

# Vergleich der Testmethoden für Wärmespeicher

Ozan Türk, Alfred Brunner, Andreas Bohren, Michel Haller  
Institut für Solartechnik SPF, Hochschule für Technik HSR  
Oberseestr. 10, CH-8640 Rapperswil  
Tel.: +41 (0) 55 222 41 67  
E-Mail: ozan.tuerk@spf.ch  
Internet: www.spf.ch

## Einleitung

Seit 26. September 2015 gelten in der EU neue Verordnungen für die Kennzeichnung von Heizungen und Warmwassergeräten nach dem bekannten Ampelsystem von Haushaltsgeräten und Leuchtmitteln. Für das Energielabel eines Speichers werden nur die Wärmeverluste des Speichers benötigt. Zur Bestimmung der Wärmeverluste stehen verschiedene europäische Normen zur Verfügung: EN 12977:2012 [1], EN 12897:2006 [2], EN 15332:2007 [3] und EN 60379:2004 [4]. Es ist allerdings unklar, inwiefern die Resultate der verschiedenen Verfahren vergleichbar sind. In diesem Beitrag untersuchen wir, wie die Resultate der Speicherwärmeverlustmessung abhängig sind von der Wahl des Verfahrens, und ob die Resultate repräsentativ sind für die tatsächlich zu erwartenden Verluste von Kombiwärmespeicher im realitätsnahen Betrieb. Um diese offenen Fragen zu beantworten wurden Messungen an drei verschiedenen marktüblichen Kombispeichern durchgeführt. Alle Speicher haben ein Nennvolumen von 800 Liter. Zusätzlich wurde an den gleichen Speichern im Rahmen des Projektes StorEx [5] in einem dynamischen und realitätsnahen 24 Stunden Testzyklus die Schichtungseffizienz untersucht. Dabei gleichzeitig der Wärmeverlustwert unter realitätsnahen Betriebsbedingungen bestimmt. Das StorEx Verfahren ist kein normiertes Verfahren, noch. Die Resultate dieser Messungen sind zusätzlich als Vergleichswerte aufgeführt.

## Normativer Vergleich

Als erstes wurden die erwähnten Normen verglichen. Bei einigen dieser Normen gibt es Einschränkungen hinsichtlich der Anwendbarkeit, z.B. der Art des Speichersystems, der Grenzen des Speichervolumens und der Art des Beladeverfahrens. Da die Anwendung der EN 60379:2004 auf elektrisch beheizte Warmwasserspeicher begrenzt ist, wurde sie für die hier untersuchten Kombiwärmespeicher ausgeschlossen. EN 15332:2007, Heizkessel- Energetische

Bewertung von Warmwasserspeichersystemen, und EN 12897:2006, Wasserversorgung - Bestimmung für mittelbar beheizte, unbelüftete (geschlossene) Speicher-Wassererwärmer, sind sehr ähnliche Verfahren. Die absoluten Wärmeverluste werden für ein Zeitintervall von 24 Stunden ermittelt. Dafür wird die nötige Wärmemenge bestimmt, die während 24 Stunden zugeführt werden muss, damit die Speichertemperatur in dem erwünschten Temperaturbereich bleibt. Die Unterschiede zwischen den beiden Normen sind vor allem in den Randbedingungen. Auch in Bezug auf die Einschränkung der Beladeverfahren unterscheiden sich die beiden Normen.

EN 15332:2007 beschränkt sich auf Speicher mit einem Volumen < 1500 Liter. Die Beladung erfolgt durch die indirekte Beheizung über Speicheranschlüsse. Drucklose, gegen Atmosphäre offene Systeme können mit dieser Norm nicht bewertet werden. Die zuhaltende Temperaturdifferenz zwischen Umgebung und Speicher ist auf 45°C festgelegt. Die Prüfdauer beträgt 24 Stunden.

Die EN 12897 kann für geschlossene Speichersysteme mit einem Speichervolumen bis 1000 Liter Wasserinhalt angewendet werden. Die Norm ist nur bei Trinkwassersystemen anzuwenden. Die Betriebstemperatur der Systeme sollte unter 100°C liegen. Der Anwendungsbereich der Norm ermöglicht ausdrücklich auch die Anwendung mit elektrischem Heizstab. Als Prüfmethodik wird in der genannten Norm ein Verfahren mit Bilanzierung der Elektroenergieaufnahme zum Halten einer Speichertemperatur über 24 Stunden beschrieben.

Das jüngste Verfahren nach EN 12977 unterscheidet sich grundsätzlich von diesen beiden älteren Normen. EN 12977 ist ein modelgestütztes Verfahren. Dieses Verfahren dient zur Ermittlung der Stillstand-Wärmeverlustrate des Speichers. Die Prüfung besteht aus vier Phasen. In der ersten Prüfphase wird der Speicher mit 20°C kaltem Wasser bis zum stationären Zustand konditioniert. In der zweiten Phase wird der Speicher mit einer definierten Nennleistung beladen. Auf diese Phase folgt eine Stillstandsphase. Die Dauer der Stillstandsphase soll so gewählt werden, dass zwischen 40% und 60% der gespeicherten Energie verloren gehen. Während der letzten Prüfphase wird dann der Speicher so lange mit 20°C kaltem Wasser durchströmt, bis der stationäre Anfangszustand wieder erreicht ist. Anhand der durchgeführten Prüfsequenzen werden die Speichereigenschaften über ein Parameteridentifikationsverfahren ermittelt. In diesem Projekt wurde zur Parameteridentifikation mittels TRNSYS die in das Speichermodell eingebrachte und entnommene Energie errechnet und mit der eingebrachten und entnommenen Energie aus den Messdaten verglichen. Mittels GENOPT werden die Speicherparameter solange mit einem passenden Optimierungsalgorithmus variiert, bis die modellierten Werte mit dem gemessenen Werten übereinstimmen.

Die untenstehende Tabelle 1 fasst die wesentlichen Unterschiede der der Normen zusammen.

Tabelle 1 Zulässige Prüfverfahren für das Label von Warmwasserspeichern mit Ausnahme von EN 60379

	EN 12977-3/-4	EN 15332	EN 12897
Einsatzbereich	alle Wärmespeicher mit Wasser als Speichermedium	Warmwasserspeicher	Mittelbar beheizte, geschlossene Speicher-Wassererwärmer
Anwendbare Speichervolumen	50 - 3000 l	bis zu 1500 l	bis zu 1000 l
Anforderungen zu den Prüfumgebung	Klimatisierter Raum, geschlossene und wärmegeämmte Anschlüsse	Begrenzte Luftgeschwindigkeit im Raum, gegen direkte Strahlung abgeschirmter Raum, def. Entfernung zwischen den Wänden und Wasserspeicher, wärmegeämmte Anschlüsse, rel. Luftfeuchtigkeit < 85%	Zugfreier und gegen direkte Strahlung abgeschirmter Raum, Speicher auf einer Faserplatte, def. Entfernung zwischen den Wänden und Wassererwärmer, wärmegeämmte Anschlüsse
Art der Beladung	Direkt/thermisch hydraulisch	Elektrische Heizung oder elektrische Heizstab	Elektrische Heizstab oder elektrische Durchlauferwärmer
Umgebungstemperatur	20 ± 2 °C	20 ± 5 °C	20 ± 2 °C
Speichertemperatur	~60°C	~65°C 25 mm unter WW-Entnahme	~65°C im oberen Drittel
Resultat	Wärmeverlustrate (kJ/hK)	Wärmeverluste (kWh/24h)	Wärmeverluste (kWh/24h)

## Prüfablauf

Im Rahmen dieses Projekt wurden Messungen an drei verschiedenen marktüblichen Kombispeichern durchgeführt. Alle Speicher haben ein Nennvolumen von 800 Liter und verfolgen verschiedene Konzepte zur Einbindung der Nachheizung, der solarthermischen Kollektoren und zur Warmwasserbereitung. An den selben Speichern wurde im Rahmen des Projektes StorEx in einem dynamischen und realitätsnahen 24 Stunden Testzyklus die Schichtungseffizienz untersucht, und dabei gleichzeitig ein Wärmeverlustwert unter realitätsnahen Betriebsbedingungen bestimmt [5].



*Abbildung 1 Ein Speicher installiert auf dem Prüfstand des SPF. Alle Anschlüsse sind siphoniert und isoliert.*

Die Speicher wurden entsprechend den Vorgaben der Normen an den Prüfstand angeschlossen. Die Rohrleitungen zwischen dem Speicher und den Temperaturfühlern wurden wärmegeklämt. Bei allen Speichern wurde EN 12977:2012 als erstes Prüfverfahren angewendet. Alle Speicher wurden direkt beladen und entladen. Die Wärmeverlustrate gibt den vom Speicher an die

Umgebung übertragenen Wärmestrom, bezogen auf 1 K Temperaturdifferenz zwischen Speichermedium und Umgebung, an.

Zur Ermittlung der Wärmeverlustrate wird die Prüfsequenz L benötigt. Das Ziel dieser Prüfung ist die Ermittlung der Wärmeverlustrate des gesamten Speichers im Stand-by. Diese Prüfung besteht aus vier Phasen (siehe Abbildung 2):

#### 1. Prüfphase Konditionierung

In dieser Prüfphase wird der Speicher mit 20°C kaltem Wasser konditioniert, bis ein stationärer Zustand erreicht ist.

#### 2. Prüfphase Beladung

In dieser Phase wird der Speicher so lange mit einem konstanten Volumenstrom durchströmt, der dem halben Nennvolumenstrom entspricht, bis die Austrittstemperatur des Beladekreises 55°C erreicht hat.

#### 3. Prüfphase Stand-by

Der Speicher bleibt während 48 h im Stand-by.

#### 4. Prüfphase Entladung

Während dieser Prüfphase wird der Speicher so lange mit 20°C kaltem Wasser durchströmt bis der stationäre Zustand (20°C) wieder erreicht ist.

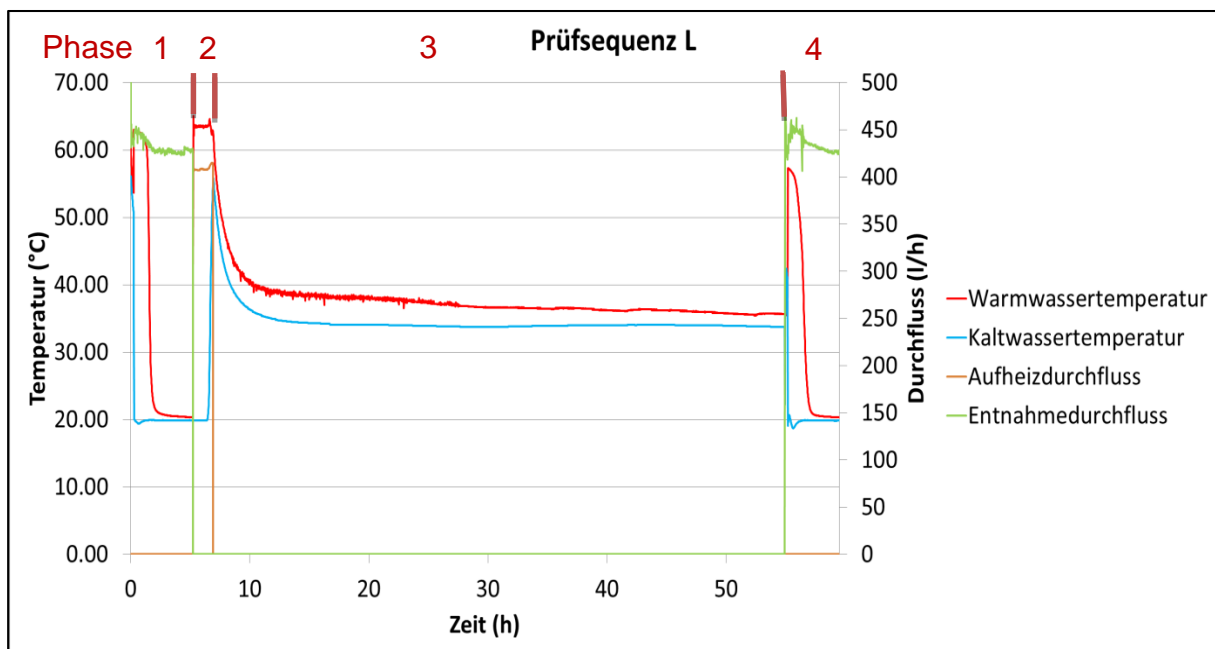


Abbildung 2 Gemessene Temperaturverläufe und Volumenströme während der Prüfsequenz L

Für die Messungen nach den anderen Normen wurde ein Heizelement (Leistung ca. 2.5 kW) im Speicher horizontal angebracht. Nach EN 12987 ist die Position des Heizelements im unteren Reinigungsflansch vorgeschrieben. Nach EN 15332 ist die Position nicht genau definiert: Das Heizelement soll sich im unteren Drittel befinden. So wird ein geringeres Volumen beheizt. Ein weiterer entscheidender Unterschied zwischen beiden Normen ist die Position der Speichertemperaturmessung. Nach

EN 12987 ist die Speichertemperatur 25 mm unterhalb des Warmwasseraustritts zu messen. Falls es keine Herstellerangabe dazu gibt, kann die Speichertemperatur nach EN 15332 im oberen Drittel gemessen werden. In der Untersuchung werden für alle Speicher werden die Temperaturmessungen für EN 15332 am tiefsten möglichen Punkt im oberen Drittel der Speicher durchgeführt.

Die Abbildung 3 zeigt den Speichertemperaturverlauf und die Heizstabileistung über 24 Stunden für die Messungen nach EN 12987. Der Heizstab wurde eingeschaltet und die Temperaturregulation wurde auf eine Temperatur von 65°C eingestellt. Die Bereitschafts-Wärmeaufwände wurden über mehrere aufeinander folgende Zeiträume von 24 Stunden bestimmt, bis der ermittelte Wärmeverlust für mindestens zwei aufeinander folgende Zeiträume innerhalb der definierten Toleranz von 2% liegt.

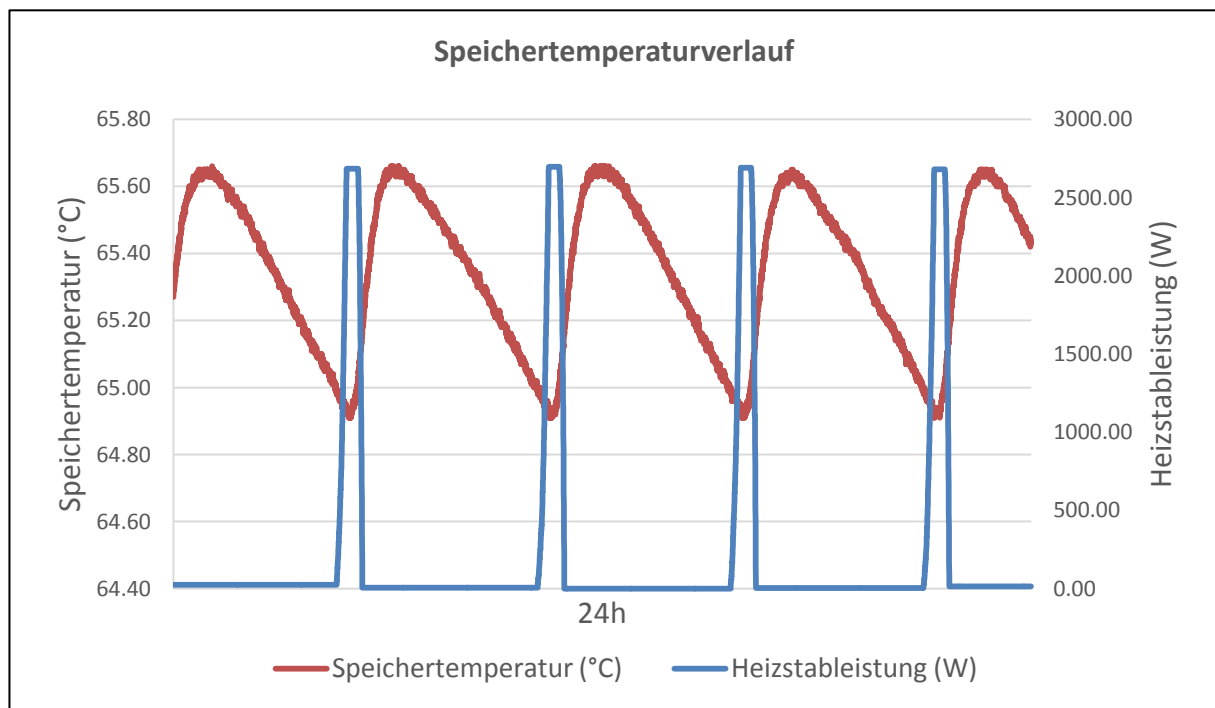


Abbildung 3 Speichertemperaturverlauf und Heizstabileistung während der Prüfung nach EN 12987

Der Bereitschafts-Wärmeaufwand  $Q$  wird für eine Differenz von 45°C zwischen Warmwasser und Umgebungstemperatur für jeden Zeitraum wie folgt berechnet:

$$\text{Bereitschafts-Wärmeaufwand } Q = E \left( \frac{45}{T_s - T_u} \right) \quad \text{Eq. 1}$$

Dabei ist

- $E$  die über einen Prüfzeitraum verbrauchte Energie in kWh
- $T_s$  die mittlere Wassertemperatur über einen Prüfzeitraum in °C
- $T_u$  die mittlere Umgebungstemperatur über einen Prüfzeitraum in °C

Am Institut für Solartechnik SPF wurde im Rahmen des Projektes StorEx ein Verfahren zur Beurteilung der Schichtungseffizienz von Kombispeichern entwickelt,

welches auf einem 24-Stunden-Testprofil basiert. Das Testprofil entspricht einem realistischen Betrieb eines Speichers über 24 Stunden. Während dieses Tests sind der Warmwasserbezug und der Raumheizungsbedarf mit Anforderungen an die Exergie vorgegeben. Die Beladung des Speichers erfolgt über Simulation und Emulation der Wärmepumpe und der Sonnenkollektoren (Abbildung 4) Durch eine zyklische Durchführung des Testprofils wird die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse garantiert [5].

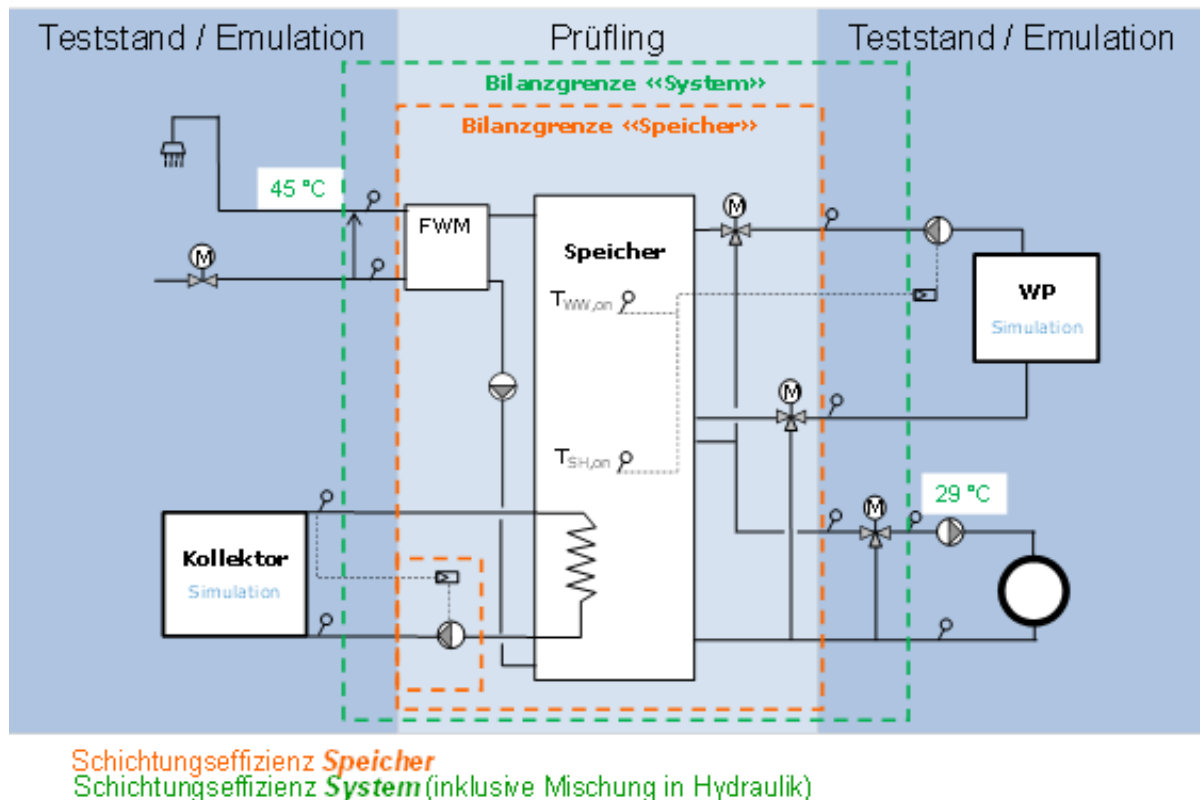


Abbildung 4: Systemgrenze für das getestete Speicher-System.

Bei diesem Testprofil beträgt die Raumheizlast 42.5 kWh bei einer konstanten Aussentemperatur von 2.5°C, der tägliche Warmwasserbedarf 9.45 kWh. Das Kollektorfeld liefert 15.5 kWh/d. Die emulierte Luft-Wasser WP hat eine Leistung von 8 kW. Weitere Messungen werden mit 12 kW oder 16 kW durchgeführt [6]. Unter diesen realitätsnahen Bedingungen wird jeweils gleichzeitig ein Wärmeverlustwert ermittelt.

## Resultate

Die Abbildung 4 fasst die gemessenen Wärmeverluste der drei Speicher für 24 Stunden zusammen. Insgesamt sind drei Resultate nach den EN Normen und zwei Resultate nach dem dynamischen StorEx-Verfahren dargestellt. Im realitätsnahen Betrieb des StorEx-Testzyklus beträgt die mittlere Temperaturdifferenz zwischen Speichermedium und Umgebung auf Grund der für Kombispeicher typischen Zonierung nur etwa 20 K ( $\Delta T \sim 20K$ ). Um einen besseren Vergleich mit den anderen

Verfahren zu ermöglichen, welche von höheren Temperaturdifferenzen ausgehen, wurden die im StorEx-Verfahren ermittelten Messergebnisse zusätzlich auf höhere Temperaturdifferenzen zur Umgebung ( $\Delta T=45K$ ) umgerechnet.

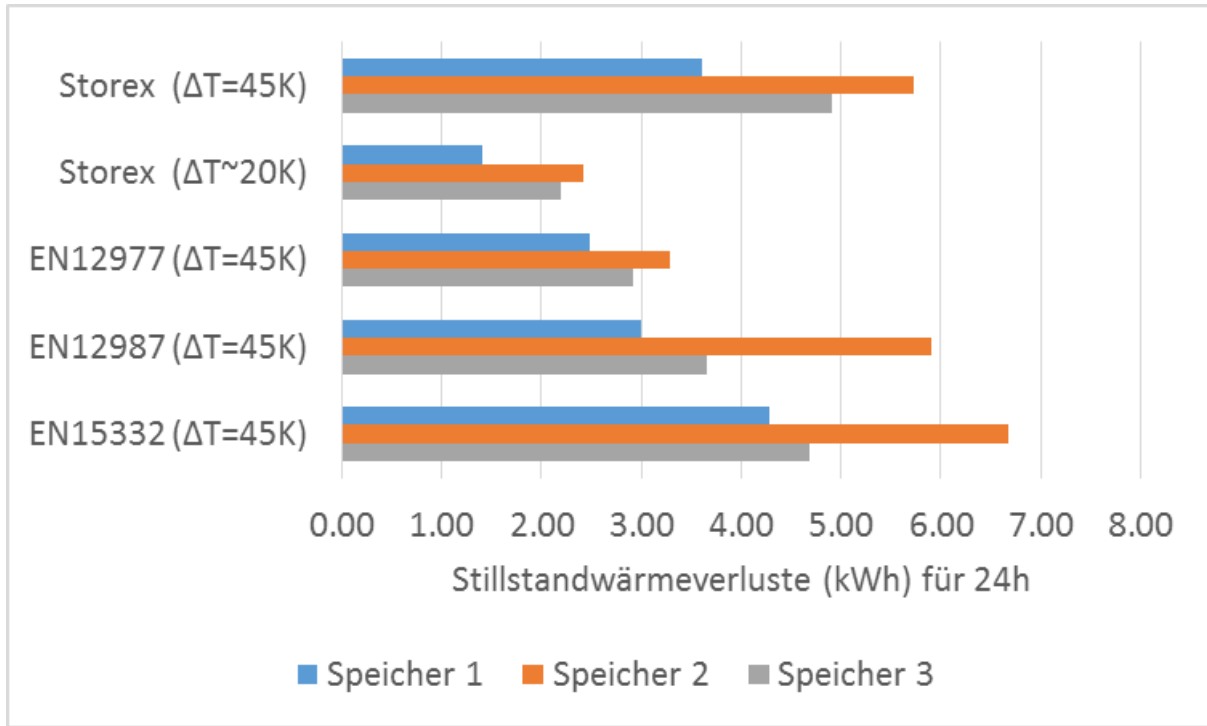


Abbildung 5: Stillstandwärmeverluste für 24h nach verschiedenen Prüfverfahren gemessen.

Auch die Ergebnisse der Messungen nach EN 12897 und EN 15332 zeigen sehr unterschiedliche Resultate, die hauptsächlich auf die Position der Temperaturmessungen zurückzuführen ist. Diese Unterschiede haben auch Konsequenzen für das Energielabel. Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die resultierenden Energieeffizienzklassen der Speicher. Die Testresultate nach EN12977 führen zu besseren Energieeffizienzklassen

Tabelle 2 Die resultierenden Energielabel für die Speicher nach ErP-Richtlinien und die Klassierung nach dem StorEx Verfahren

	EN12977	EN15332	EN12897	StorEx (45K)	StorEx (~20K)
Speicher 1	C	E	C	D	A
Speicher 2	D	G	F	F	C
Speicher 3	C	E	D	E	B



## **Zusammenfassung**

Die Messungen nach den unterschiedlichen Prüfmethoden ergeben auch deutlich unterschiedliche Ergebnisse zur Folge. Im Vergleich zu den anderen Normen liefert die EN 12977 für alle Speichertypen die tiefsten Speicherstillstandwärmeverluste (siehe Abbildung 4). Bemerkenswert ist auch die Tatsache, dass die anderen Normen für die Position der Referenztemperaturmessung eine gewisse Toleranz haben. Je nach Position der Referenztemperaturmessung ergeben sich unterschiedliche Resultate (nicht dargestellt in der Grafik). Die mit dem realitätsnahen StorEx-Testverfahren ermittelten Wärmeverluste liegen in demselben Bereich und zeigen dieselbe Rangordnung der Speicher wie die Prüfnormen, wenn die Resultate auf eine vergleichbare Temperaturdifferenz zwischen Speicher und Umgebung (45 K) skaliert werden. Die im realitätsnahen Betrieb mit dem StorEx Testzyklus gemessenen Werte sind jedoch auf Grund der geringeren Temperaturdifferenzen deutlich niedriger als alle mit den gängigen Normen gemessenen Werte. Dies bedeutet, dass die Wärmeverluste von Kombispeichern mit den in den Normen festgelegten Verfahren deutlich höher sind im Vergleich zu Wärmeverlusten, die in realitätsnahem Betrieb zu erwarten sind.

## **Danksagung**

Dieses Forschungsprojekt wurde durch das Schweizerische Bundesamt für Energie (BFE) finanziell unterstützt. Die Autoren danken für die gewährte Unterstützung sowie allen an den Tests beteiligten Firmen.

## Referenzen

- [1] EN 12977-4 Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile - Kundenspezifisch-gefertigte Anlagen - Teil 4: Leistungsprüfung von Warmwasserspeichern für Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung und Raumheizung (Kombispeicher), April 2012, Schweiz. Normen-Vereinigung SNV
- [2] EN 12897 Wasserversorgung - Bestimmung für mittelbarbeheizte, unbelüftete (geschlossene) Speicher-Wassererwärmer, Januar 2007, Schweiz. Normen-Vereinigung SNV
- [3] EN 15332 Heizkessel - Energetische Bewertung von Warmwasserspeichersystemen, März 2008, Schweiz. Normen-Vereinigung SNV
- [4] EN 60379 Verfahren zum Messen der Gebrauchseigenschaften von elektrischen Warmwasserspeichern für den Hausgebrauch, Februar 2004, Schweiz. Normen-Vereinigung SNV
- [5] Persdorf, P., Haberl, R., Reber, A., Haller, M.Y., 2015. Experimentelle Untersuchung der Schichtungseffizienz - Entwicklung einer Testmethode. In: 25. OTTI Symposium Thermische Solarenergie, 6.-8. Mai 2015, Bad Staffelstein, Germany.
- [6] Haberl, R., Reber, A., Persdorf, P., Haller, M.Y., 2015. Experimentelle Untersuchung der Schichtungseffizienz - Kombispeicher auf dem Prüfstand In: 25. OTTI Symposium Thermische Solarenergie, 6.-8. Mai 2015, Bad Staffelstein, Germany.