable Energiemenge im Speicher vorhanden, weil viel häufiger und früher nachgeladen wurde. Je nach Fühlerposition ist bei Gebäuden mit Zirkulation nach DIN EN 12831-3 also durchaus eine Überdimensionierung von 100 % möglich.

Für Heizungspufferspeicher mit Frischwasserstationen kann das neue Verfahren bei Gebäuden mit Zirkulation sogar zur Unterdimensionierung des Speichers führen. Hier ist für Planer und Installateure der Ärger mit dem Kunden vorprogrammiert. Wo liegt die Ursache?

Die Frischwasserstation entnimmt heißen Vorlauf (z. B. 70 °) aus dem oberen Bereich des Pufferspeichers und führt abgekühlten Rücklauf in den unteren Bereich. Der Rücklauf kann dabei physikalisch nicht kälter werden, als der trinkwasserseitige Zustrom zur Frischwasserstation. Diese Temperatur hängt vom jeweils aktuellen Mischungsverhältnis aus Kaltwasserzustrom bei Zapfung (z. B. 10 °) und Zirkulation (z. B. 55 °) ab. In Schwachlastzeiten (z. B. nachmittags) füllt sich der Pufferspeicher von unten kommend mit etwa 56 ° warmem Rücklauf. Wenn die Hysterese des Einschaltfühlers unglücklich gewählt wurde und die Einschalttemperatur niedriger als 56 ° liegt, steigt diese Schicht bis zum Deckel. Ab diesem Moment tritt oben nur noch 56 ° warmes Heizungswasser aus und die Leistungsfähigkeit der Frischwasserstation sinkt deutlich. Zudem werden die hygienisch erforderlichen Warmwassertemperaturen von 60 ° bis zur nächsten Ladung bedenklich unterschritten. Nach DIN 12831-3 wäre dieser Zeitpunkt noch unkritisch und es wäre je nach Fühlerhöhe vermutlich noch keine Ladung ausgelöst worden, weil der Energieinhalt noch bei 76 % liegt.

Das Zwischenfazit lautet: Die DIN EN 12831-3 (Entwurf 2014) beinhaltet zwar einige wichtige neue Aspekte. Über den gewählten Ansatz als Summenlinienverfahren ist jedoch in der Regel die Temperaturverteilung innerhalb der Speicher unbekannt, weshalb vor allem das Regelverhalten falsch abgebildet wird. Es sind sowohl grobe Überwie auch Unterdimensionierung möglich.

### Ausblick und Fazit: Simulationen als Lösung

Wie die Praxisbeispiele und Kritikpunkte gezeigt haben, führen weder die alte DIN 4708 noch die zukünftige DIN EN 12831-3 (Entwurf 2014) zu einer technisch sicheren Planung: Bei der alten DIN 4708 sind die wirklichkeitsfernen Zapfprofile und das begrenzte Anwendungsgebiet zu kritisieren. Hauptschwäche der zukünftigen DIN EN 12831-3 ist der fehlende Einblick in die Temperaturschichtung im Speicher. Der korrekte Zeitpunkt für das Einschalten der Nachladung und die Austrittstemperaturen können nicht sicher bestimmt werden. Nach beiden Normen sind Fehlplanungen möglich.

Werden diese Aspekte zusammengefasst, ergeben sich zusätzliche Anforderungen an ein geeignetes Berechnungsverfahren zur Planung von Trinkwasser-Erwärmern:

- Ermittlung der Brennerstarts zur Vermeidung von Kesselschäden,
- Überblick über Wärmeverluste und Wärmebedarf für Warmwasser,
- Wasseraustausch nach VDI 6023 - Trinkwasserhygiene,
- reale Zapfprofile über mindestens 21 Tage für eine hohe statistische Aussagekraft,
- Modellierung der Temperaturschichten in Speichern für eine realitätsnahe Darstellung von Regelung und Austrittstemperaturen.

Hierzu ist Simulationssoftware erforderlich, beispielsweise THERMASIM des Ingenieurbüros h4plan GmbH. Das Programm simu-

liert die wesentlichen dynamischen Prozesse in Speichern und Wärmetauschern und eignet sich für Warmwasserspeicher, Speicherladesysteme und Frischwasserstationen mit Heizungspufferspeicher. Die Animation des Speichers sorgt für eine gute Nachvollziehbarkeit (Abbildung 5).

Für eine hohe Genauigkeit können individuell gemessene Zapfprofile eingelesen werden. Viele Gebäudetypen und unterschiedliche Größen sind als Langzeit-Zapfprofil bereits eingearbeitet. Außerdem kann der Anwender NL-Zapfprofile nach DIN 4708 auswählen, um Kontroll- oder Vergleichsrechnungen zu erstellen. Hier zwei Berechnungsbeispiele:

In Beispiel 1 werden im Labor gemessene NL-Zahl und Simulation der NL-Zahl für einen bestimmten Warmwasserbereiter verglichen. Die Simulation wurde mit den gleichen Bedingungen (NL-Zapfprofil, Temperaturen, Gerät) vorgenommen. Die Ergebnisse stimmen überein, was für die Güte des Rechenverfahrens spricht.

In Beispiel 2 wurde dagegen der Warmwasserspeicher für ein Mehrfamilienhaus (48 Wohnungen, N = 34) zunächst klassisch nach DIN 4708 ausgelegt. Selbst ein 1.000-Liter-Speicher wäre danach noch etwas zu klein. Die genaue Berechnung für 74 Personen inklusive Wärmeverluste und Reaktionszeit ergab, dass sogar ein 500-Liter-Speicher noch knapp reichen würde. Dieses Beispiel zeigt die Einsparpotenziale einer Simulation im Vergleich zur bisherigen DIN 4708. ◀

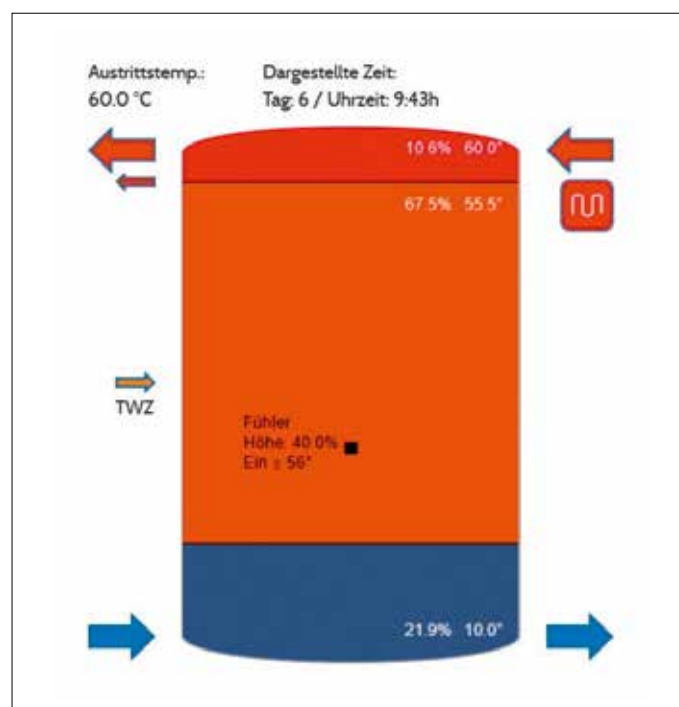


Abbildung 5:  
Animation eines  
Ladespeichers  
Grafik: h4plan GmbH