

03.10.2023

Dimensionierung Warmwasserspeicher



Bild: ©Jonas Kambli

Autoren

Michel Haller, SPF Institut für Solartechnik, OST – Ostschweizer Fachhochschule

Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.
Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1.	Ausgangslage	5
2.	Auftrag	5
3.	Begriffsdefinitionen und Speicherzonen.....	5
4.	Auslegungsverfahren nach prSIA 385/2:2023-07	8
4.1	Unterscheidung Grobauslegung und Feinplanung	8
4.2	Nutzwarmwasserbedarf	8
4.3	Wärmeverluste warm gehaltener Verteilung.....	9
4.4	Ausstossverluste	9
4.5	Wärmeverluste des Speichers	10
4.6	Wärmebedarf der Warmwasserversorgung pro Tag und pro Ladezyklus.....	10
4.7	Speichervolumen	11
5.	Beispiele auf Grund der prSIA 385/2:2023-07	13
5.1	Auslegungsbeispiele EFH.....	13
5.1.1	ohne WW-Zirkulation – eine Ladung oder zwei Ladungen pro Tag	13
5.1.2	mit WW-Zirkulation – eine Ladung oder zwei Ladungen pro Tag.....	14
5.1.3	mit Heizband – eine Ladung oder zwei Ladungen pro Tag	14
5.2	Auslegungsbeispiel MFH	14
5.2.1	mit WW-Zirkulation – eine Ladung oder vier Ladungen pro Tag	15
5.2.2	mit Elektro-Begleitheizband	15
6.	Diskussion offener Fragen.....	16
7.	Schlussfolgerungen	17
8.	Literatur und Grundlagen.....	17
9.	Anhang A: Auslegungsverfahren nach SIA 385/2:2015.....	18
9.1	Unterscheidung Grobauslegung und Feinplanung	18
9.2	Nutzwarmwasserbedarf	18

9.3	Wärmeverluste warm gehaltener Verteilung.....	19
9.4	Ausstossverluste.....	19
9.5	Speichervolumen: Erste Schätzung.....	20
9.6	Wärmeverluste des Speichers.....	21
9.7	Wärmebedarf der Warmwasserversorgung.....	22
9.8	Täglich bereit zu stellendes WW-Volumen und definitives Speichervolumen.....	22
9.9	Offene Fragen und Kritik.....	22
9.9.1	Umgang mit Heizbändern.....	22
9.9.2	Spitzendeckungsvolumen und Gleichzeitigkeitsfaktoren.....	22
10.	Anhang B: Vereinfachungen zur SIA 385/2:2015.....	23
10.1	Mögliche Vereinfachungen.....	23
10.2	Bestimmung des Nutzwarmwasserbedarfs und des Wärmeverlustes der Verteilung.....	23
10.3	Wärmeverluste der Ausstossleitungen.....	23
10.4	Speicherverluste und Berechnung des definitiven Speichervolumens.....	24
11.	Anhang C: Auslegungsbeispiele mit SIA 385/2:2025 (alt).....	25
11.1	Auslegungsbeispiele EFH.....	25
11.1.1	ohne WW-Zirkulation – eine Ladung oder zwei Ladungen pro Tag.....	25
11.1.2	mit WW-Zirkulation – eine Ladung oder zwei Ladungen pro Tag.....	26
11.1.3	mit Heizband – eine Ladung oder zwei Ladungen pro Tag.....	26
11.2	Auslegungsbeispiel MFH.....	26
11.2.1	mit WW-Zirkulation – eine Ladung oder vier Ladungen pro Tag.....	27
11.2.2	mit Elektro-Begleitheizband.....	27

1. Ausgangslage

Mit zunehmendem Anteil fluktuierender erneuerbarer Stromerzeugung (zum Beispiel Solarstrom) in der Schweiz wird die Speicherung von Energie immer wichtiger. Warmwasser für Gebäude wird bereits heute in der Regel nicht zum Zeitpunkt der Nutzung erzeugt, sondern in Wärmespeichern vorrätig gehalten. Damit stehen sowohl im bestehenden Gebäudepark als auch in neu erstellten Gebäuden thermische Speicher zur Verfügung, welche: a) für die Speicherung erneuerbarer Energien eingesetzt werden können und b) eventuell grösser als bisher üblich dimensioniert werden könnten, um mehr erneuerbare Energien zwischenspeichern und so einen grösseren Beitrag zur Energiewende zu leisten.

Es kursieren Empfehlungen, dass Warmwasserspeicher zum Beispiel 30% grösser als üblich dimensioniert werden sollen, um insbesondere den PV-Eigenverbrauch durch den Einsatz von Wärmepumpen optimieren zu können. Dabei scheint oft weder klar zu sein, worauf sich die Prozentangaben beziehen, noch, welcher Teil des Speichervolumens vergrössert werden soll. Die Frage, die als erstes geklärt werden sollte, ist: wie gross werden üblicherweise Warmwasserspeicher für Ein- oder Mehrfamilienhäuser dimensioniert?

2. Auftrag

In diesem Projekt soll geklärt werden, wie die Auslegung von Trinkwarmwasser-Wärmespeichern in der Schweiz üblicherweise gemacht wird, und was entsprechend als Referenz für einen "normal" ausgelegten Warmwasser-Wärmespeicher gelten kann (also ohne Erhöhung des Volumens auf Grund von Solarenergie). Die Berechnungsgrundlagen dafür sind zu dokumentieren. Als Referenz für die Auslegung der Wärmespeicher galt bei Auftragserteilung die SIA 385/2:2015. Zwischenzeitlich wurde diese Norm jedoch überarbeitet und liegt – Stand Juli 2023 – bereits als Vernehmlassungsentwurf SIA pr385/2:2023-07 vor. Aus diesem Grund wurden die Berechnungen im Hauptteil auf diese neue, zum Zeitpunkt des Berichts noch nicht in Kraft getretene Version angepasst. Die Berechnungen und Vorschläge welche davor auf Grund der SIA 385/2:2015 gemacht wurden, sind in den Anhängen zu finden.

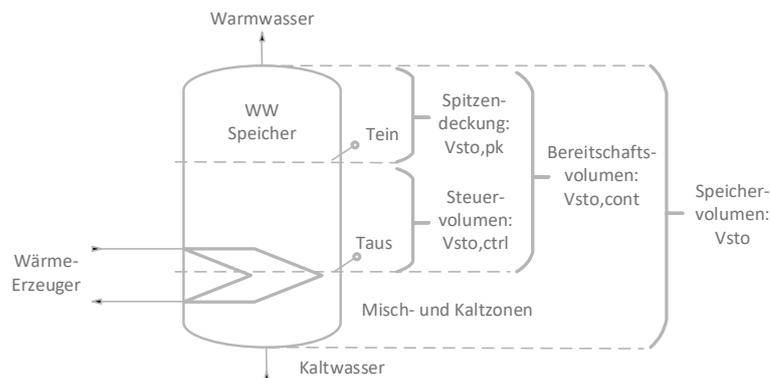
3. Begriffsdefinitionen und Speicherzonen

In der SIA 385/2 werden verschiedene Begriffe sowie Speicherzonen definiert. Eine Kenntnis der Bedeutung dieser Begriffe und der Terminologie in Bezug auf verschiedene Speicherzonen ist Voraussetzung dafür, dass das Vorgehen bei der Speicherauslegung nach SIA auch verstanden werden kann. Aus diesem Grund werden hier sowohl die Definitionen der Speicherzonen (Bild 1) als auch die wichtigsten Begriffsdefinitionen nach SIA (Tabelle 1) eingeführt.

Auf eine Darstellung verschiedener Speicherkonzepte zur Veranschaulichung der jeweiligen Speicherzonen und Volumina wird hier verzichtet, da alle anderen Speicherkonzepte von dem in Bild 1 dargestellten abgeleitet werden können unter Berücksichtigung der folgenden Punkte:

- Das **Spitzendeckungsvolumen** dient der kurzfristigen Deckung einer Bezugsspitze, und muss immer vorgehalten werden. Dies bedingt, dass festgestellt werden kann, wann die Temperatur am unteren Ende des Spitzendeckungsvolumens nicht mehr ausreichend ist, und eine Nachladung gestartet werden soll. Deshalb reicht das Spitzendeckungsvolumen von oben bis zum Temperaturfühler der die Nachladung auslöst. Üblicherweise orientiert sich die Auslegung des Spitzendeckungsvolumens an der grössten zu erwartenden Stundenspitze, welche ein Prozentsatz des Tagesbedarfs ist. Bei kleinen Objekten beträgt diese ca. 50% des Tagesbedarfs, auf Grund von abnehmenden Gleichzeitigkeitsfaktoren sinkt diese auf etwas unter 10% für grössere Objekte.
- Das **Steuervolumen** ist jenes Volumen, welches zusätzlich zum Spitzendeckungsvolumen bei der Nachladung aufgeheizt wird.

- Das **Bereitschaftsvolumen** ist die Summe aus Spitzendeckungsvolumen und Steuervolumen. Es reicht nur so weit in den unteren Teil des Speichers, wie dieser nach einer Aufladung auch auf Soll-Temperatur gebracht worden ist.
- Das **Speichervolumen** entspricht dem Bereitschaftsvolumen, sofern der Speicher nach Aufladung bis zuunterst die Soll-Temperatur erreicht (z. Bsp. durch Aufladung über externe Wärmeübertrager (WÜ)). Ist dies nicht der Fall, so muss für das Speichervolumen ein Zuschlag zum Bereitschaftsvolumen gemacht werden für jenen Teil des Speichers, welcher nach Aufladung nicht die Soll-Temperatur erreicht (Misch- und Kaltzone).



- Bild 1: Bildliche Darstellung von Spitzendeckungsvolumen, Steuervolumen, Bereitschaftsvolumen, Speichervolumen sowie Misch- und Kaltzonen des Warmwasserspeichers. Bei Kombispeicher der Tank-in-Tank-Bauart beinhaltet das Spitzendeckungsvolumen nur den Wasserinhalt der Trinkwasserblase, Bereitschafts- und Steuervolumen auch das Volumen im Ringspalt.

Begriff	Definition
Warmwasser (warmes Trinkwasser)	Trinkwasser, dessen Temperatur durch Wärmezufuhr erhöht worden ist.
Nutzwarmwasser	Warmwasser, das an der Entnahmestelle mit der geforderten Mindesttemperatur von 40 °C entnommen wird
Betriebswasser	Wasser für gewerbliche und häusliche Einsatzbereiche, für welches keine Anforderungen bezüglich der hygienischen Wasserqualität bestehen.
Normliter	Volumeneinheit, welche der Charakterisierung eines Warmwasservolumens dient, welches von 10 °C Kaltwasser auf 60 °C Warmwasser erwärmt wurde.
Normbelegung	Massgebende Anzahl Bezugseinheiten bei der betrachteten Standardnutzung.
Nutzwarmwasserbedarf	Bedarf an Nutzwarmwasser pro Tag. Absolut oder bezogen auf eine Bezugseinheit.
Wärmebedarf für Warmwasser	Wärme, welche notwendig ist, um die benötigte Menge Warmwasser (entspricht dem Nutzwarmwasserbedarf $V_{W,u}$) Q_W auf die Solltemperatur des Warmwassers zu erwärmen.
Wärmebedarf der Warmwasser-Versorgung	Wärmemenge, die vom Wärmeerzeuger an die Warmwasserversorgung, -speicherung und -verteilung abgegeben werden muss, um die benötigte Menge Warmwasser auf die Solltemperatur zu erwärmen. Entspricht der Summe von Wärmebedarf für Warmwasser und Wärmeverlusten der Warmwasserspeicherung und -verteilung.

Speichervolumen	Bruttovolumen eines Speichers, inkl. der Volumen aller im Speicher befindlichen Einbauelemente. Das Speichervolumen wird in mehrere Teilvolumen und Zonen unterteilt.
Spitzendeckungsvolumen	Das Teilvolumen eines Speichers, welches die Kontinuität der Warmwasserverfügbarkeit während der grössten Verbrauchsspitzen sicherstellen soll. Das Spitzendeckungsvolumen ergibt sich aus der grössten, kurzfristig zu erwartenden Spitze des Warmwasserverbrauchs, gewöhnlich der grössten Stunden- spitze. Am unteren Rand des Spitzendeckungsvolumens befindet sich in der Regel der Temperaturfühler, welcher die Nachladung einschaltet.
Bereitschaftsvolumen	Die Summe von Spitzendeckungs- und Steuervolumen eines Speichers.
Mischzone	Das Teilvolumen eines Speichers, in welchem die Temperatur von oben nach unten systematisch und stark abnimmt
Kaltzone	Der unterste Teil eines Speichers, welcher nicht gezielt erwärmt werden kann.
Warmgehaltene Leitung	Warmwasserleitung, die mit einem Zirkulationssystem oder Warmhaltebändern zwischen den Warmwasserentnahmen warmgehalten wird.
Warmwasser-Zirkulationskreis	Warmwasserleitungen mit Rückführung zur Wassererwärmung.
Warmhalteband	Elektrisches Heizband mit selbstregulierender Temperatur-Leistungscharakteristik zur Warmhaltung einer Warmwasserleitung auf einen geplanten Wert.
Ausstossleitung	Warmwasserleitung, die sich nach jeder Warmwasserentnahme auskühlt.
Ausstosswärmeverluste	Wärmeverluste, die als Folge des Warmwasserbezuges in Ausstossleitungen entstehen.
Entnahmestelle	Armatur oder Apparat zur Entnahme von Trinkwasser.

Tabelle 1: Begriffe und Definitionen nach SIA 385/2, Auszug, teilweise verkürzte Beschreibung.

4. Auslegungsverfahren nach prSIA 385/2:2023-07

4.1 Unterscheidung Grobauslegung und Feinplanung

In der SIA 385/2 gibt es an zwei Stellen eine Berechnung oder Festlegung eines Speichervolumens. Im Kapitel 3 «Grobplanung», wird eine Speichergrösse angenommen, die dem 1.5-fachen Nutzwarmwasserbedarf entspricht. Diese Annahme dient jedoch nur der Ermittlung von Speicherverlusten, welche in die Verlustkennzahl einfließen. Sie hat nichts mit der eigentlichen Auslegung des Speichers zu tun, welche in Kapitel 4 «Feinplanung» erfolgt.

4.2 Nutzwarmwasserbedarf

Als erstes werden Nutzwarmwasserbedarf $V_{W,u}$ und Wärmebedarf für Warmwasser $Q_{W,u}$ für die Auslegung nach Anhang A.3 der prSIA 385/2 in Abhängigkeit der Nutzungsart mit typischen Belegungsdaten und Normliter-Verbräuchen (pro Tag), respektive Norm-Wärmemengen, ausgerechnet. Die Normliterverbräuche in Tabelle 3 im Anhang A der Norm sind pro Person (Wohn- und Bürogebäude), pro Sitzplatz (Gastronomie), pro Bett (Beherbergungen, Alters-, Pflegeheime oder Spitäler), oder auch Sachbezogen für Speiserestaurants, Duschen, Bäder und Wäschereien angegeben. Alternativ dazu können spezifisch mit dem Auftraggeber vereinbarte Verbrauchswerte verwendet werden.

Nutzwarmwasserbedarf und Wärmebedarf sind in Anhang A.3 der Norm mit einer Standardabweichung σ angegeben, welche es ermöglicht, einen Sicherheitszuschlag in Abhängigkeit der Anzahl Bezugseinheiten einzurechnen, um einen statistisch wahrscheinlichen Bedarfsfall abdecken zu können. Bis zu zehn Bezugseinheiten beträgt für eine 90%-ige Sicherheit der Aufschlag $k \cdot \sigma$, mit $k = 2$. Für grössere Objekte, d.h. grössere Anzahl Bezugseinheiten, kann σ ersetzt werden durch $\sigma/\sqrt{n_{p,i}}$, wobei $n_{p,i}$ die Anzahl Bezugseinheiten des entsprechenden Bezugstyps ist. Um einen höheren Komfort, respektive eine höhere Wahrscheinlichkeit der Deckung zu erhalten, kann k erhöht werden.

Als Beispiel für die in Tabelle 3 aufgeführten Werte seien hier die Durchschnitts- und Spitzenverbräuche pro Person für den Wohnbereich (Einfamilienhaus / Eigentumswohnung) gegeben.

Standard	Durchschnittsvol, $V_{W,u,i, avg}$ Norm-L/Tag	Std-Abw, $\sigma_{v,i}$ Norm-L/Tag	Durchschnitts- Wärme, $Q_{W,u,i, avg}$ kWh/d	Std-Abw, $\sigma_{q,i}$ kWh/d
einfach	40	5	2.32	0.29
mittel	45	7.5	2.61	0.44
gehoben	55	7.5	3.19	0.44

Tabelle 2: Durchschnittsbedarf und Standardabweichung in Norm-L und in kWh pro Person und Tag für Wohnbauten des einfachen, mittleren und gehobenen Standards (Einfamilienhaus / Eigentumswohnung).

Da die Belegung mit Personen zu Beginn oft unbekannt ist, und im Laufe der Zeit ändern kann, wird diese in Abhängigkeit der Fläche jeder Wohneinheit berechnet:

$$n_{p,i} = 3.3 - \frac{2}{1 + \left(\frac{A_{NF}}{A_0}\right)^3}$$

$n_{p,i}$	Anzahl Personen (P) in der Wohneinheit, P
A_{NF}	Nutzfläche der Wohneinheit, m ²
A_0	100 m ²

Für die Ermittlung des Nutzwarmwasserbedarfs, welcher der Speicherauslegung zugrunde gelegt wird, wird der **Spitzenbedarf pro Bezugseinheit** (in diesem Falle pro Person) mit der Anzahl Bezugseinheiten (hier Anzahl Personen) multipliziert. Bei gemischter Nutzung wird die Summe aller Nutzungsarten gebildet, um den Gesamt-**Nutzwarmwasserbedarf in Norm-L pro Tag** zu erhalten. Da sich die Norm-Liter auf eine Erwärmung des Wassers von 10 auf 60 °C beziehen, erfolgt die Umrechnung in Nutzwärme Q_W gemäss folgender Formel:

$$Q_W = \sum_i (n_{p,i} \cdot V_{W,u,i}) \cdot 0.058 \frac{kWh}{Norm-Liter}$$

Wobei

$V_{W,u,i}$	Norm-Liter pro Bezugseinheit des Typs i, Norm-L/d
$n_{p,i}$	Anzahl Bezugseinheiten des Typs i, -

4.3 Wärmeverluste warm gehaltener Verteilung

Die Wärmeverluste warm gehaltener Verteilungen werden durch Multiplikation der Gesamtlängen der Leitungen mit einem linearen Wärmeverlustwert ermittelt. Dieser beträgt:

- 0.12 kWh pro Meter und Tag bei Zirkulationssystemen mit separat wärmedämmten Vor- und Rücklaufleitungen (Anzahl Meter = Summe Vor- und Rücklauf)
- 0.15 kWh pro Meter und Tag für Rohr-An-Rohr und Rohr-in-Rohr Zirkulationssysteme, sowie für Warmhaltebänder (Anzahl Meter = einfache Länge)

Diese Verlustkoeffizienten beziehen sich auf eine Temperaturdifferenz von 40 K zwischen Medium in den Leitungen und der Umgebung. Für abweichende Temperaturdifferenzen kann mit dem Faktor $\Delta T / (40K)$ korrigiert werden.

4.4 Ausstossverluste

Das Verfahren zur Ermittlung der Wärmeverluste auf Grund von «Ausstossverlusten» $Q_{W,em,ls}$ ist in Anhang E der Norm detailliert beschrieben. Die Ausstossverluste werden für jede Nutzungseinheit ermittelt und addiert, wobei wiederum die oben beschriebene Anzahl Nutzer verwendet wird. Für Wohngebäude sind die Werte in Tabelle 3 gelistet. Die Verluste sind abhängig von den Ausstosszeiten t_{em} (Zeit bis der «kalte Zapfen» die Entnahmestelle bei voll geöffneter Armatur ohne Spardüse verlassen hat), wobei nach SIA 385/1 für Anlagen mit warm gehaltener Verteilung maximal $t_{em} = 10$ s und ohne warm gehaltene Verteilung maximal $t_{em} = 15$ s eingehalten werden müssen. Sind die Ausstosszeiten höher, so müssen die Verluste entsprechend skaliert werden. Bei kürzeren Ausstosszeiten ist auch eine Skalierung nach unten erlaubt.

Nutzungs- einheit	Anzahl Warmwasser- Entnahmen pro Tag $n_{em,i}$	Ausstosswärmeverluste pro Warmwasserentnahme $Q_{W,em,ls,ind,i}$	
		$t_{em} = 10\text{ s}$	$t_{em} = 15\text{ s}$
Wohnein- heit mit $n_{p,i}$ Per- sonen	$2 + 5 \cdot n_{p,i}$	0.1	0.14

Tabelle 3: Anzahl Warmwasserentnahmen pro Tag und Nutzungseinheit in Abhängigkeit der Anzahl Personen, sowie Ausstosswärmeverluste pro Warmwasserentnahme.

Die Summe der Verluste aller Nutzungseinheiten ergibt das Total der Ausstoss-Wärmeverluste:

$$Q_{W,em,ls} = \sum_i n_{em,i} \cdot Q_{W,em,ls,ind,i}$$

Wobei

$Q_{W,em,ls}$	Total der Ausstoss-Wärmeverluste, kWh/Tag
$n_{em,i}$	Anzahl Entnahmen pro Tag in einer Nutzungseinheit, -
$Q_{W,em,ls,ind,i}$	Ausstoss-Wärmeverluste pro Entnahme in der Nutzungseinheit i, kWh/Tag

4.5 Wärmeverluste des Speichers

Auf Grund des Wärmebedarfs für Warmwasser Q_W wird in erster Näherung eine theoretische Speichergrösse ermittelt und darauf basierend werden die Wärmeverluste abgeschätzt. Hierfür wird Q_W um 50% erhöht um in erster Näherung Wärmeverluste für Speicherung, Verteilung und den Ausstoss abdecken zu können und auf dieser Basis ein Volumen ermittelt:

$$V_{W,d} = Q_W \cdot \frac{1.5}{0.058} = Q_W \cdot 25.9$$

Wobei

$V_{W,d}$	täglich bereitzustellendes Warmwasservolumen, l/d
Q_W	Wärmebedarf für Warmwasser gemäss, kWh/d

Der Wärmeverlust dieses Speichervolumens wird bestimmt als:

$$Q_{W,sto,ls} = 0.11 \cdot \sqrt{\frac{V_{W,sto}}{1\text{ l}}} + 0.1 \cdot (n_{cp} - 2)$$

Wobei

$Q_{W,sto,ls}$	Speicherwärmeverluste, in kWh/d
$V_{W,sto}$	Speichervolumen, l
n_{cp}	Anzahl Wasser führender Stutzen (= Speicheranschlüsse)

Diese Ermittlung der Speicherverluste dient ausschliesslich der Speicherdimensionierung, und ist unabhängig von den Vorgaben der EnEV und ErP-Richtlinien der EU bezüglich zulässiger Speicherverluste. Letztere sind bei der Wahl und/oder Isolation des Speichers zwingend einzuhalten.

4.6 Wärmebedarf der Warmwasserversorgung pro Tag und pro Ladezyklus

Der tägliche Wärmebedarf der Warmwasserversorgung wird ermittelt als:

$$Q_{W,gen,out} = Q_W + Q_{W,sto,ls} + Q_{W,hl,ls} + Q_{W,em,ls}$$

Wobei

$Q_{W,gen,out}$	Wärmebedarf der Warmwasserversorgung, in kWh/d
-----------------	--

Q_W	Wärmebedarf für Warmwasser, kWh/d
$Q_{W,sto,ls}$	Speicherwärmeverluste, kWh/d
$Q_{W,hl,ls}$	Wärmeverluste eventuell warm gehaltener Leitungen, kWh/d
$Q_{W,em,ls}$	Ausstosswärmeverluste, kWh/d

Der Wärmebedarf der Warmwasserversorgung pro Ladezyklus wird ermittelt als:

$$Q_{W,gen,out,Z} = \frac{Q_{W,gen,out}}{n_Z}$$

Wobei	
$Q_{W,gen,out,Z}$	in einem Ladezyklus bereitzustellende Energie, kWh
n_Z	Anzahl Ladezyklen pro Tag, d ⁻¹

In der Norm werden keine Vorgaben gemacht bezüglich der Anzahl Ladezyklen. Diese bestimmen Planer oder Bauherren. In der Regel wird eine höhere Anzahl Ladezyklen vor allem bei Mehrfamilienhäuser gewählt, um das Speichervolumen und damit den Platzbedarf und Kosten zu reduzieren. Für eine geringe Anzahl Ladezyklen spricht oftmals eine höhere Effizienz und weniger Takten (vor allem wichtig bei Wärmepumpen und Holzheizungen), oder eine bessere Abstimmung mit PV-Strom (Wärmepumpen) oder Solarthermie. Im Wärmepumpen-Systemmodul werden für Wärmepumpen bis 15 kW Leistung maximal zwei Ladezyklen pro Tag erlaubt.

4.7 Speichervolumen

Die Ermittlung des Speichervolumens basiert auf der Ermittlung der Wärmemenge, die gespeichert werden muss. Hierzu wird zunächst der benötigte Wärmebedarf für die Deckung der grössten Stundenspitze ermittelt.

Für Wohnungen / Häuser mit weniger als 10 Personen wird die grösste Stundenspitze und somit der Spitzendeckungs-Wärmebedarf durch Betrachtung der einzelnen Warmwasserentnahmestellen, deren stündlichem Wärmebedarf und deren möglicherweise gleichzeitiger Nutzung ermittelt, und somit individuell bestimmt.

Für Wohnbereich ab 10 Personen fliesst die Wahrscheinlichkeit der gleichzeitigen Nutzung auf Grund von Statistiken ein, was zu folgender Formel für das Spitzendeckungs-Wärmebedarf führt:

$$Q_{W,pk} = Q_W \cdot \left(0.09 + \frac{0.66}{\sqrt{n_{P,W}}} + \frac{1.98}{n_{P,W}} \right)$$

Wobei	
$Q_{W,pk}$	grösste Stundenspitze des Wärmebedarfs für Warmwasser, in kWh/d
$n_{P,W}$	Anzahl Personen, die Warmwasser von der betrachteten Warmwasserversorgung beziehen

Die Bereitschafts-Wärmemenge $Q_{W,sto,cont}$ wird berechnet als Summe der Stundenspitze und der Ladung pro Ladezyklus:

$$Q_{W,sto,cont} = Q_{W,pk} + Q_{W,gen,out,Z}$$

Bereitschafts-Volumen und Spitzendeckungsvolumen werden ermittelt über die Temperaturdifferenz zwischen Austrittstemperatur nach Ladung und der Kaltwassertemperatur:

$$V = \frac{Q}{(\theta_{sto,out} - \theta_{W,c}) \cdot \rho \cdot c_p}$$

Wobei	
V	Volumen, L
Q	Wärmemenge, kWh
$\theta_{sto,out}$	Temperatur am Speicher-Austritt, °C
$\theta_{W,c}$	Kaltwasser-Temperatur, °C
$\rho \cdot c_p$	$1.16 \cdot 10^{-3}$ kWh/(K*l)

Zur Ermittlung des effektiven Speicher-Volumens $V_{W,sto}$ wird berücksichtigt, ob der Speicher im unteren Bereich nach Ladung vollständig durchgeladen ist (= bis zuunterst auf Soll-Austrittstemperatur) oder nicht.

Das Speichervolumen $V_{W,sto}$ wird berechnet auf Grund des Bereitschaftsvolumens $V_{W,sto,cont}$, multipliziert mit dem Volumenfaktor f_{sto} , welcher die Effizienz der Ausnützung des Speichervolumens in Abhängigkeit der Belade-Charakteristik berücksichtigt.

$$V_{W,sto} = f_{sto} \cdot V_{W,sto,cont}$$

Wobei

f_{sto} Volumenfaktor:

- $f_{sto} = 1$: weder Misch- noch Kaltzone (nach Aufladung ganzer Speicher auf Soll-Temperatur);
- $f_{sto} = 1.1$: Mischzone (z. Bsp. Beladung über externen WÜ);
- $f_{sto} = 1.25$: Misch- und Kaltzone (z.Bsp. Beladung über internen WÜ)

Auf Grund dieser Auslegung ist ein geeigneter Speicher oder eine Speicher-Kaskade auszuwählen.

5. Beispiele auf Grund der prSIA 385/2:2023-07

5.1 Auslegungsbeispiele EFH

Ein Warmwasserspeicher ist auszulegen für ein Einfamilienhaus mit folgenden Annahmen:

- 150 m² Nutzfläche
- gehobener Standard
- Beladung über internen WÜ

Die typische Belegung beträgt für dieses Objekt, gemäss Formel in Abschnitt 4.2, 2.8 Personen ($n_p = 2.8$), und mit gehobenem Standard resultieren:

- $V_{W,u} = 199$ Norm-L/d
- $Q_W = 11.6$ kWh/d

5.1.1 ohne WW-Zirkulation – eine Ladung oder zwei Ladungen pro Tag

Es wird ein Speichertemperatur von 55 °C angenommen.

Detaillierte Werte für 1 x Laden pro Tag

Parameter	Symbol	Einheit	nach prSIA 385/2
Wärmebedarf Warmwasser	Q_W	kWh/d	11.6
Verluste warme Verteilung	$Q_{W,hl,ls}$	kWh/d	0
Ausstoss-Wärmeverluste	$Q_{W,em,ls}$	kWh/d	2.27
Speicherverluste	$Q_{W,sto,ls}$	kWh/d	2.10
Wärmebedarf Total	$Q_{W,gen,out}$	kWh/d	15.9
Nutzwarmwasserbedarf	$V_{W,u}$	Liter	199
Spitzendeckungsvolumen	$V_{W,sto,pk}$	Liter	109
Steuervolumen	$V_{W,sto,ctrl}$	Liter	306
Bereitschaftsvolumen	$V_{W,sto,cont}$	Liter	415
Speicher-Volumenfaktor		-	1.25
Speichervolumen 1 x Laden/d	$V_{W,sto}$	Liter	518

Resultate für 2 x Laden pro Tag

Parameter	Symbol	Einheit	nach prSIA 385/2
Speichervolumen bei 2 x Laden/d	$V_{W,sto,2}$	Liter	327

Das Speichervolumen für dieses EFH mit 150 m² Wohnfläche beträgt nach prSIA 385/2:2023-07:

- 518 Liter bei 1x Beladung pro Tag
- 327 Liter bei 2x Beladung pro Tag

5.1.2 mit WW-Zirkulation – eine Ladung oder zwei Ladungen pro Tag

Für die Variante mit Zirkulation wurden angenommen

- Vorlauf 10 m, 40 K Temperaturdifferenz
- Rücklauf 10 m, 40 K Temperaturdifferenz

In der neuen Version fließen die Rohr-Durchmesser nicht mehr ein in die Wärmeverlustberechnung.

Es resultieren Verluste der Warmhaltung von 2.4 kWh/d und Ausstoss-Wärmeverluste von 1.6 kWh/d (vorher: 2.3 kWh/d). Die resultierenden Speichervolumen sind:

Parameter	Symbol	Einheit	nach prSIA 385/2
Speichervolumen 1 x Laden/d	$V_{W,sto}$	Liter	560
Speichervolumen 2 x Laden/d	$V_{W,sto}$	Liter	348

5.1.3 mit Heizband – eine Ladung oder zwei Ladungen pro Tag

In der Feinauslegung der SIA 385/2 wird – im Gegensatz zur Grobauslegung – der Wärmeverlust der warmen Verteilung nicht mehr unterteilt in Anteil, der durch Wärme aus dem Speicher gedeckt wird und einen Anteil, der durch das Heizband gedeckt wird. Was sich jedoch ändert ist die Länge der Leitungen. Die 10 m Rücklaufleitung fällt in diesem Falle weg, was die Warmhalteverluste von 2.4 kWh/d auf 1.5 kWh/d verkürzt. Die resultierenden Speicher-Volumina sind:

Parameter	Symbol	Einheit	nach prSIA 385/2
Speichervolumen 1 x Laden/d	$V_{W,sto}$	Liter	539
Speichervolumen 2 x Laden/d	$V_{W,sto}$	Liter	338

5.2 Auslegungsbeispiel MFH

Ein Warmwasserspeicher ist auszulegen für ein Mehrfamilienhaus mit folgenden Annahmen:

- 8 Wohnungen a 130 m² Nutzfläche
- gehobener Standard
- Beladung über externen WÜ

Die typische Belegung beträgt für dieses Objekt sind 21.4 Personen ($n_p = 21.4$), und mit gehobenem Standard resultieren:

- $V_{W,u} = 1032$ Norm-L/d
- $Q_W = 86.9$ kWh/d

Die Differenz zur alten Norm (siehe Anhang 10.2.1) ist ein Resultat davon, dass neu über einen Mittelwert und einen Faktor multipliziert mit der Standardabweichung der Auslegungs-Warmwasserbedarf berechnet wird, was bei grossen Objekten zu geringeren Volumen und Energiemengen führt als bei Verwendung des Maximalwertes. Die neue Berechnung berücksichtigt damit im Gegensatz zu früher den Umstand, dass ein Maximalbezug von vielen Personen am gleichen Tag je unwahrscheinlicher ist, desto grösser die Anzahl Personen ist.

5.2.1 mit WW-Zirkulation – eine Ladung oder vier Ladungen pro Tag

Vor- und Rücklauf der Zirkulation werden mit je 40 m angenommen.

Detaillierte Werte für 1 x Laden pro Tag

Parameter	Symbol	Einheit	nach prSIA 385/2
Wärmebedarf Warmwasser	Q_W	kWh/d	59.9
Verluste warme Verteilung	$Q_{W,hl,ls}$	kWh/d	9.6
Ausstoss-Wärmeverluste	$Q_{W,em,ls}$	kWh/d	10.9
Speicherverluste	$Q_{W,sto,ls}$	kWh/d	4.5
Wärmebedarf Total	$Q_{W,aen,out}$	kWh/d	84.9
Nutzwarmwasserbedarf	$V_{W,u}$	Liter	1032
Spitzendeckungsvolumen	$V_{W,sto,pk}$	Liter	373
Steuervolumen	$V_{W,sto,ctrl}$	Liter	1627
Bereitschaftsvolumen	$V_{W,sto,cont}$	Liter	2000
Speicher-Volumenfaktor		-	1.25
Speichervolumen 1 x Laden/d	$V_{W,sto}$	Liter	2500

Resultate für 4 x Laden pro Tag

Parameter	Symbol	Einheit	nach prSIA 385/2
Speichervolumen bei 4 x Laden/d	$V_{W,sto}$	Liter	975

5.2.2 mit Elektro-Begleitheizband

Bei Elektro-Begleitheizband entfällt die Rücklaufleitung. Dadurch ist die Länge der warmgehaltenen Rohre geringer, der lineare Verlustkoeffizient jedoch etwas höher. Entsprechend reduzieren sich die Wärmeverluste der Warmhaltung von 9.6 kWh/d auf 6 kWh/d. Im Gegensatz zur Grobauslegung wird hier nicht unterschieden zwischen Wärmeeintrag durch das Heizband und Wärmeeintrag durch Warmwasser aus dem Speicher.

Parameter	Symbol	Einheit	nach prSIA 385/2
Speichervolumen 1 x Laden/d	$V_{W,sto}$	Liter	2415
Speichervolumen 4 x Laden/d	$V_{W,sto}$	Liter	954

6. Diskussion offener Fragen

Von Seiten BFE wurden die folgenden Fragen aufgeworfen, die hier beantwortet werden.

1. wie oft erfährt ein Speicher pro Tag eine Warmwasserladung (nach Auslegung)?

Mit welcher Anzahl Ladungen pro Tag gerechnet wird, ist dem Planer überlassen. Dieser bestimmt, w-möglich in Absprache mit der Bauherrschaft, wie oft der Speicher beladen werden soll oder kann. Die SIA macht hierzu keine Vorgaben. Je häufiger die Beladung, desto geringer wird das Speichervolumen. Bei Holzfeuerungen wird jedoch maximal 1x pro Tag angestrebt, bei Wärmepumpen wird oft aus Gründen der Effizienz und der Reduktion von Taktvorgängen max. 2x pro Tag angestrebt (siehe auch WP-Systemmodul).

2. Was sind die Vor- und Nachteile einer häufigeren oder weniger häufigen Beladung.

Eine grosszügige Speicherdimensionierung, welche es erlaubt mit einer Ladung pro Tag durchzukommen, erlaubt eine bessere Abstimmung mit eventuell vor Ort günstig verfügbarem Photovoltaik-Strom. So kann zum Beispiel bei einem Strombezugstarif von 30 Rp/kWh und einem Einspeisetarif von 14 Rp/kWh die Preisdifferenz von 16 Rp/kWh ausgenützt, respektive um diesen Betrag Stromkosten gespart werden. Bei einem Wärmebedarf für Warmwasser von 85 kWh/d wie im Beispiel-Mehrfamilienhaus mit 8 Wohnungen und einer angenommenen Arbeitszahl von 2.5 für die Wärmepumpe ergeben sich so maximal Einsparungen von 5.44 CHF pro Tag, respektive fast 2000 CHF/Jahr an Stromkosten. Rechnet man mit real der Hälfte dieser Einsparungen, weil PV-Strom nicht an jedem Tag im Jahr genügend vorhanden ist, und weil bereits ein kleinerer Speicher teilweise tagsüber beladen werden kann, so würde der 2'500 Liter Speicher im Lauf von 20 Jahren gegenüber dem kleineren 975 Liter Speicher um die CHF 20'000 einsparen können. Genauere Zahlen wären mit entsprechenden Simulationsprogrammen zu ermitteln.

3. Welche prinzipiellen Ladestrategien sind bekannt, insbesondere für Wärmepumpen?

In der SIA 385/2 wird bei der Auslegung nur unterschieden zwischen internen und externen WÜ für die Beladung. Über Strategien im Sinne von «Leistungs- und Durchflussregelung während der Beladung» gibt es keine Angaben oder Annahmen. Darauf geht jedoch ein separater Bericht ein, der für EnergieSchweiz verfasst wurde und auf welchen hier verwiesen wird (Prinzig u.a. 2022). Zudem startet im Herbst 2023 das BFE Forschungsprojekt EffPlusWW, welches die verschiedenen Ladestrategien systematisch untersucht und einander gegenüberstellt.

4. Welche Auswirkung haben diese Fragen auf das Speichervolumen und die Kontrollierbarkeit der Ladung?

Eine bessere Kontrollierbarkeit der Ladung ist insbesondere für die Abstimmung mit verfügbarem PV-Strom und eventuell netzdienlichem Betrieb erwünscht. Entscheidend dürfte hier einerseits eine grosszügige Dimensionierung der Speicher sein sowie eine gute Speicherschichtung, welche es erlaubt den Speicher von oben nach unten zu beladen, so dass auch bei Teilladung oder Ladungsunterbrechung im unteren Bereich keine legionellenkritischen Temperaturen entstehen. Diese Aspekte wurden bisher nur wenig untersucht. Im Jahr 2023 wird jedoch ein Forschungsprojekt im Forschungsprogramm Wärmepumpen des BFE gestartet, welches sich mit diesen Fragen befassen wird.

7. Schlussfolgerungen

Die Dimensionierung von Warmwasser-Speicher in EFH und MFH orientiert sich in der Schweiz an der SIA 385/2. Ein wichtiger Faktor, der das Speichervolumen stark beeinflusst, ist die Wahl der Anzahl Ladezyklen pro Tag, für welche jedoch die SIA keine Vorgaben macht.

Wenn Zuschläge für die Speicherdimensionierung gemacht werden um den Speicher vor allem dann mit einer Wärmepumpe beladen zu können, wenn PV-Strom vorhanden ist, muss unbedingt deklariert werden, auf welchen Ausgangspunkt sich der Zuschlag bezieht, respektive welche Anzahl Ladezyklen angenommen wurde.

Alternativ könnte für eine optimale Ausnützung von PV-Strom deklariert werden, dass die Speicherdimensionierung unter der Annahme von 1x Laden pro Tag oder einer anderen, geringen Anzahl Ladungen pro Tag vorgenommen werden soll, und diese Ladung in Bezug auf die Tageszeit dem PV-Ertrag angepasst werden soll. Wichtig ist dabei immer, dass das Speichervolumen durch gute Schichtung optimal ausgenutzt wird, und dass die Hygienebestimmungen eingehalten werden.

8. Literatur und Grundlagen

- ➔ SIA 385/1:2020: Anlagen für Trinkwarmwasser in Gebäuden – Grundlagen und Anforderungen
- ➔ SIA 385/2:2015: Anlagen für Trinkwarmwasser in Gebäuden – Warmwasserbedarf, Gesamtanforderungen und Auslegung
- ➔ prSIA 385/2:2023-07: Anlagen für Trinkwarmwasser in Gebäuden – Warmwasserbedarf, Gesamtanforderungen und Auslegung
- ➔ SIA D0244: Anlagen für Trinkwarmwasser in Gebäuden. Erläuterungen zu den Normen SIA 385/1 und SIA 385/2.
- ➔ ErP – EU Energy-Related Products Directive (ErP Directive 2009/125/EC)
- ➔ Prinzig, M., Haller, M., Bertsch, S.; 3.10.2022. Warmwasser mit Wärmepumpen – gute Planung für hygienisch gute Anlagen, im Auftrag von EnergieSchweiz

9. Anhang A: Auslegungsverfahren nach SIA 385/2:2015

9.1 Unterscheidung Grobauslegung und Feinplanung

In der SIA 385/2 gibt es an zwei Stellen eine Definition eines Speichervolumens. Im Kapitel 3 «Grob- auslegung», wird eine Speichergrösse angenommen, die dem Nutzwarmwasserbedarf entspricht. Diese An- nahme dient jedoch nur der Ermittlung von Speicherverlusten, welche in die Verlustkennzahl einfließen. Sie hat nichts mit der eigentlichen Auslegung zu tun, welche in Kapitel 4 «Feinplanung» erfolgt.

9.2 Nutzwarmwasserbedarf

Als erstes wird der Nutzwarmwasserbedarf nach Anhang A der SIA 385/2 in Abhängigkeit der Nutzungsart mit typischen Belegungsdaten und Normliter-Verbräuchen (pro Tag) ausgerechnet. Eine Tabelle in An- hang A der Norm deklariert Normliterverbräuche pro Person (Wohn- und Bürogebäude), pro Sitzplatz (Gastronomie), pro Bett (Beherbergungen, Alters-, Pflegeheime oder Spitäler), oder auch sachbezogen für Speiserestaurants, Duschen, Bäder und Wäschereien. Als Beispiel seien hier die Durschnitts- und Spit- zenverbräuche pro Person für den Wohnbereich gegeben.

Standard	Durchschnittsbedarf, Norm-L/Tag	Spitzenbedarf, Norm-L/Tag
einfach	40	50
mittel	45	60
gehoben	55	70

Tabelle 2: Durchschnitts- und Spitzenbedarf in Norm-L pro Person und Tag für Wohnbauten des einfachen, mittleren und gehobenen Standards.

Da die Belegung mit Personen zu Beginn oft unbekannt ist, und im Laufe der Zeit ändern kann, wird diese in Abhängigkeit der Fläche jeder Wohneinheit berechnet:

$$n_{p,i} = 3.3 - \frac{2}{1 + \left(\frac{A_{NF}}{A_0}\right)^3}$$

$n_{p,i}$ Anzahl Personen (P) in der Wohneinheit, P
 A_{NF} Nutzfläche der Wohneinheit, m²
 A_0 100 m²

Für die Ermittlung des Nutzwarmwasserbedarfs, welcher der Speicherauslegung zugrunde gelegt wird, wird der **Spitzenbedarf pro Bezugseinheit**¹ (in diesem Falle pro Person) mit der Anzahl Bezugseinheiten (hier Anzahl Personen) multipliziert. Bei gemischter Nutzung wird die Summe aller Nutzungsarten gebil- det, um den Gesamt-**Nutzwarmwasserbedarf in Norm-L pro Tag** zu erhalten. Da sich die Norm-Liter auf eine Erwärmung des Wassers von 10 auf 60 °C beziehen, erfolgt die Umrechnung in Nutzwärme Q_W ge- mäss folgender Formel:

$$Q_W = \sum_i (n_{p,i} \cdot V_{W,u,i}) \cdot 0.058 \frac{kWh}{Norm - Liter}$$

Wobei

$V_{W,u,i}$ Norm-Liter pro Bezugseinheit des Typs i, Norm-L/d
 $n_{p,i}$ Anzahl Bezugseinheiten des Typs i, -

¹ In der Dokumentation SIA D0244:2015 befinden sich Beispiele, in welchen die Speicherauslegung mit dem Durchschnittsbedarf gerechnet wird. Dies ist jedoch ein Fehler, der mit der anstehenden Überarbeitung der SIA 385/2 und der Dokumentation dazu behoben werden wird.

9.3 Wärmeverluste warm gehaltener Verteilung

Verfügt das Objekt über warm gehaltene Verteilungen, so wird deren Wärmeverlust ermittelt. Bei der Feinplanung erfolgt diese Berechnung auf Basis von Länge und Durchmesser der Leitungen. In einer Tabelle in Anhang D der Norm sind Verlustkoeffizienten bei Temperaturdifferenzen zur Umgebung von 30, 35 und 40 K und für Rohr-Aussendurchmesser von $D = 15 - 105$ mm gelistet. Auf Grund der SIA 385/1:2020 dürften jedoch für den im Alltag wohl häufigen Fall einer Umgebungstemperatur um die 15-20 °C nur die Werte für 40 K relevant sein, da geringere Temperaturen von warm gehaltenen Leitungen ein Hygierisiko darstellen. Die Verluste für 40 K Temperaturdifferenz können jedoch vereinfacht durch folgendes Polynom angenähert werden:

$$Q_{W,hl,ls,i} = L \cdot (0.0742 + 0.0016 \cdot d - 6 \cdot 10^{-6} \cdot d^2) \frac{kWh}{m \cdot Tag}$$

Wobei

$Q_{W,hl,ls,i}$ Verluste des Leitungsabschnittes in kWh/Tag

L Länge des Leitungsabschnitts, m

d Aussendurchmesser der Leitung, mm

Für abweichende Temperaturdifferenzen kann mit dem Faktor $\Delta T/(40K)$ korrigiert werden. Sind Leitungen mit unterschiedlichen Durchmessern vorhanden, so werden die Verluste der Einzelabschnitte einzeln ermittelt und addiert.

9.4 Ausstossverluste

Das Verfahren zur Ermittlung der Wärmeverluste auf Grund von «Ausstossverlusten» ist in Anhang E der Norm detailliert beschrieben. Die Ausstossverluste werden für jede Nutzungseinheit ermittelt und addiert, wobei wiederum die oben beschriebene Anzahl Nutzer verwendet wird. Für Wohngebäude sind die in Tabelle 3 gelisteten Nutzungseinheiten definiert. Die Anzahl Warmwasserentnahmen richten sich nach der jeweiligen Nutzungseinheit und der Anzahl Personen.

Nutzungseinheit	Anzahl Warmwasser- Entnahmen pro Tag	Volumenstrom in L/min
Duschen, Bad	$n_{p,i}$	6
Spültische	$4 \cdot (n_{p,i} - 1)^{0.6} + 6$	4
Waschtische	$13 \cdot (n_{p,i})^{0.3} - 9$	3

Tabelle 3: Nutzungseinheiten und deren Parameter für Wohngebäude.

Die Summe der Verluste aller Nutzungseinheiten ergibt das Total der Ausstoss-Wärmeverluste:

$$Q_{W,em,ls} = \sum_i Q_{W,em,ls,i}$$

Wobei

$Q_{W,em,ls}$ Total der Ausstoss-Wärmeverluste, kWh/Tag

$Q_{W,em,ls,i}$ Ausstoss-Wärmeverluste einer Nutzungseinheit i gemäss Tabelle 3, kWh/Tag

Eine Nutzungseinheit kann unterteilt sein in verschiedene Entnahmestellen, wenn sich zum Beispiel die Länge der Ausstossleitungen oder das verwendete Rohrmaterial dieser Entnahmestellen unterscheidet.

Die Ausstossverluste einer einzelnen Nutzungseinheit berechnet sich somit aus der Summe der unterschiedlichen Entnahmestellen:

$$Q_{W,em,ls,i} = n_{em,i} \cdot \sum_{j=1}^{N_{em,i}} \frac{Q_{W,em,ls,ind,ij}}{N_{em,i}}$$

Wobei

$n_{em,i}$ Anzahl Warmwasser-Entnahmen pro Tag für Nutzungseinheit i (gemäss Tabelle 3), /Tag

$N_{em,i}$ Anzahl unterschiedlich parametrierter Entnahmestellen der Nutzungseinheit i

$Q_{W,em,ls,ind,ij}$ Wärmeverlust einer einzelnen Entnahme einer Entnahmestelle j innerhalb der Nutzungseinheit i

Die Wärmeverluste pro Entnahme der Ausstossleitungen werden auf Grund des Rohrmaterials und der Frage, ob die Verteilungen warmgehalten sind (Zirkulation, Heizband) ermittelt.

Die Verluste pro Entnahme werden mit folgender Formel berechnet:

$$Q_{W,em,ls,ind} = k_1 \cdot \frac{L_{em}}{L_0} + k_2 \cdot \sqrt{\frac{L_{em}}{L_0} \cdot \frac{q_{v,W,em}}{q_0}}$$

Wobei:

L_{em} Länge der Ausstossleitung, m

L_0 1 m

$q_{v,W,em}$ Volumenstrom der typischen Entnahme (aus Tabelle), L/min

q_0 1 L/min

k_1, k_2 Koeffizienten, welche auf Grund von Material, Durchmesser und der Frage, ob die Verteilung warmgehalten wird, ermittelt werden (Tabelle in Anhang E).

9.5 Speichervolumen: Erste Schätzung

Der erste Schätzwert des täglich bereitzustellenden Warmwasser-Volumens $V_{W,d,1}$ wird auf Grund von Abschnitt 4.3 der SIA 385/1 ermittelt als:

$$V_{W,d,1} = 1.5 \cdot V_{W,u}$$

Wobei

$V_{W,u}$ Nutzwarmwasserbedarf (an den Entnahmestellen), kWh/d

Der erste Schätzwert für das Speichervolumen $V_{W,sto,1}$ wird berechnet als Summe von Spitzendeckungs- $V_{W,sto,pk}$ und Steuervolumen $V_{W,sto,ctrl}$, multipliziert mit dem Volumenfaktor f_{sto} , welcher die Effizienz der Ausnutzung des Speichervolumens in Abhängigkeit der Belade-Charakteristik berücksichtigt.

$$V_{W,sto,1} = f_{sto} \cdot (V_{W,sto,pk} + V_{W,sto,ctrl})$$

Wobei

$V_{W,sto,pk}$ Spitzendeckungsvolumen, in der Regel Stunden-Spitze, L

$V_{W,sto,ctrl}$ Steuervolumen: $V_{W,sto,ctrl} = V_{W,d,1}/n_Z$, L

n_Z Anzahl Speicherladungen pro Tag, -

f_{sto} Volumenfaktor: $f_{sto} = 1$: weder Misch- noch Kaltzone (nach Aufladung ganzer Speicher auf Soll-Temperatur); $f_{sto} = 1.1$: Mischzone (z. Bsp. Beladung über externen WÜ); $f_{sto} = 1.25$: Misch- und Kaltzone (z.Bsp. Beladung über externen WÜ)

Bemerkung zum Spitzendeckungsvolumen

Für die Bestimmung des Spitzendeckungsvolumens referenziert die SIA 385/2:2015, Abschnitt 4.3.2.2, das Säulen- und Summendiagramm Figur 5 derselben Norm, aus welchem hervorgeht, dass die maximal zu erwartende Stundenspitze 9% des Tagesbedarfs entspricht. Die ist jedoch ein Fehler, denn nur bei

sehr grossen Wohngebäuden mit mehreren 100 Personen ist ein so geringer Prozentsatz als Stunden-
spitze zu erwarten. Laut persönlicher Kommunikation von Jean-Marc Suter ist das korrekte Vorgehen in
der Wegleitung D0244 und der darin enthaltenen Abbildung 13 korrekt beschrieben, und soll bei der Über-
arbeitung der SIA 385/2 auch übernommen werden. Einfacher als das Auslesen aus Abbildung 13 der
D0244 (siehe Bild 2), ist jedoch eine Annäherung über eine Formel:

$$V_{W,sto,pk} = f_{peak} \cdot V_{W,u}$$

$$f_{peak} = \min(1.25 \cdot (n_p)^{-0.42}, 0.5)$$

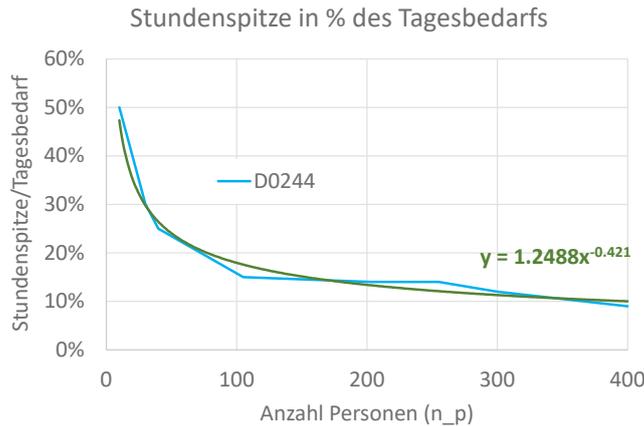


Bild 2: Stundenspitze in Abhängigkeit der Anzahl Personen, auf Grund der SIA D0244 (hellblau) und einer Annäherungsformel (grün).

Die so ermittelte erste Schätzung des Speichervolumens dient «nur» der Ermittlung der Wärmeverluste
des Speichers. Dies ist noch nicht die Auslegung der Speichergösse.

9.6 Wärmeverluste des Speichers

Auf Grund von $V_{W,sto,1}$ werden die Wärmeverluste des Speichers ermittelt. Die SIA 385/2:2015 referenziert
hierfür die SIA 385/1:2011. In dieser älteren Version der SIA 385/1 waren maximal zulässige Speicherver-
luste in Abhängigkeit des Volumens gelistet. Diese wurden jedoch in der neuen Fassung von 2020 (SIA
385/1:2020) ersetzt durch die Vorgaben des Ecolabellings der EU (ErP). Demnach gelten für Wärmespei-
cher in Abhängigkeit ihres Volumens die folgenden Verlust-Limiten (Wärmeverlustleistung):

$$\text{class B: } P_{W,sto,ls} < 12 W + 5.93 W \cdot V^{0.4}$$

$$\text{class C: } P_{W,sto,ls} < 16.66 W + 8.33 W \cdot V^{0.4}$$

wobei als Volumen V das Liter-Volumen als dimensionslose Zahl eingesetzt wird. Die täglichen Wärme-
verluste des Speichers berechnen sich entsprechend als:

$$Q_{W,sto,ls} = P_{W,sto,ls} \cdot 24h / \left(\frac{1000W}{kW} \right)$$

Gemäss ErP müssen Wärmespeicher mit Volumen ≤ 500 Liter Klasse B erfüllen, grössere Speicher
Klasse C.

9.7 Wärmebedarf der Warmwasserversorgung

Der Gesamt-Wärmebedarf der Warmwasserversorgung wird berechnet aus dem Nutz-Warmwasserbedarf Q_W , sowie den Verlusten von Speicher, warm gehaltenen Leitungen, und Ausstoss-Wärmeverlusten:

$$Q_{W,gen,out} = Q_W + Q_{W,sto,ls} + Q_{W,hl,ls} + Q_{W,em,ls}$$

Wobei

$Q_{W,gen,out}$	Wärmebedarf der Warmwasserversorgung, kWh/d
$Q_{W,sto,ls}$	Wärmeverluste des Speichers, kWh/d
$Q_{W,hl,ls}$	Wärmeverluste der warm gehaltenen Leitungen, kWh/d
$Q_{W,em,ls}$	Wärmeverluste der Ausstossleitungen, kWh/d

9.8 Täglich bereit zu stellendes WW-Volumen und definitives Speichervolumen

Der definitive Wert des täglich bereit zu stellenden WW-Volumens wird berechnet als:

$$V_{W,d,2} = \frac{Q_{W,gen,out}}{\Delta\theta_{gen} \cdot \rho \cdot C_p}$$

Wobei:

$\rho \cdot C_p$	Produkt aus Dichte und spezifischer Wärmekapazität von Wasser: $1.16 \cdot 10^{-3} kWh/K$
$\Delta\theta_{gen}$	Temperaturerhöhung bei der Wassererwärmung, K

Auf Grund dieses zweiten, definitiven Wertes des täglich bereit zu stellenden WW-Volumens werden die folgenden Grössen neu berechnet:

- Speicherverluste
- Steuervolumen
- Kontrollvolumen
- Speichervolumen

Erst dieses zweite ermittelte Speichervolumen ist der definitive Wert für die Planung!

9.9 Offene Fragen und Kritik

9.9.1 Umgang mit Heizbändern

Während bei der Grobauslegung in Kapitel 3 der SIA 385/1 darauf eingegangen wird, dass bei Einsatz von Heizbändern zur Warmhaltung der Verteilung nur ein Teil der Wärmeverluste der warm gehaltenen Verteilleitungen aus dem Speicher zur Verfügung gestellt werden muss, wird bei der Feinauslegung (Kapitel 4) nicht auf diesen Sachverhalt eingegangen. Entsprechend werden die vollen Wärmeverluste der warm gehaltenen Verteilung auch bei Warmhaltung über Heizbänder dem Wärmebedarf zugerechnet, welcher ab Speicher zur Verfügung gestellt werden können muss. Dieser «Fehler» soll mit der anstehenden Revision der SIA 385/2 behoben werden.

9.9.2 Spitzendeckungsvolumen und Gleichzeitigkeitsfaktoren

Die Berechnung des Spitzendeckungsvolumens wird voraussichtlich mit der Revision der SIA 385/2 an die Dokumentation D0244 angeglichen werden. Zusätzlich sollte das Spitzendeckungsvolumen für Einfamilienhäuser oder Einzelwohnungsversorgung mindestens so angesetzt werden, dass es dem grössten Bewohner dieser Wohneinheit entspricht. Zum Beispiel könnte dies bedeuten, dass, wenn keine Badewanne vorhanden ist, das Spitzendeckungsvolumen mindestens zweimal Duschen mit der entsprechenden

Dusch-Installation abdecken muss. Wenn eine Badewanne oder ein Yakuzzi vorhanden ist, sollte die Wärmemenge welche für die Füllung dieser Einheit benötigt wird als Basis für die Berechnung des Spitzendeckungsvolumen genommen werden.

10. Anhang B: Vereinfachungen zur SIA 385/2:2015

Während der Überarbeitung der SIA 385/2 wurden die folgenden Vereinfachungen vorgeschlagen, die dann teilweise übernommen wurden oder auch in anderer Form zu Vereinfachungen in der prSIA 385/2:2023-07 geführt haben.

10.1 Mögliche Vereinfachungen

Nach Analyse der einzelnen Auslegungsschritte gemäss SIA bieten sich folgende Vereinfachungen an:

- Die **Wärmeverluste der warm gehaltenen Verteilung** können über eine Formel (Fit auf die tabellarischen Werte) ermittelt werden, wie bereits in Abschnitt 8.3 dargestellt. Warm gehaltene Verteilungen mit nur 20 oder 30 K Temperaturdifferenz gegenüber Umgebungsluft sind aus hygienischen Gründen nicht mehr zulässig.
- Die **Wärmeverluste der Ausstossleitungen** werden sehr detailliert berechnet, haben jedoch nur einen geringen Einfluss auf das Gesamtergebnis. Innerhalb dieser Berechnungen haben die Volumenströme und die Frage, ob die Verteilung warmgehalten wird oder nicht, nur einen sehr geringen Einfluss. Hier kann eine worst-case Annahme alle Fälle abdecken, ohne dass die Resultate signifikant abweichen von der detaillierten Berechnung.
- Zur Bestimmung der **Speicherverluste** braucht es ein iteratives Berechnen des Speichervolumens. Hier kann ohne Probleme auch mit einem etwas ungenaueren Wert gerechnet werden, zumal der exakte Wert auch nicht genau dem in der ErP geforderten Wert entsprechen dürfte. Idealerweise muss das Speichervolumen nur einmal bestimmt werden, was das Verfahren vereinfacht.

10.2 Bestimmung des Nutzwarmwasserbedarfs und des Wärmeverlustes der Verteilung

Nutzwarmwasserbedarf und Wärmeverluste der warmen Verteilung werden wie in SIA 385/2 beschrieben bestimmt.

10.3 Wärmeverluste der Ausstossleitungen

Es wird von einem worst case ausgegangen in Bezug auf die Volumenströme (6 L/min) und die Frage, ob die Verteilungen warm gehalten sind oder nicht (d.h. Annahme ist «nicht warm gehalten»). Dadurch vereinfacht sich die Gleichung zur Ermittlung der individuellen Verluste einzelner WW-Ausstösse

$$Q_{W,em,ls,ind} = c_1 \cdot \frac{L_{em}}{L_0} + c_2 \cdot \sqrt{\frac{L_{em}}{L_0}}$$

Wobei:

L_{em} Länge der Ausstossleitung, m

L_0 1 m

c_1, c_2 Koeffizienten, welche auf Grund von Material und Durchmesser ermittelt werden:

	Rostbeständiger Stahl			Kunststoff		
	15 x 1	18 x 1	22 x 1.2	12 x 1.8	16 x 2.2	20 x 2.8
c1	0.0077	0.0116	0.0174	0.0032	0.0061	0.0094
c2	0.0198	0.0230	0.0277	0.0132	0.0167	0.0201

10.4 Speicherverluste und Berechnung des definitiven Speichervolumens

Zur Ermittlung der Speicherverluste muss zuerst ein provisorisches Speichervolumen angenommen werden. In der SIA ist dies 1.5 x WW-Bedarf, unabhängig vom Spitzendeckungsvolumen, von der Anzahl Ladezyklen pro Tag, und von der Speicher-Solltemperatur (nach Ladung). Da jedoch die Anzahl Ladezyklen pro Tag und die Soll-Temperatur das Speichervolumen stark beeinflussen, ist dieser Schätzwert äusserst ungenau und muss später durch ein iteratives Verfahren korrigiert werden.

Es erscheint deshalb angebracht, die Information zu Anzahl Ladungen pro Tag und zur Soll-Temperatur des Speichers gleich von Beginn weg mit in die Berechnung einzubeziehen, und die Berechnung basierend auf Energiemengen vorzunehmen. Die Energiemenge, welche somit im Speicher vorgehalten werden muss ist (exklusive Deckung der Speicherverluste):

$$Q_{tot,1} = Q_{peak} + (Q_{W,u} + Q_{W,hl,ls} + Q_{W,em,ls})/n_Z$$

Eine tiefere Soll-Temperatur reduziert einerseits die Temperaturdifferenz zur Umgebung, andererseits erhöht sich dadurch jedoch das benötigte Speichervolumen. Diese beiden Effekte heben sich in der Summe +/- auf, so dass die Speicherverluste direkt in Abhängigkeit der zu speichernden Energiemenge geschätzt werden kann. In erster Näherung kann hier etwa 10% als Tagesverlust angenommen werden. Genauer wäre jedoch sicher ein Wert der Abhängig ist von der Menge, und damit vom zu erwartenden Verhältnis von Oberfläche zu Volumen, sofern die Menge in einem einzelnen Speicher untergebracht wird:

$$Q_{W,sto,ls} = 0.1 \cdot Q_{tot,1}$$

damit wird

$$Q_{W,gen,out} = Q_W + Q_{W,hl,ls} + Q_{W,em,ls} + Q_{W,sto,ls}$$

Im Folgenden wird das Spitzendeckungsvolumen einmal unabhängig von der Speicher-Solltemperatur gerechnet (wie in SIA 385/2), und einmal abhängig von der Soll-Temperatur.

Spitzendeckungsvolumen gemäss SIA 385/2 (Variante V1):

$$V_{W,sto,pk} = f_{peak} \cdot V_{W,u}$$

Spitzendeckungsvolumen unter Berücksichtigung der realen Speichertemperatur (Variante V2):

$$V_{W,sto,pk} = f_{peak} \cdot \frac{Q_W}{\Delta T_{gen} \cdot \rho \cdot C_p}$$

Das Steuer-Volumen:

$$V_{W,sto,ctrl} = \frac{Q_{W,gen,out}}{\Delta T_{gen} \cdot \rho \cdot C_p \cdot n_Z}$$

Das finale Speichervolumen:

$$V_{W,sto,prov} = f_{sto} \cdot (V_{W,sto,pk} + V_{W,sto,ctrl})$$

Wobei

f_{sto} Volumenfaktor wie in 8.5.

11. Anhang C: Auslegungsbeispiele mit SIA 385/2:2025 (alt)

Im Folgenden werden Auslegungsbeispiele anhand der SIA 385/2 berechnet, und mit den in Abschnitt 9 dargestellten Vereinfachungen verglichen. Bei den Vereinfachungen stellt Variante V1 eine Version dar, bei der die Auslegung des Spitzendeckungsvolumens gleich wie bei der Norm gehandhabt wird. V2 berechnet das Spitzendeckungsvolumen auf Grund der tatsächlichen Speichertemperatur nach Ladung, was bei Speichertemperaturen unter 60 °C zu einem leicht erhöhten Volumen führt.

11.1 Auslegungsbeispiele EFH

Ein Warmwasserspeicher ist auszulegen für ein Einfamilienhaus mit folgenden Annahmen:

- 150 m² Wohnfläche
- gehobener Standard
- Beladung über internen WÜ

Die typische Belegung beträgt für dieses Objekt, gemäss Formel in Abschnitt 8.2, 2.8 Personen ($n_p = 2.8$), und mit gehobenem Standard resultieren:

- $V_{W,u} = 199$ Norm-L/d
- $Q_W = 11.5$ kWh/d
-

Wir rechnen mit jeweils 5 m Ausstoss-Leitungslänge für Dusche/Bad, Spültische und Waschtische, 16 x 2.2 Kunststoff.

11.1.1 ohne WW-Zirkulation – eine Ladung oder zwei Ladungen pro Tag

Detaillierte Werte für 1 x Laden pro Tag

Parameter	Symbol	Einheit	nach SIA 385/2	V1	V2
Nutzwarmwasserbedarf	$V_{W,u}$	Liter	199	199	199
Anfangswert Warmwasservolumen	$V_{W,d,1}$	Liter	299		
Spitzendeckungsanteil		%	50%		
Spitzendeckungsvolumen	$V_{W,sto,pk}$	Liter	100	100	111
Anfangswert Steuervolumen	$V_{W,sto,ctrl,1}$	Liter	299		
Anfangswert Bereitschaftsvolumen	$V_{W,sto,cont,1}$	Liter	398		
Anfangswert Speichervolumen	$V_{W,sto,1}$	Liter	498		
Wärmebedarf Warmwasser	Q_W	kWh/d	11.5	11.5	11.5
Verluste warme Verteilung	$Q_{W,hl,ls}$	kWh/d	0	0	0
Ausstoss-Wärmeverluste	$Q_{W,em,ls}$	kWh/d	1.23	1.38	1.38
Speicherverluste	$Q_{W,sto,ls}$	kWh/d	1.99	1.87	1.87
Wärmebedarf Total	$Q_{W,gen,out}$	kWh/d	14.8	14.8	14.8
WW-Volumen bei T=55°C	$V_{W,d,2}$	Liter	282.8		
Steuervolumen	$V_{W,sto,ctrl,2}$	Liter	283	283	283
Bereitschaftsvolumen	$V_{W,sto,cont,2}$	Liter	382	383	394
Speicher-Volumenfaktor		-	1.25	1.25	1.25
Speichervolumen 1 x Laden/d	$V_{W,sto,2}$	Liter	478	479	493
Verglichen mit SIA 385/2 Standard				+0.2%	+3%

Resultate für 2 x Laden pro Tag

Parameter	Symbol	Einheit	nach SIA 385/2	V1	V2
Speichervolumen bei 2 x Laden/d	$V_{W,sto,2}$	Liter	298	294	308
Verglichen mit SIA 385/2 Standard				-1%	+3%

Das Speichervolumen für dieses EFH mit 150 m² Wohnfläche beträgt nach SIA 385/2 478 Liter, bei vereinfachter Auslegung ohne Korrektur des Spitzendeckungsvolumens 3% weniger, bei Korrektur des Spitzendeckungsvolumens auf Grund von Speichertemperatur 55 °C anstatt 60 °C 0.2% mehr.

11.1.2 mit WW-Zirkulation – eine Ladung oder zwei Ladungen pro Tag

Für die Variante mit Zirkulation wurden angenommen

- Vorlauf 10 m, ID 22 mm, 40 K Temperaturdifferenz
- Rücklauf 10 m, ID 15, 40 K Temperaturdifferenz

Daraus resultieren Verluste der Warmhaltung von 2.2 kWh/d, und die Ausstoss-Wärmeverlust reduzierten sich leicht von 1.23 auf 1.18. Dieser Unterschied ist jedoch marginal und fällt nicht ins Gewicht. Die resultierenden Speichervolumen sind:

Parameter	Symbol	Einheit	nach SIA 385/2	V1	V2
Speichervolumen 1 x Laden/d	$V_{W,sto,2}$	Liter	530	537	551
Differenz zu SIA 385/2 Standard				+1%	+4%
Speichervolumen 2 x Laden/d	$V_{W,sto,2}$	Liter	324	322	335
Differenz zu SIA 385/2 Standard				-0.6%	+4%

11.1.3 mit Heizband – eine Ladung oder zwei Ladungen pro Tag

In der Feinauslegung der SIA 385/2 wird – im Gegensatz zur Grobauslegung – der Wärmeverlust der warmen Verteilung nicht mehr unterteilt in Anteil der durch Wärme aus dem Speicher gedeckt wird und einen Anteil der durch das Heizband gedeckt wird. Was sich jedoch ändert ist die Länge der Leitungen. Die 10 m Rücklaufleitung fällt in diesem Falle weg, was die Warmhalteverluste von 2.2 kWh/d auf 1.2 kWh/d verkürzt. Die resultierenden Speicher-Volumina sind:

Parameter	Symbol	Einheit	nach SIA 385/2	V1	V2
Speichervolumen 1 x Laden/d	$V_{W,sto,2}$	Liter	506	510	524
Differenz zu SIA 385/2 Standard				+1%	+4%
Speichervolumen 2 x Laden/d	$V_{W,sto,2}$	Liter	311	309	323
Differenz zu SIA 385/2 Standard				-1%	+4%

11.2 Auslegungsbeispiel MFH

Ein Warmwasserspeicher ist auszulegen für ein Mehrfamilienhaus mit folgenden Annahmen:

- 8 Wohnungen a 130 m² Wohnfläche
- gehobener Standard
- Beladung über externen WÜ

Die typische Belegung beträgt für dieses Objekt sind 21.4 Personen ($n_p = 21.4$), und mit gehobenem Standard resultieren:

- $V_{W,u} = 1498$ Norm-L/d
- $Q_W = 86.9$ kWh/d

Wir rechnen mit jeweils 5 m Ausstoss-Leitungslänge für Dusche/Bad, Spültische und Waschtische, 16x2.2 Kunststoff.

11.2.1 mit WW-Zirkulation – eine Ladung oder vier Ladungen pro Tag

Vor- und Rücklauf der Zirkulation werden mit je 40 m (Vorlauf ID 28, Rücklauf ID 18) angenommen.

Detaillierte Werte für 1 x Laden pro Tag

Parameter	Symbol	Einheit	nach SIA 385/2	V1	V2
Nutzwarmwasserbedarf	$V_{W,u}$	Liter	1498	1498	1498
Anfangswert Warmwasservolumen	$V_{W,d,1}$	Liter	2247		
Spitzendeckungsanteil		%	35%	35%	35%
Spitzendeckungsvolumen	$V_{W,sto,pk}$	Liter	517	517	575
Anfangswert Steuervolumen	$V_{W,sto,ctrl,1}$	Liter	2247		
Anfangswert Bereitschaftsvolumen	$V_{W,sto,cont,1}$	Liter	2764		
Speicher-Volumenfaktor		-	1.1	1.1	1.1
Anfangswert Speichervolumen	$V_{W,sto,1}$	Liter	3040		
Wärmebedarf Warmwasser	Q_W	kWh/d	86.9	86.9	86.9
Verluste warme Verteilung	$Q_{W,hl,ls}$	kWh/d	9.4	9.4	9.4
Ausstoss-Wärmeverluste	$Q_{W,em,ls}$	kWh/d	4.1	4.7	4.7
Speicherverluste	$Q_{W,sto,ls}$	kWh/d	5.3	13.1	13.1
Wärmebedarf Total	$Q_{W,gen,out}$	kWh/d	105.7	114.0	114.0
WW-Volumen bei T=55°C	$V_{W,d,2}$	Liter	2025		
Steuervolumen	$V_{W,sto,ctrl,2}$	Liter	2025	2184	2184
Bereitschaftsvolumen	$V_{W,sto,cont,2}$	Liter	2542	2701	3034
Speichervolumen 1 x Laden/d	$V_{W,sto,2}$	Liter	2796	2971	3034
Verglichen mit SIA 385/2 Standard				+6%	+9%

Resultate für 4 x Laden pro Tag

Parameter	Symbol	Einheit	nach SIA 385/2	V1	V2
Speichervolumen bei 4 x Laden/d	$V_{W,sto,2}$	Liter	1117	1130	1193
Verglichen mit SIA 385/2 Standard				+1%	+7%

11.2.2 mit Elektro-Begleitheizband

Bei Elektro-Begleitheizband fällt die Rücklaufleitung weg, und die Wärmeverluste der Warmhaltung verkürzen sich von 9.4 kWh/d auf 5.1 kWh/d

Parameter	Symbol	Einheit	nach SIA 385/2	V1	V2
Speichervolumen 1 x Laden/d	$V_{W,sto,2}$	Liter	2706	2873	2936
Differenz zu SIA 385/2 Standard				+6%	+9%
Speichervolumen 4 x Laden/d	$V_{W,sto,2}$	Liter	1095	1107	1170
Differenz zu SIA 385/2 Standard				+1%	+7%