



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und
Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Energie in Gebäuden

Schlussbericht 29.02.2016

STRATEGIE FÜR DEN ERSATZ VON ELEKTROWASSERERWÄRMERN UNTER EINBEZUG DES GESAMTWÄRMESYSTEMS IM GEBÄUDE



Datum: 29 Feb. 2016

Ort: Bern

Auftraggeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Energie in Gebäuden
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:

BKW Energie AG - BKW technology Center
Dr. Schneider Strasse 10, CH-2560 Nidau

Conférence Romande des Délégués à l'Énergie CRDE
Tombet 24, CH-2034 Peseux

Danfoss AG, Heating Solutions & District Energy Division
Parkstrasse 6 - CH-4402 Frenkendorf

Kanton Aargau - Departement Bau, Verkehr und Umwelt
Postfach 2504, CH-5001 Aarau

Kanton Thurgau und Schaffhausen - Abteilung Energie
Promenadenstrasse 8, CH-8510 Frauenfeld

Stadt Zürich – Amt für Hochbauten
Lindenhofstr. 21, CH-8021 Zürich

Taconova Group AG
Steinackerstrasse 6, CH-8902 Urdorf

Auftragnehmer/in:

Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Technikumstrasse 21
CH-6048 Horw
www.hslu.ch/

Autor/in:

Thomas Heim, Hochschule Luzern – T&A, thomas.heim@hslu.ch
Benoit Sicre, Hochschule Luzern – T&A, benoit.sicre@hslu.ch
Reto von Euw, Hochschule Luzern – T&A, reto.voneuw@hslu.ch



Begleitgruppe:

Martin Bolliger, BKW Energie AG
Rolf Moser, Enerconom AG
Martin Müller, Kanton Thurgau
Jürg Nipkow, ARENA
Andrin Stump, Taconova Group AG
Roland Wagner, Stadt Zürich
Michel Wenger, Danfoss A/S

BFE-Bereichsleitung: Andreas Eckmanns, andreas.eckmanns@bfe.admin.ch

BFE-Programmleitung: Rolf Moser, moser@enerconom.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/ 500985-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch



Zusammenfassung

In der Schweiz wird das Warmwasser in geschätzt 550'000 Wohnungen dezentral und direkt elektrisch erwärmt. Die direkte Umwandlung von Elektrizität in Wärme ist ineffizient und somit auch dieser Typ von Elektrowassererwärmern. Darum sollen diese hinsichtlich der Strategie 2050 des Bundesrats durch effizientere Lösungen ersetzt werden. Für diesen Ersatz besteht kein konkreter Umsetzungsplan. Im vorliegenden Projekt wurden, ausgehend von einer Bestandsanalyse und einer Feldmessung, realisierbare zentrale und dezentrale Konzepte mittels Simulationen untersucht.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Lösungen energetisch kaum voneinander unterscheiden lassen. Eine bedeutsamere Rolle spielen die Effizienz des Wärmeerzeugers und die Wärmeverluste der Warmwasserversorgung. Auch die Nutzergewohnheiten können einen wichtigen Beitrag leisten. Bei der untersuchten Stichprobe betrugen die Kurzzapfungen, bei denen das Warmwasser nicht einmal die Entnahmestelle erreichte, ca. 50% der erfassten Zapfungen. Solche, öfters ungewollte Zapfungen, könnten z.B. durch Sensibilisierung des Nutzers weitgehend vermieden werden.

Résumé

En Suisse, l'eau sanitaire est chauffée directement à l'électricité dans environ 550'000 appartements. En raison de la conversion directe de l'électricité en chaleur, ces ballons électriques sont jugés inefficaces et devraient être remplacés par des solutions plus efficaces pour satisfaire la stratégie Energie 2050 du Conseil fédéral. Cependant, il n'existe pas de plan de mise en œuvre concret. Dans le présent projet, des systèmes centralisés et décentralisés ont été analysés par simulation à partir d'une analyse de l'existant et d'une campagne de mesure en champ.

Les résultats montrent que les solutions étudiées ne se différencient pas fondamentalement du point de vue énergétique. Plus pertinent sont l'efficacité de la génératrice de chaleur et les pertes de chaleur du système eau chaude sanitaire. De plus, les habitudes de l'utilisateur peuvent apporter une contribution significative. Dans l'échantillon étudié, les courts soutirages, où l'eau chaude n'a pas le temps d'atteindre le point de soutirage, correspondent à jusqu'à 50% des soutirages détectés. Ces soutirages souvent indésirables et pourraient être évités par exemple en sensibilisant l'utilisateur.

Abstract

In Switzerland, the domestic hot water is heated electrically in estimated 550'000 apartments. Due to the direct conversion of electricity into heat, these electrical boilers are considered inefficient and must be replaced by more efficient solutions in agreement to the strategy 2050 of the Swiss Federal Council. There exists no specific implementation plan for this policy. Starting from an analysis of the building stock and a field measurement, viable centralized and decentralized concepts were investigated by means of simulations.

The results show that there is no significant difference, as far as energy saving or CO₂-avoidance is considered. The efficiency of the heat generator and the heat losses from the hot water system play a more important role. Additionally, the user habits can contribute effectively to this effort: In the sample examined, the share of short time water draws, where the hot water doesn't even reach the terminal hot water usage device, makes about 50% of the total hot water use. Such often unwanted water usage could be largely avoided e.g. by rising the user's awareness.

1. Zusammenfassung

Mit der MuKE 2008 sind in Neubauten nur noch Wassererwärmer zugelassen, die neben Strom auch andere Energiequellen, wie beispielsweise Solarwärme, nutzen. Mit der neuen MuKE, der MuKE 2014, sind bestehende, rein durch Strom betriebene Wassererwärmer, innerhalb der nächsten 15 Jahren entsprechend zu ergänzen oder zu ersetzen. Wie diese Elektrowassererwärmer in Wohnungsbauten der neuen MuKE und somit den neuen Vorschriften anzupassen sind, besteht kein konkreter Umsetzungsplan. Im vorliegenden Projekt wurden, ausgehend von einer Bestandsanalyse, ausgewählte zentrale und dezentrale Konzepte mittels Simulationen untersucht.

Eine Literaturrecherche im ersten Arbeitspaket lieferte die Grundlage für die Ermittlung statistisch relevanter Daten für die Typisierung und die Potenzialabschätzung von Mehrfamilienhäusern, bei denen die Warmwasserversorgung dezentral direkt-elektrisch erfolgt. Gemäss dem Bundesamt für Statistik sind in der Schweiz ca. 128'000 Gebäude mit dezentralen Elektrowassererwärmern ausgerüstet. In diesem Gebäudebestand sind geschätzt 550'000 Elektrowassererwärmer verbaut, die in den nächsten Jahren aus Altersgründen ersetzt werden müssen.

Die Daten vom Bundesamt für Statistik zeigen zudem, dass die dezentrale elektrische Warmwasserversorgung am häufigsten in Gebäuden mit Zentralheizung zu finden ist. Dabei werden hauptsächlich Heizöl oder Elektrizität als Energieträger eingesetzt. Eine solche Warmwasserversorgung findet sich gehäuft in Gebäuden aus den Bauperioden 1946-1960, 1981-1990 sowie 1991-2000.

Im zweiten Arbeitspaket wurden in zehn Wohnungen Langzeitmessungen der Warmwassermenge und der Energieflüsse durchgeführt. Die zeitlich hochaufgelösten Datenreihen von Temperaturen, Entnahmevolumen und Stromverbrauch bilden eine Grundlage für die Entwicklung von praxisnahen Lastgängen für die Simulation und die Laborprüfung von alternativen Warmwasserversorgungskonzepten. Die statistische Analyse der Messdaten lieferte zudem Erkenntnisse über den mittleren Tagesbedarf und die zeitliche Verteilung der Warmwasserentnahmen. Die Feldmessung bestätigte den SIA-Auslegungswert von 35 Normliter pro Tag und Person. Dieser Mittelwert unterliegt aber einer starken Streuung.

Um die Problematik der Ausstosswärmeverluste zu konkretisieren, wurden Entnahmevolumen kleiner als 1 Liter gesondert ausgewertet. Bei einer 5 Meter langen Ausstossleitung wird bei einer Entnahme von weniger als 1 Liter, nur die Kaltphase ausgestossen. Das warme Wasser erreicht dabei die Entnahmestelle gar nicht. Bei der untersuchten Stichprobe betrugen ca. 50% der betätigten Zapfungen weniger als 1 Liter. Die dabei entstehenden, „nutzlosen“ Ausstosswärmeverluste könnten weitgehend vermieden werden, wenn der Nutzer bei kleinsten Entnahmen, z.B. dem Händewaschen, rein kaltes Wasser beziehen würde.

Im dritten Arbeitspaket wurden zentrale und dezentrale Anlagen modelliert und mit dem dynamischen Gebäudesimulationstool IDA ICE untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die vier untersuchten Lösungen bezüglich Treibhausgasemissionen und nicht-erneuerbaren Primärenergiebedarf, sich kaum voneinander unterscheiden (s. Kap. 6.4.4). Eine bedeutsamere Rolle spielen die Effizienz des Wärmeerzeugers (s. Kap. 6.5.3) und in geringerem Masse, die Nutzbarkeit der Wärmeverluste der Warmwasserversorgung (s. Kap. 6.4.2). Bei den Treibhausgasemissionen spielte noch dazu der Energieträger eine Rolle. Auch eine Senkung der Warmwassertemperatur von 60 °C auf 55 °C brachte bei

Horw, 29. Februar 2016

Seite 6/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

der dezentralen Lösung mit Durchflusserwärmern kaum einen energetischen Vorteil (s. Kap. 6.5.2).

Die Wahl zwischen zentraler und dezentraler Lösung hat einen geringen Einfluss auf den nicht-erneuerbaren Primärenergiebedarf der Warmwasserversorgung. Deshalb empfiehlt die Studie, im Falle einer Erneuerung des rein durch Strom betriebenen Wassererwärmers, primär auf die Effizienz der Wärmeherzeugung und die technische und wirtschaftliche Umsetzbarkeit unter Berücksichtigung der Nutzerakzeptanz, zu achten.

Elektrizität aus dem Netz kann angesichts der Zunahme an erneuerbaren Energiequellen im Schweizer Verbrauchermix auch in Zukunft für die Warmwasserversorgung ein brauchbarer Energieträger bleiben. Die Effizienz bei dessen Einsatz muss aber gegenüber der Direktnutzung deutlich gesteigert werden, z.B. durch zentrale Wärmepumpenanlagen oder dezentrale Wärmepumpenboiler.

Dezentrale Wärmepumpenboiler könnten eine zukunftsorientierte Lösung für den Bestand sein. Sie beanspruchen ein vergleichbares Volumen im Raum wie die Elektrowassererwärmer und bieten den gleichen Komfort. Die Herausforderung besteht vielmehr in der Erschliessung der Wärmequelle. Raumluft, Aussenluft oder der Heizungsrücklauf bieten sich zwar an, haben aber eine Reihe an Nachteilen, an denen noch geforscht werden muss.

Zuletzt empfiehlt die Studie beim Betrieb von dezentralen Lösungen im Wohnungsbau, die Vorgaben für einen hygienisch unbedenklichen Betrieb gemäss den Empfehlungen resp. Vorschriften (z.B. SIA 385/1:2011) einzuhalten, d.h. mindestens einmal am Tag die Temperatur im Warmwasserspeicher auf 60 °C zu erhöhen. Der zusätzliche Energieaufwand ist, sofern der Speicher in beheizten Räumen steht, kaum relevant und bringt hygienische Sicherheit, insbesondere bei alten Verteilsystemen.

2. Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung.....	5
2. Inhaltsverzeichnis.....	7
3. Einleitung.....	9
4. Arbeitspaket 1: Bestandsaufnahme der Elektrowassererwärmer in Wohnbauten	10
4.1. Ausgangslage	10
4.2. Ziele und Aufgaben	11
4.3. Methode	12
4.4. Ergebnisse	15
4.4.1. Auswertung Online-Umfrage	15
4.4.2. Auswahl Fallstudien.....	20
4.4.3. Typisierung	22
4.5. Fazit	23
5. Arbeitspaket 2: Verbrauchsanalyse.....	25
5.1. Ausgangslage	25
5.2. Ziele und Aufgaben	26
5.3. Methode	27
5.3.1. Anforderungen an die Messtechnik	27
5.3.2. Messkonzept	27
5.3.3. Durchführung.....	28
5.4. Ergebnisse	30
5.4.1. Speicheraustrittstemperatur	30
5.4.2. Warmwasserbedarf	30
5.4.3. Kurzzeit-Zapfungen	32
5.4.4. Speicherverluste	33
5.4.5. Nutzerprofile	35
5.5. Fazit	37
6. Arbeitspaket 3: Systemevaluation	39
6.1. Ausgangslage	39
6.2. Ziele und Aufgabe	39
6.3. Methode	40
6.3.1. Abgrenzungen	40
6.3.2. Referenzgebäude	41
6.3.3. Warmwasserversorgung.....	43

Horw, 29. Februar 2016

Seite 8/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

6.3.4.	Versorgungskonzepte.....	46
6.3.5.	Modellvereinfachungen	50
6.4.	Ergebnisse	51
6.4.1.	Hydraulik und Betriebsstrategie.....	51
6.4.2.	Nutzenergie und thermische Verluste der Warmwasserversorgung	52
6.4.3.	Endenergiebedarf Heizung und Warmwasser.....	55
6.4.4.	Primärenergiebedarf Heizung und Warmwasser.....	56
6.4.5.	Treibhausgasemissionen.....	57
6.4.6.	Hilfsenergiebedarf	58
6.5.	Diskussion.....	59
6.5.1.	Hilfsenergie und energetische Effizienz	59
6.5.2.	Energieverbrauch und Warmwassertemperatur.....	59
6.5.3.	Alternativen bei der Wärmeerzeugung	60
6.5.4.	Nutzerakzeptanz.....	62
6.5.5.	Ausblick	62
6.6.	Fazit	66
7.	Abkürzungsverzeichnis	68
7.1.	Symbole, Begriffe, Einheiten.....	68
7.2.	Indizes.....	69
8.	Literaturverzeichnis	70
9.	Anhang.....	73
9.1.	Anhang 1, Online-Fragenbogen.....	73
9.2.	Eingesetzte Messtechnik	78
9.3.	Untersuchte Objekte	79
9.4.	Grundlagen für thermische Raumsimulation.....	80
9.5.	Simulationsergebnisse	81

3. Einleitung

Bei Elektrowassererwärmern («Elektroboiler») wird, wie bei Elektroheizungen, Elektrizität direkt in Wärme umgewandelt. Rund 4% des aktuellen Schweizerischen Stromkonsums werden dafür eingesetzt. Wie bei der Raumwärme gibt es auch für das Warmwasser deutlich effizientere Arten des Energieeinsatzes. Ein wesentliches Ziel der Muster-vorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE) – Ausgabe 2014 – ist, dass neue Gebäude sich ab 2020 ganzjährig möglichst selbst mit Wärmeenergie und einem angemessenen Anteil Elektrizität versorgen. Die Neuinstallation von elektrischen Widerstandsheizungen ist seit der MuKE, Ausgabe 2008 verboten. Der Neueinbau von zentralen, rein elektrisch betriebenen Elektrowassererwärmern ist bei Wohngebäuden ebenfalls seit der MuKE 2008 nicht mehr erlaubt. Die MuKE 2014 legt fest, dass sowohl bestehende zentrale Elektroheizungen wie auch zentrale Elektrowassererwärmer innerhalb von 15 Jahren nach Inkrafttreten der jeweiligen Energiegesetze ersetzt werden müssen.

In der Schweiz wird das Warmwasser in geschätzt 950'000 Wohnungen direkt-elektrisch erwärmt, davon in ca. 550'000 dezentral pro Wohnung und in ca. 400'000 zentral in Einfamilienhäusern (Nipkow 2014). Ein Ersatz durch eine energieeffizientere Lösung wird oft als sehr aufwendig bzw. praktisch unmöglich erachtet. Grund dafür ist der Eingriff in die bestehende Wärmeversorgungsstruktur (Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung sowie bauliche Anpassungen) des Gebäudes. Die Energiestrategie 2050 des UVEK sieht jedoch vor, dass der Verbrauch von elektrischem Strom für Widerstandsheizungen und die Warmwasseraufbereitung deutlich sinken soll. Bauherren und Mieter, Liegenschafts-verwalter und -besitzer sind verunsichert, der Bedarf für eine klare Strategie für den Ersatz der Elektrowassererwärmer ist gross.

Abgesehen von Einzelmessprojekten (Nipkow 1999) gibt es in der Schweiz keine wissenschaftlich gesicherte Grundlage für eine optimierte Auslegung von modernen, energieeffizienten Trinkwassererwärmungsanlagen (z.B. Frischwasserstationen). Wenige Objekte wurden bisher hoch aufgelöst vermessen und die Daten so aufbereitet, dass sie als zuverlässige Grundlage für Planer dienen können. Der Bedarf nach praxisnahen standardisierten Warmwasserlastgängen ist hoch.

Im Wohnungsbau fehlen bewährte Lösungsansätze für einen kosteneffizienten Ersatz von dezentralen Wassererwärmern, welche direkt-elektrisch beheizt werden. Es sind Lösungen gesucht, die eine Integration in das bestehende Wärmeversorgungs- resp. Heizungsnetz ermöglichen. Das vorliegende Projekt setzt sich mit dieser Problematik auseinander und hat das Ziel, zentrale und dezentrale Systemkonzepte miteinander zu vergleichen.

In einem ersten Arbeitspaket (AP1) sollen Gebäuden mit Elektrowassererwärmern in der Schweiz mittels Statistik und Umfragen typisiert werden. Im zweiten Arbeitspaket (AP2) sollen in zehn Versorgungsobjekten die Warmwasserverbräuche über einem Zeitraum von einem Jahr ermittelt werden. Im dritten Arbeitspaket (AP3) werden aus den Messdaten typische Warmwasser-Lastgänge ermittelt. Anschliessend werden verschiedene zentrale und dezentrale Warmwassererzeugungskonzepte, welche in das Heizungssystem zu integrieren sind, an typischen Wohnobjekten rechnerisch evaluiert.

4. Arbeitspaket 1: Bestandsaufnahme der Elektrowassererwärmer in Wohnbauten

4.1. Ausgangslage

Laut MuKE 2014 ist der Neueinbau oder Ersatz einer direkt-elektrischen Erwärmung des Warmwassers in Wohnbauten nur erlaubt, wenn das Warmwasser während der Heizperiode mit dem Wärmeerzeuger für die Raumheizung erwärmt oder vorgewärmt oder zu mindestens 50% mittels erneuerbarer Energie oder Abwärme erwärmt wird (MuKE 2014). Erfolgte die Warmwassererwärmung bisher zentral und elektrisch, ist spätestens 15 Jahre nach Inkrafttreten des jeweiligen kantonalen Energiegesetzes ein Komplettersatz zwingend notwendig, wenn nur eine dieser Prämissen nicht erfüllt ist. Eine solche Sanierungspflicht ist bei zentralen Elektrowassererwärmern in Wohnbauten möglich, für dezentrale Elektrowassererwärmer in den einzelnen Wohnungen von Mehrfamilienhäusern (MFH) wird sie als nicht zumutbar erachtet, ausgenommen es wird das Warmwasserverteilsystem ersetzt.

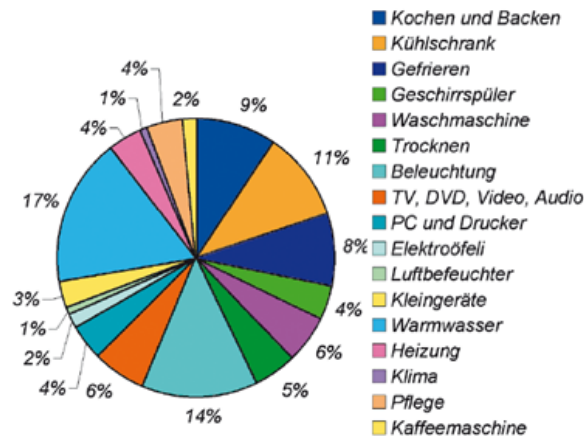


Abbildung 1: Aufteilung des Haushaltsstrombezugs auf verschiedene Anwendungen (Wiederkehr et al. 2006).

Für die Zielsetzung, den elektrischen Stromverbrauch in den Schweiz deutlich zu senken, spielen die Elektrowassererwärmer eine besondere Rolle. Laut einer früheren Studie ist die elektrische Trinkwassererwärmung der grösste Stromverbraucher in den Schweizer Haushalten (Wiederkehr et al. 2006). Sein Anteil am Haushaltsstrom beträgt 17%, wie einer Felduntersuchung in 1200 Haushalten zeigt (s. Abbildung 1).

Die Modellrechnung dieser Feldstudie berücksichtigten die Strombezugswerte für 17 verschiedene Anwendungen bzw. Geräte im Haushalt. In Abbildung 2 sind die entsprechenden Werte für sechs verschiedene Haushaltstypen zusammengestellt.

Horw, 29. Februar 2016

Seite 11/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

Haushaltstyp gemäss Typologie 2	Warmwasser [kWh/a]	Heizung [kWh/a]	Klima [kWh/a]	Pflege [kWh/a]	Kaffee- maschine [kWh/a]
Total	2500	600	150	200	100
1 Pers / Whg	1000		200	100	100
2 Pers / Whg	2000		200	150	100
3 Pers / Whg	3000		200	150	100
4+ Pers / Whg	4000		200	200	100
1-2 Pers / EFH	1500	600	100	300	100
3+ Pers / EFH	3500	600	150	300	100

Abbildung 2: Berechnete und gerundete Bezugswerte für 5 Anwendungen und 6 Haushaltstypen (Wiederkehr et al. 2006)

Auch wenn der Stromverbrauch für Trinkwassererwärmung nicht direkt mit der Anzahl der Bewohner proportional ist (Blatter et al 1993), lässt sich über die Typisierung von Liegenschaften und der Belegungsdichte aufgrund statistischer Daten des Bundesamts für Statistik (BFS) Einsparpotenziale bei dem Strombedarf abschätzen (s. Nipkow 2014).

4.2. Ziele und Aufgaben

Das Forschungsprojekt war dadurch motiviert, dass:

- knapp ein Viertel des schweizerischen Gesamtenergieverbrauches in Form von elektrischem Strom verbraucht wird.
- der Strombedarf sich zwischen 40% für die Haushalte und 60% für die Wirtschaft aufteilt.
- 40% des Strombedarfs durch Effizienzmassnahmen und erneuerbare Energiequellen ersetzt werden sollen.
- bis 2050 die Elektrowassererwärmer durch energieeffiziente Technologien zu ersetzen sind (erstes Massnahmenpaket des Bundesrates Energiestrategie 2050).
- gemäss Literatur ca. 550'000 Elektrowassererwärmer in Schweizer MFH in Betrieb sind.
- als das Projekte geplant wurde, war im Entwurf zu den MuKE 2014 festgehalten, dass für Gebäuden, die vor 1990 erstellt wurden, die Verwendung von Strom für die Widerstandsheizungen und Warmwasseraufbereitung, ab 2015, mit einer Sanierungspflicht innerhalb von 10 Jahren, verboten wird (EnDK 2011).
- durch energieeffiziente Technologien zu ersetzen sind (Beschluss des Bundesrates vom 18 April 2012).
- bis heute für diesen Technologieumbau kein konkreter Umsetzungsplan besteht.

Die Zielsetzung im ersten Arbeitspaket war die Durchführung einer Bestandsaufnahme der Elektrowassererwärmer in Mehrfamilienhäusern. Die Hauptaufgabe hierbei war das Typisieren von Gebäuden mit Elektrowassererwärmern, mit der Bildung von Clustern nach Merkmalen wie z.B. Grösse der Wohnung, Speichervolumen, Nutzerprofil, Land/Stadt, bestehendes Heizungssystem, baurelevante Merkmale, Bereitschaft der Eigentümer den Elektrowassererwärmer zu ersetzen, etc. Dies soll mittels Interviews mit Betreibern wie z.B. Liegenschaftsverwaltungen und mit Besitzern wie z.B. Privatpersonen, Genossenschaften, Pensionskassen, etc. eruiert werden.

Auf diese Weise sind Aussagen über die Häufigkeit der Gebäudetypen (statistische Relevanz) und deren Relevanz möglich.

Horw, 29. Februar 2016

Seite 12/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

Zum Schluss wird aus den untersuchten Gebäudetypen ein Referenz-MFH definiert, welches für das dritte Arbeitspaket genutzt werden kann. Das Referenz-MFH soll ein typisches MFH abbilden.

4.3. Methode

Für die Typisierung von Gebäuden mit dezentralen Elektrowassererwärmern sollen einerseits statistische Daten und andererseits Ergebnisse einer Online-Befragung herangezogen werden.

Recherchen

Durch die Literaturrecherche werden relevante Daten, z.B. statistische Daten vom BFS, ermittelt. Die statistischen Daten werden zur Verifizierung der in der Online-Umfrage gewonnenen Informationen genutzt und dienen als Grundlage für die Auswahl von für die Verbrauchsanalyse im Arbeitspaket 2 geeigneten Messobjekten. Weiterhin werden die statistischen Daten zur Typisierung von Gebäuden mit Elektrowassererwärmern genutzt und könnten z. B. für eine Potenzialabschätzung verwendet werden.

Definitionen

Im Fokus des vorliegenden Projekts stehen dezentrale Elektrowassererwärmer (s. Abbildung 3). Diese Geräte müssen laut der Definition im Projekt, ein Volumen von mindestens 50 l aufweisen. Kleinspeicher, drucklose Kochendwassergeräte (s. Abbildung 4) und elektrische Durchlauferhitzer (s. Abbildung 5) werden nicht untersucht.



Abbildung 3: Schnittschema, Foto Wandwassererwärmer (links), freistehender Wassererwärmer (rechts)

Horw, 29. Februar 2016

Seite 13/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude



Abbildung 4: drucklose Kochendwassergeräte 5L (links), Kleinspeicher 10L (rechts)
(Quelle: Wikipedia.org, Gorenje)



Abbildung 5: Klein-Durchlauferhitzer (Quelle: AEG)

Die zu untersuchenden Gebäude sind durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- MFH mit zwei oder mehr Wohnungen
- Dezentrale Elektrowassererwärmer mit max. einem Wassererwärmer pro Wohnung
- Zentralheizung mit Öl und Elektrizität als Energieträger (zzgl. Sonderfall dezentrale Heizung mit Holz als Energieträger)

Statistische Daten

Gemäss BFS kommen in der Schweiz ca. 128'000 Gebäude vor, welche die folgenden Kriterien erfüllen und damit relevant für das vorliegende Projekt sind (Abbildung 6):

- MFH (zwei oder mehr Wohnungen)
- Warmwasserversorgung mit Elektrizität als Energieträger (WW)

Horw, 29. Februar 2016

Seite 14/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

	Vor 1919	1919- 1945	1946- 1960	1961- 1970	1971- 1980	1981- 1990	1991- 2000	2001- 2005	2006- 2012
	2012	2012	2012	2012	2012	2012	2012	2012	2012
Schweiz									
Mehrfamilienhäuser									
Mit Warmwasserversorgung									
Elektrizität (WW)	36 703	18 649	17 694	8 653	9 107	16 284	11 517	3 685	5 957

Abbildung 6: Schweizer MFH mit WW Versorgung (Energieträger Elektrizität) nach Bauperioden (Quelle: BFS)

Fragebogen Online-Umfrage

Im Rahmen der Umfrage wurden Fallstudien für die Verbrauchsanalyse in Arbeitspaket 2 gewonnen und bauliche Merkmale von typischen Gebäuden mit Elektrowassererwärmern erhoben. Eine Abschrift des Formulars ist in Anhang 1, Online-Fragenbogen zu finden.

Die Umfrage wurde über eine Newsletter-Beilage in Form eines Fragebogens bei den Mitgliedern des Hauseigentümerverbands Schweiz HEV verteilt. Insgesamt haben sich 102 Mitglieder an der Umfrage beteiligt, wovon 73 Fragebögen den definierten Kriterien entsprachen (siehe Ausschlusskriterien unter Kap. 4.3).

Ortsbegehungen

Durch die Ortsbegehungen wurde die Grundlage für die Eignungsprüfung der Langzeitmessung im Arbeitspaket 2 und die Konzeptbewertung, um ein repräsentatives Gebäude zu definieren, welches im Arbeitspaket 3 genutzt werden kann.

Im Rahmen einer Pilotphase wurde eine erste Ortsbegehung durchgeführt, um die technischen Voraussetzungen für die Installation der Langzeitmessung, z.B. den verfügbaren Platz für die Messstrecke sowie die Datenübertragung, zu evaluieren.

Checkliste

Mit der Checkliste für die Ortsbegehungen wurden in der Pilotphase folgende Merkmale erfasst:

1. Eigentümer- und Bewohnertyp (inkl. der Gewohnheiten der Warmwassernutzung)
2. Wärmeversorgung/ Infrastruktur (Elektrowassererwärmer und Heizungsanlage)
3. Bauliche Merkmale des Gebäudes, der Wohnung und der Zimmer (Standort Elektrowassererwärmer)
4. Eignungsprüfung Langzeitmessung (z.B. Platz für Messstrecke, Datenübertragung)
5. Befragung Bewohner (Selbsteinschätzung zum Wasserverbrauch)
6. Interview Hauswart (Wartung, Abrechnung, Modernisierung)

Ein Beispiel der Checkliste ist im Anhang 1 darstellt. Die zu erhebenden Merkmale wurden aufgrund der Praxiserfahrung der ersten Ortsbegehung (Pilotphase) angepasst und werden so für die weiteren Ortsbegehungen genutzt.

4.4. Ergebnisse

Die Ergebnisse vom ersten Arbeitspaket bestehen einerseits aus der Identifikation relevanter Merkmale beim Ersatz von dezentralen Elektrowassererwärmern und andererseits aus der Typisierung des Gebäudebestands gemäss den statistischen Daten des BFS.

Die relevanten Merkmale beim Ersatz von dezentralen Elektrowassererwärmern sind im Online-Fragebogen und der Checkliste zur Ortsbegehung festgehalten und können folgendermassen zusammengefasst werden:

Bewohner/ Betreiber

- Anzahl der Bewohner (z.B. Personenanzahl)
- Art der Bewohner (z.B. wird mittags zu Hause gegessen?)
- Verhalten der Bewohner (z.B. wieviel Duschen/ Bäder am Tag? Gehen Sie sparsam mit dem Warmwasser um? Ist ausreichend Warmwasser vorhanden?)
- Betrieb und Unterhalt (z.B. ist die Warmwasseraufbereitung in allen Wohnungen gleich? Müsste aus Ihrer Sicht die Warmwasseraufbereitung modernisiert werden? Müsste aus Ihrer Sicht die Heizung/der Heizkessel modernisiert werden? Wie erfolgt die Wasserverbrauchsabrechnung?)

Wärme- und Warmwasserversorgung / Infrastruktur

- Bestand Elektrowassererwärmer (z.B. Anzahl, Fassung, Alter, Zustand, Heizstab, Zirkulation)
- Bestand Raumheizung (z.B. zentral oder dezentral, Energieträger, Temperaturniveau, Heizungsverteiler)

Gebäude/ Wohnung

- Bestand Gebäude (z.B. Baujahr, Gebäudetyp MFH, Gebäudeposition - angrenzende Gebäude, Gebäudehöhe - Anzahl Stockwerke, Nutzung Keller- und Dachboden, bisherige Sanierungsmassnahmen)
- Bestand Wohnung (z.B. Anzahl Wohnungen)

4.4.1. Auswertung Online-Umfrage

Die nachfolgenden Auswertungen beziehen sich auf die in den Fragebögen gegebenen Antworten der Mitglieder des Hauseigentümerverbands Schweiz HEV für die relevanten Merkmale der Gebäude, Heizung und Warmwassererwärmung. In Abhängigkeit der

Horw, 29. Februar 2016

Seite 16/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

untersuchten Merkmale bewegt sich die Anzahl der berücksichtigten Antworten zwischen $n = 68$ und $n = 73$.

Liegenschafts-Baujahr / Anzahl Stockwerke / Anzahl Zimmer pro Wohnung

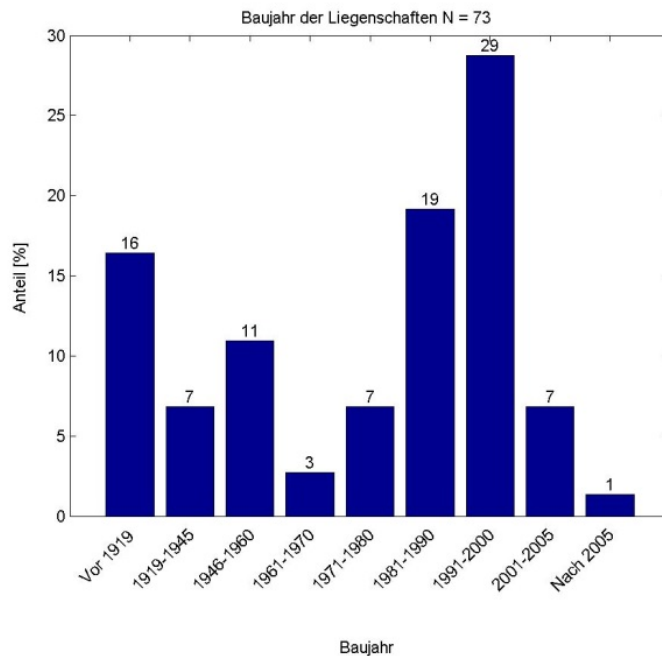


Abbildung 7: Bauperioden von vor 1919 bis nach 2005

29% der Gebäude wurden im Zeitraum 1991 – 2000 erstellt, gefolgt von der Bauperiode 1981 – 1990 mit ca. 19%, d.h. der Fokus für den Ersatz liegt auf Gebäuden aus den Bauperioden 1981 – 1990 und 1991 – 2000.

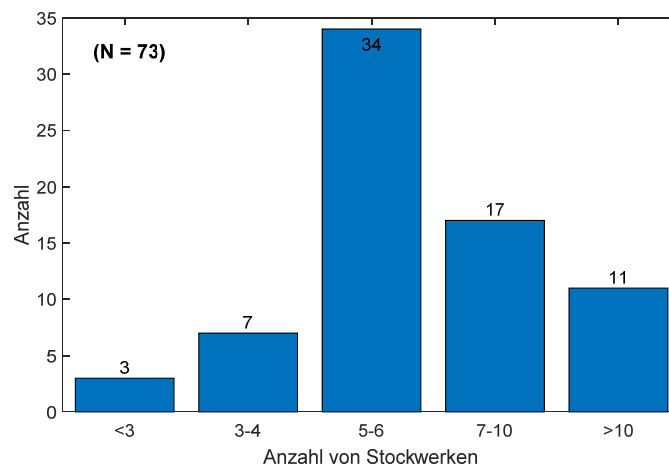


Abbildung 8: Anzahl Stockwerke

Horw, 29. Februar 2016

Seite 17/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

47% der Gebäude in der Stichprobe haben 5 – 6 Stockwerke, gefolgt von 23% mit 7 – 10 Stockwerken, d.h. der Fokus für den Ersatz von Elektrowassererwärmern liegt auf Gebäuden mit mindestens 3 – 4 Stockwerken.

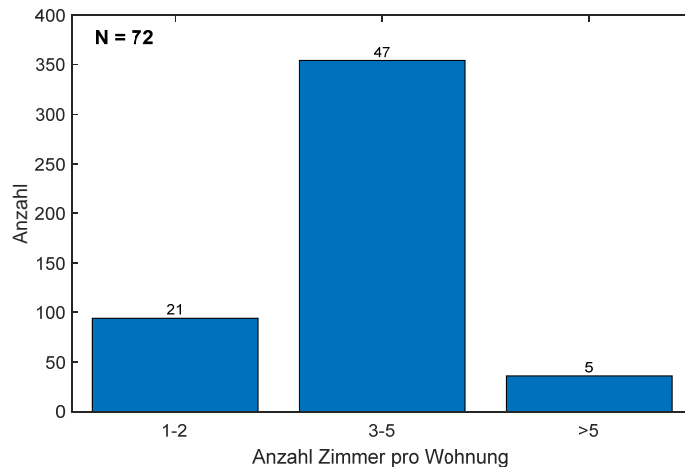


Abbildung 9: Anzahl Zimmer pro Wohnung

47 der 73 untersuchten Wohnungen haben 3 – 5 Zimmer, 21 Wohnungen haben 1 – 2 Zimmer und 4 Wohnungen haben mehr als 5 Zimmer. D.h. der Fokus für den Ersatz von Elektrowassererwärmern liegt auf Gebäuden mit mittleren Wohnungsgrössen.

Heizung / Zentralheizung oder Einzelofen / Energieträger

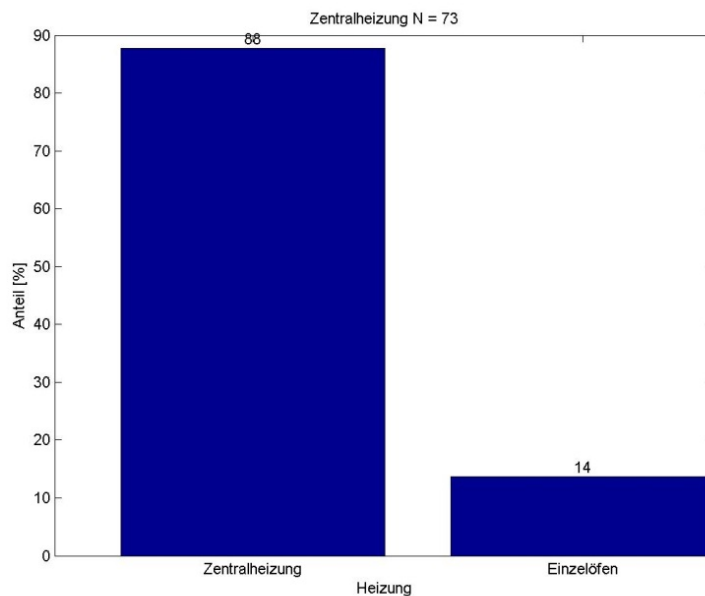


Abbildung 10: Heizung mit Zentral- oder Einzelofenheizung

Horw, 29. Februar 2016

Seite 18/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

88% der Gebäude haben eine Zentralheizung, gefolgt von 14% mit Einzelofenheizungen, d.h. der Fokus für den Ersatz von Elektrowassererwärmern liegt auf Gebäuden mit Zentralheizung.

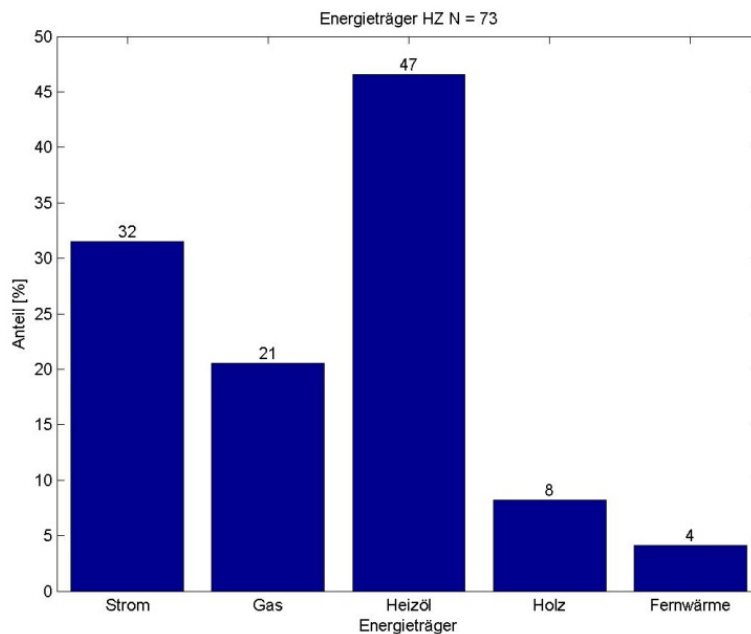


Abbildung 11: Energieträger der Heizung

47% der Gebäude haben Heizöl als Energieträger, gefolgt von Elektrizität mit 32% und Gas mit 21%, d.h. der Fokus für den Ersatz von Elektrowassererwärmern liegt auf Gebäuden mit Heizöl oder Elektrizität als Energieträger.

Elektrowassererwärmer – Altersverteilung/ Fassungsvermögen/ Standort

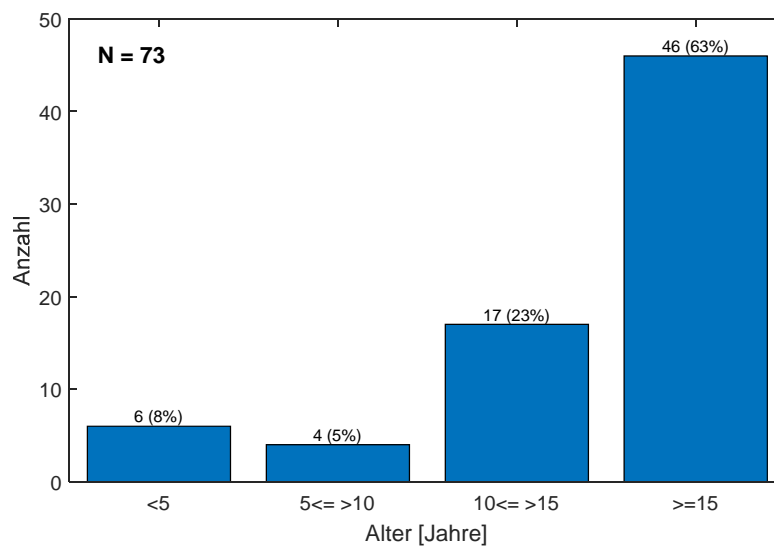


Abbildung 12: Alter der Elektrowassererwärmer

Horw, 29. Februar 2016

Seite 19/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

63% der Gebäude sind mit einem Elektrowassererwärmer ausgestattet der 15 Jahre oder älter ist, gefolgt von 23% mit 10 –15 Jahre alten Elektrowassererwärmern, d.h. der Fokus für den Ersatz liegt auf dezentralen Elektrowassererwärmern die ca. 15 Jahre oder älter sind.

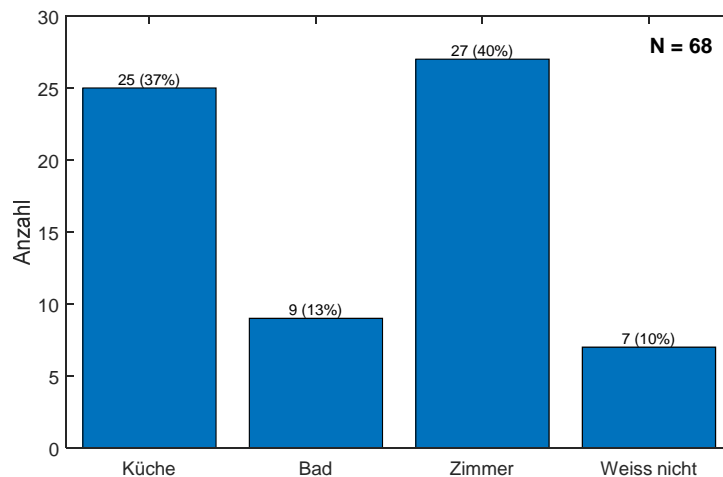


Abbildung 13: Standort des Elektrowassererwärmers

Bei den meisten Gebäuden steht der Elektrowassererwärmer in einem Zimmer (z.B. Reduit) oder der Küche, d.h. der Fokus für den Ersatz von Elektrowassererwärmern liegt auf dem Platzangebot in Zimmern oder Küchen. Bei Abmassen eines 300 Liter Standwassererwärmers¹ von z.B. 60x180 cm ist die Zugänglichkeit und das Platzangebot der Wohnungen ein wichtiges Kriterium bei der Planung.

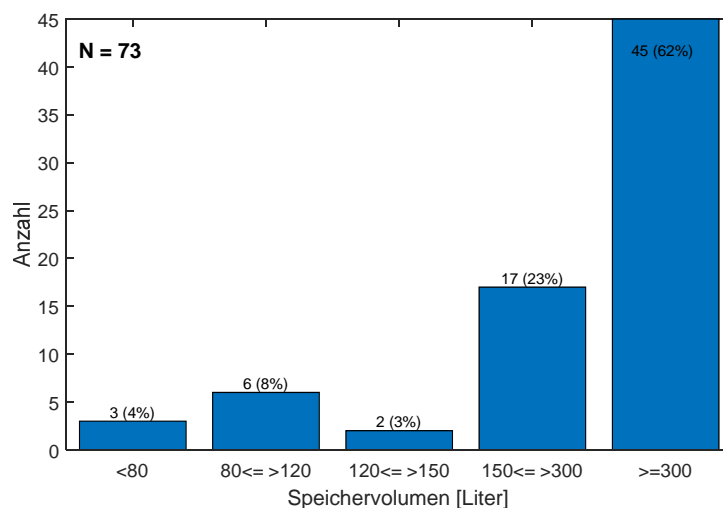


Abbildung 14: Speichervolumen des Elektrowassererwärmers

¹ <http://www.schwarzstahl.ch/data/docs/download/1337/de/090727-boiler-web.pdf>

62% der Gebäude sind mit einem Elektrowassererwärmer ausgestattet der mehr als 300 l Volumen aufweist, gefolgt von 23% mit einem Volumen von 150 – 300 l, d.h. der Fokus für den Ersatz von Elektrowassererwärmern liegt auf Modellen die mindestens 150 l Volumen aufweisen.

4.4.2. Auswahl Fallstudien

Aufgrund der Umfrageauswertungen und der Häufigkeit baulicher Merkmale des Bundesamts für Statistik wurden typische MFH mit Elektrowassererwärmern als Fallstudien ausgewählt (siehe Abbildung 15), die als Messobjekte für die Verbrauchsanalyse im Arbeitspaket 2 dienen. Die Auswahl erfolgte aufgrund folgender Merkmale:

1. Priorität: Warmwasserversorgung mit Elektrizität als Energieträger
2. Priorität: Zentralheizung mit Heizöl/ Elektrizität als Energieträger
3. Priorität: Bauperiode, 1946-1960, 1981-1990 und 1991-2000

In der Stichprobe aus der Onlineumfrage waren es 12 Gebäude, die diese Kriterien erfüllten und bei denen das Interesse an der Teilnahme an einer Feldmessung ebenso vorlag. Aus diesen 12 Gebäuden wurde 10 Wohnungen als Fallstudien für das AP2 (s. Kap. 5) ausgewählt.

Betreffend den baulichen Merkmalen (*Anzahl Geschosse, Anzahl Zimmer in der Wohnung, angrenzende Gebäude und Standort des Wassererwärmers*) der ausgewählten Fallstudien können folgende Aussagen getroffen werden (Abbildung 15).

- Die Geschosshöhe der untersuchten Fallstudien beträgt 2 - 5 Geschosse. 4 der 12 untersuchten Gebäude sind 3-geschossig, jeweils 3 Gebäude sind 4- oder 5-geschossig und 2 Gebäude sind 2-geschossig.
- Angrenzende Gebäude zu den untersuchten Fallstudien: 8 der 12 untersuchten Gebäude sind freistehend, 4 Gebäude sind auf einer Seite angebaut (angrenzend).
- Die Anzahl Zimmer pro Wohnung in den untersuchten Fallstudien bewegt sich zwischen 1 - 2 Zimmern und mehr als 3 Zimmern pro Wohnung.
- Der Wassererwärmerstandort in den untersuchten Fallstudien: In 7 der 12 untersuchten Gebäuden befindet sich der Wassererwärmer in der Küche, in 4 Gebäuden in den Zimmern und in einem Gebäude im Bad.

Der am häufigsten vorkommende Gebäudetyp, abgeleitet durch Kombination der oben genannten baulichen Merkmale (*Anzahl Geschosse, Anzahl Zimmer in der Wohnung, angrenzende Gebäude und Standort des Wassererwärmers*) ist durch ein freistehendes Gebäude mit 3 Geschossen, 3 - 5 Zimmern pro Wohnung und einem Elektrowassererwärmer, der sich in der Küche befindet gekennzeichnet.

Horw, 29. Februar 2016

Seite 21/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

Fallstudien		FS01	FS02	FS03	FS04	FS05	FS06
<i>Teilnehmer</i>	Teilnehmertyp	Eigentümer	Eigentümer	Eigentümer	Eigentümer	Eigentümer	Eigentümer
<i>Eigentümer</i>	Eigentumstyp	privat	privat	privat	privat	Stockwerk	Stockwerk
<i>Gebäude</i>	Region	Ostschweiz	Aargau	Zürich, Thurgau	Zentralschweiz	Basel	Ostschweiz
	Bauperiode (Jahre)	1946-1960	1981-1990	1981-1990	1981-1990	1991-2000	1991-2000
	Angrenzende Gebäude	freistehend	freistehend	freistehend	eine Seite	freistehend	freistehend
	Anzahl Stockwerke	2	3	5	3	2	4
	Sanierungsmassnahmen	Fenster, Fassade Dach, Heizung	-	Heizung	-	-	-
	Dachgeschoss (HZ)	vollständig	vollständig	teilweise	vollständig	teilweise	vollständig
	Kellergeschos (HZ)	unbeheizt	unbeheizt	unbeheizt	unbeheizt	unbeheizt	teilweise
<i>Wohnung</i>	Anzahl Zimmer	-	6x3-5	4x1-2 9x3-5	2x>5	6x3-5	4x1-2 3x3-5
<i>Heizung</i>	Heizung	zentral	zentral	zentral	zentral	zentral	zentral
	Energieträger (HZ)	Öl	Öl	Öl/Strom	Öl	Öl/Holz	Öl
<i>Warmwasserversorgung</i>	Energieträger (WW)	Strom	Strom	Strom	Strom	Strom	Strom
	Alter (Jahre)	30	30	26	27	15	21
	Anzahl pro Wohnung	ein Boiler	ein Boiler	ein Boiler	ein Boiler	ein Boiler	ein Boiler
	Standort	Zimmer	Küche	Küche	Küche	Küche	Küche
	Fassungsvermögen (L)	300	300	300	300	300	250
	Kostenabrechnung	Stromrechnung	-	NK	Stromrechnung	NK	Stromrechnung
<i>Unterhalt</i>	Wartung/ Instandhaltung	Fachfirma	-	Hauswart	-	-	Fachfirma
<i>Entscheidungsgrundlage</i>	Anstieg Stromkosten	-	-	-	-	-	-
	Min. Subvention (CHF)	-	-	-	-	-	-
	Wieder Elektroboiler	Nein	Nein	Ja	Nein	Nein	Ja
<i>Beteiligung</i>	Messung in Wohnung	interessiert	interessiert	interessiert	interessiert	interessiert	interessiert

Fallstudien		FS07	FS08	FS09	FS10	FS11	FS12
<i>Teilnehmer</i>	Teilnehmertyp	Eigentümer	Eigentümer	Eigentümer	Eigentümer	Eigentümer	Eigentümer
<i>Eigentümer</i>	Eigentumstyp	Stockwerk	privat	Stockwerk	privat	privat	privat
<i>Gebäude</i>	Region	Zürich, Thurgau	Zürich, Thurgau	Aargau	Zürich, Thurgau	Ostschweiz	Graubünden
	Bauperiode (Jahre)	1991-2000	1991-2000	1991-2000	1981-1990	1981-1990	1931
	Angrenzende Gebäude	eine Seite	freistehend	eine Seite	eine Seite	freistehend	freistehend
	Anzahl Stockwerke	3	5	4	4	5	3
	Sanierungsmassnahmen	Heizung	Fenster, Fassade, Dach	-	-	-	-
	Dachgeschoss (HZ)	vollständig	vollständig	teilweise	vollständig	teilweise	unbeheizt
	Kellergeschos (HZ)	unbeheizt	teilweise	unbeheizt	unbeheizt	teilweise	teilweise
<i>Wohnung</i>	Anzahl Zimmer	6x3-5	9x3-5	7x1-2 7x3-5	4x3-5	3x1-2 3x3-5 2x>5	3x1-2 1x3-5
<i>Heizung</i>	Heizung	zentral	zentral	zentral	zentral	de- und zentral	dezentral
	Energieträger (HZ)	Öl	Öl	Öl	Strom WP	Strom	Holz/Strom
<i>Warmwasserversorgung</i>	Energieträger (WW)	Strom	Strom	Strom	Strom	Strom	Strom
	Alter (Jahre)	20	14	14	22	20	12
	Anzahl pro Wohnung	ein Boiler	ein Boiler	ein Boiler	ein Boiler	ein Boiler	ein Boiler
	Standort	Küche	Zimmer	Zimmer	Bad	Küche	Zimmer
	Fassungsvermögen (L)	300	100	300	100	200	200
	Kostenabrechnung	Stromrechnung	NK	Stromrechnung	-	Stromrechnung	Stromrechnung
<i>Unterhalt</i>	Wartung/ Instandhaltung	Hauswart	Hauswart	Mieter	-	Hauswart	Hauswart
<i>Entscheidungsgrundlage</i>	Anstieg Stromkosten	-	-	-	-	-	-
	Min. Subvention (CHF)	-	-	-	-	-	5000
	Wieder Elektroboiler	Ja	Nein	Nein	Ja	Nein	Nein
<i>Beteiligung</i>	Messung in Wohnung	interessiert	interessiert	interessiert	interessiert	interessiert	interessiert

Abbildung 15: Auswahl der Fallstudien mit relevanten Merkmalen betreffend Ersatz Elektrowassererwärmer

Horw, 29. Februar 2016

Seite 22/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

4.4.3. Typisierung

Nach (Nipkow 2014) sind ca. 550'000 Elektrowassererwärmer in Gebäuden (MFH) verbaut, was durchschnittlich ca. 7.5 Elektrowassererwärmern pro Gebäude entspricht. Die Ergebnisse der Studie basieren auf den gleichen Grundlagen (statistische Daten BFS) wie der vorliegende Bericht und kommen in der Kernaussage auch zu entsprechenden Ergebnissen.

In Abbildung 16 sind Mehrfamilienhäuser mit Zentralheizung (Energieträger Öl, Elektrizität, Gas) und Warmwasserversorgung (Energieträger Elektrizität) dargestellt.

Von den ca. 128'000 projektrelevanten Gebäuden (Abbildung 6) liegt der Fokus auf den zwei am häufigsten vorkommenden Typen (s. unten), welche mit ca. 59'000 Gebäuden fast 50% des gesamten Bestands abdecken (Abbildung 16).

Typ 1: ca. 44'000 Gebäude

Mehrfamilienhaus

Warmwasserversorgung mit Elektrizität als Energieträger

Zentralheizung mit Heizöl als Energieträger

Typ 2: ca. 15'000 Gebäude

Mehrfamilienhaus

Warmwasserversorgung mit Elektrizität als Energieträger

Zentralheizung mit Elektrizität als Energieträger

	2012								
	Vor 1919	1919- 1945	1946- 1960	1961- 1970	1971- 1980	1981- 1990	1991- 2000	2001- 2005	2006- 2012
Schweiz									
Mehrfamilienhäuser									
Zentralheizung für das Gebäude									
Mit Warmwasserversorgung									
Elektrizität (WW)									
Heizöl (HZ)	10 971	7 290	8 681	4 333	2 448	4 924	4 050	930	417
Gas (HZ)	2 849	1 964	897	221	154	589	907	525	732
Elektrizität (HZ)	2 821	1 980	1 906	1 110	2 551	3 474	810	255	338

Abbildung 16: Mehrfamilienhäuser mit Warmwasserversorgung, Heizung und deren Energieträger (Quelle: BFS 2012)

In Abbildung 17 sind die Daten aus der Abbildung 16 als Liniendiagramm dargestellt. Diese Darstellung zeigt anschaulich die Verteilung der Häufigkeiten von

Horw, 29. Februar 2016

Seite 23/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

Mehrfamilienhäusern mit Warmwasserversorgung (Energieträger Elektrizität) in Verbindung mit dem Energieträger des Heizsystems.

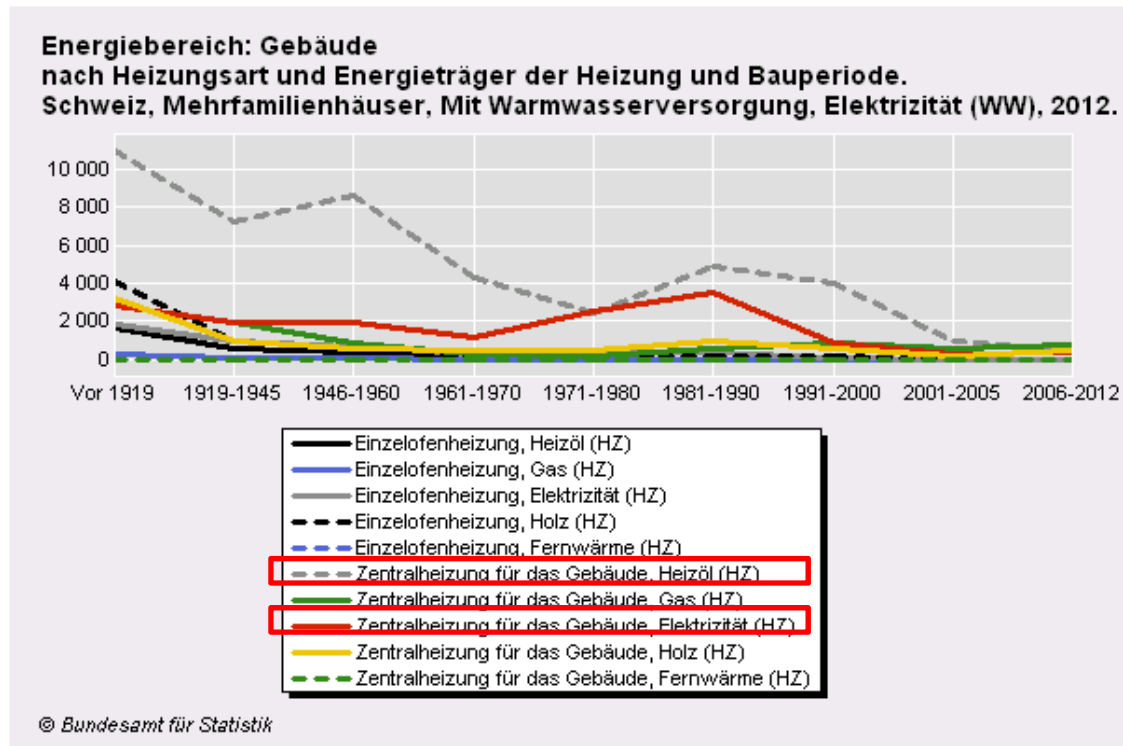


Abbildung 17: Darstellung der Daten vom BFS als Liniendiagramm(BFS 2012)

Um ein möglichst grosses Multiplikationspotenzial zu erreichen werden im Arbeitspaket 3 (Systemevaluation) insbesondere für die oben genannten Typen dezentrale Warmwassererzeugungs-Konzepte erarbeitet.

4.5. Fazit

Die Literaturrecherche lieferte die Grundlage für die Ermittlung statistisch relevanter Daten (BFS) für die Typisierung von Mehrfamilienhäusern mit Elektrowassererwärmern.

Die Umfrage lieferte 73 zur Auswertung geeignete Fragebögen sowie 60 mögliche Messobjekte (Interesse durch Eigentümer bekundet) zum Ersatz von Elektrowassererwärmern.

Die erste Ortsbegehung lieferte vertiefte Erkenntnisse zu den relevanten Merkmalen und erlaubte erste Erfahrungen (z.B. den benötigten Platz für die Messstrecke, Datenübertragung) für die Messung der Verbrauchsanalyse im Arbeitspaket 2 zu sammeln.

Die Typisierung zeigte häufig vorkommende Gebäudetypen auf. Aufgrund dieser richtet sich der Fokus auf Gebäude mit Zentralheizung (mit Energieträger Heizöl oder Elektrizität) aus den Bauperioden 1946-1960, 1981-1990 und 1991-2000. Die typischen baulichen

Horw, 29. Februar 2016

Seite 24/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

Merkmale für diese Gebäude sind: freistehende Position mit 3 - 5 Geschossen, 3 - 5 Zimmern pro Wohnung und einem Elektrowassererwärmer der sich in der Küche befindet. Diese Merkmale bilden die Grundlagen für das Gebäudemodell (Referenz-MFH) im Arbeitspaket 3. In diesem Arbeitspaket wird ein Referenz-MFH modelliert, um mit unterschiedlichen Warmwasserversorgungskonzepten das Energieeinsparpotential abschätzen zu können.

5. Arbeitspaket 2: Verbrauchsanalyse

5.1. Ausgangslage

Bis zu Beginn des vorliegenden Projektes standen keine ausreichend hochaufgelösten Jahresverbrauchsprofile für die Schweiz zur Verfügung. Diese werden jedoch für die Dimensionierung von Durchflusswassererwärmern² (DFE) benötigt. Die früheren Studien basierten auf monatlicher Ablesung von Wasserzählern oder auf kurzfristigen Messungen. Diese Daten sind für diese Aufgabe nicht ausreichend. Diese Lücke wird durch die Messkampagne des vorliegenden Projektes geschlossen. Die Messdaten sollen so ausgewertet werden, dass sie mit den vorhandenen Erkenntnissen verglichen werden können.

Bereits 1992 wurde eine Untersuchung in der Deutschschweiz und der Romandie zum Thema Warmwasserbedarf im Wohnbereich durchgeführt (Blatter et al 1993). Dazu wurde in zehn MFH, mit insgesamt etwa 330 Bewohnern, der Verbrauch pro Gebäude, und zum Teil pro Wohnung, monatlich abgelesen. Zudem wurde zu allen vier Jahreszeiten, der Verbrauch in 10-Minuten-Abständen, rund 2 Wochen, registriert. Die Daten wurden pro Gebäude zu Jahresgängen, Tagesgängen und Summenhäufigkeitsdiagrammen aufsummiert. Es wurde zwischen Liegenschaften mit verbrauchsabhängiger und mit pauschaler Abrechnung unterschieden. Die Differenz im Warmwasserverbrauch lag im Durchschnitt bei mehr als 35%. Bei Gebäuden mit verbrauchsabhängiger Abrechnung lag der mittlere Tagesverbrauch pro Person bei ca. 38 l, während er bei pauschalierter Abrechnung bei etwa 60 l lag. Die Autoren wiesen auf eine grosse Streuung beim mittleren Tagesverbrauch hin. Verbrauchswerte von 24 bis 74 l pro Person und Tag wurden damals registriert. Die Autoren schliessen daraus, dass beim Warmwasserverbrauch das Benutzerverhalten eine massgebende Rolle spielt. Das zweite Hauptergebnis der Studie war, dass der Tagesverbrauch auch von Tag zu Tag stark streut, wie die Tagesgänge der zehn Gebäude zeigen. Eine klare Unterscheidung zwischen Werktagen einerseits und Sonn- und Feiertagen andererseits war zu sehen. An Werktagen führte die Morgentoilette ganz markant zu einer scharfen Morgenspitze. Eine kleine Spitze nach der Mittagszeit markierte das Abwaschen, was auch in Wohnung mit Geschirrspülmaschine noch relativ oft von Hand durchgeführt wurde. Die Abendspitze wurde mit der Überlagerung von Abwaschen und Körperpflege erklärt. Demgegenüber vereinigte sich am Sonntag die Morgen- und Mittagsspitze zu einem breiten „Mittagshügel“. Der abendliche Verlauf unterschied sich dagegen nur wenig vom Verlauf an Werktagen. Die Autoren empfahlen diese Tagesgänge für die Dimensionierung der Aufheizleistung von Wassererwärmern sowie für den Einsatz in der Simulation komplexer Anlagen, wie z. B. für Solaranlagen, zu verwenden.

Zur Unterscheidung zwischen Werktag und Nichtwerktag empfahlen Edwards und Kollegen eine stärkere Differenzierung des Nutzerverhaltens (Edwards et al. 2015). In ihrer Messung an 72 Gebäuden haben die Autoren festgestellt, dass bei den Nutzern zwischen drei Gruppen unterschieden werden kann: die „predominantly morning consumers“ stellen 25% der untersuchten Haushalte dar; die „predominantly evening consumers“ wurden in ca. 1/3 der Haushalte vorgefunden; die restlichen Haushalte konnten nicht eindeutig zu diesen zwei Gruppen zugeordnet werden. In dem vorliegenden Projekt werden dementsprechend drei Verbrauchsprofile unterschieden: Haushalte mit Dusch- oder Badezeiten vorwiegend vormittags, vorwiegend nachmittags sowie Haushalte, bei dem sich der Verbrauch über den Tag annähernd gleichmässig verteilt.

² z.B. Frischwasserstationen

In einer früheren Studie des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfaches (SVGW) konnte die Warmwasser-Zapfgewohnheiten am Beispiel von zwei Messkampagnen mit je 11 Objekten detailliert untersucht werden (Nipkow 1999). Dank der zeitlich hochaufgelösten Messwerte des SVGW-Messprojekts konnten Mittelwerte der Anzahl Entnahmen pro Tag und der jeweiligen gezapften Warmwassermengen bestimmt werden. Es wurde zwischen drei Entnahmestellen unterschieden: Lavabos, Badewanne/Dusche und Küche. Der Anteil am Gesamt-Warmwasserverbrauch dieser drei Zapfarten konnte auf diese Weise ermittelt werden. Empfehlungen für eine Dämmstrategie der Verteilungen und zum sparsamen Verhalten beim Warmwasserverbrauch wurden vorgelegt. Allerdings konnten die Messungen nur während 60-120 Tage pro Objekt durchgeführt werden. Die saisonalen Schwankungen konnten somit nicht erfasst werden, was wiederum eine Verallgemeinerung der Ergebnisse erschwert.

5.2. Ziele und Aufgaben

Im ersten Arbeitspaket wurde eine Bestandsaufnahme der MFH mit dezentralen Elektrowassererwärmern durchgeführt. Damit konnten die Zielgebäude typisiert und generelle Trends erkannt werden. Diese Trends sollen als Grundlage für die Auswahl von Referenzobjekten für die Langzeitmessung dienen.

In bis zu zehn Referenzwohnungen soll ein Jahr lang mit hoher zeitlicher Auflösung, die verbrauchte Warmwassermenge, die Entnahme- und Kaltwassertemperatur sowie der Stromverbrauch des Heizelements aufgezeichnet werden. Aus diesem Datensatz sollen zeitlich hochaufgelöste Zapfprofile ermittelt werden.

Die Zapfprofile finden im Arbeitspaket 3 des Projekts in der Simulation bzw. Bewertung von Ersatzstrategien für Elektrowassererwärmer Anwendung. Zudem sollen die Zapfprofile künftig für die Bewertung der Regelgüte und der Energieeffizienz von Trinkwassererwärmern am Prüfstand vom ZIG eingesetzt werden.

Die Kernziele im zweiten Arbeitspaket sind:

- Den Warmwasserverbrauch in bis zu zehn Versorgungsobjekten über einem Zeitraum von 12 Monaten zu ermitteln.
- Die Messdaten so aufzubereiten, dass Erkenntnisse für die Auslegung von Warmwassererzeugungs- und Warmwasserversorgungssystemen gewonnen werden können.

Die Nebenziele sind:

- Genaue Dokumentation der versorgungsrelevanten Parameter in den Referenzobjekten, welche für künftige Ersatzkonzepte von Bedeutung sind sowie der erforderlichen Eingriffe in die Wärmeversorgungsstruktur. Diese Daten werden im Rahmen von Ortsbegehungen erhoben.
- Die thermischen Verluste der gemessenen Speicherwassererwärmer (SPWE) zu evaluieren.

In der vorliegenden Studie gilt das Hauptaugenmerk der Integration der Warmwasserversorgung in die bestehende Wärmeversorgung des Gebäudes. Die Datenerhebung in den Referenzobjekten soll deshalb sowohl das bestehende Warmwasserversorgungssystem, wie z.B. den Ort des SPWE, die Anzahl und Typen der Entnahmestellen, usw.,

als auch das bestehende Wärmeerzeugungs- und Wärmeabgabesystem, speziell den Heizkessel, die Topologie des Heizverteilsystems, etc., dokumentieren.

5.3. Methode

5.3.1. Anforderungen an die Messtechnik

Die Messtechnik sollte so gewählt werden, dass:

- der Warmwasserverbrauch zeitlich hochaufgelöst und für eine Dauer von zwölf Monaten aufgezeichnet werden kann.
- neben der Wassermenge auch die Eintritts- und Austrittstemperatur am SPWE mit aufgezeichnet werden kann, um somit eine Bestimmung der entnommenen Wärmemenge vornehmen zu können.
- der Stromverbrauch des elektrischen Widerstandsheizelementes des SPWE ermittelt werden kann, so dass die Speicherverluste über eine Energiebilanz bestimmt werden können.

5.3.2. Messkonzept

Im vorliegenden Projekt sollte eine Messkampagne an bis zu zehn Versorgungsobjekten durchgeführt werden, mit dem Ziel, Warmwasser- und Stromverbrauch sowie die Speichertemperatur zu ermitteln.

Das Ziel des Messkonzeptes war es, einerseits die verbrauchte Warmwassermenge mit hoher zeitlicher Auflösung und andererseits die Energieflüsse am Speicher zu erfassen. Die Messung besteht aus einem Durchflussmessgerät, Anlegefühlern, die die Temperatur am Eintritt und Austritt des Speichers aufnehmen und einem Relais, der die Betriebsdauer des elektrischen Widerstandsheizelements überwacht (s. Abbildung 18).

Anmerkung: Eine Temperaturmessung direkt am Speicher, z.B. mit Tauchfühlern, war bei den bestehenden Anlagen ohne Eingriff in die Speicherhülle nicht möglich. Zudem war für die Studie die Austrittstemperatur relevanter als die Speichertemperatur, da einige Speicher ihren Warmwasseranschluss im unteren Bereich haben. Bei einer Entnahme muss folglich das Warmwasser oben im Speicher, im Tauchrohr, durch die ganzen Temperaturschichten fließen und kühlt sich dabei teilweise ab.

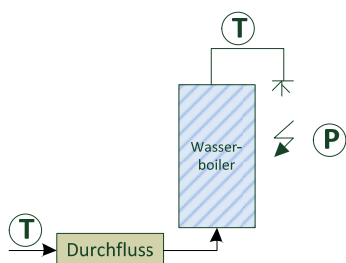


Abbildung 18: schematische Darstellung des Messkonzeptes

5.3.3. Durchführung

Die Messobjekte wurden gemäss den Kriterien aus Arbeitspaket 1 aus einer Liste möglicher Objekte ausgewählt. Mit Eigentümern und Bewohnern wurde jeweils eine Nutzungsvereinbarung getroffen, welche die Nutzung der Messdaten aber auch organisatorische Aspekte wie den Zutritt zu den Anlagen oder die Anonymisierung der Daten, regelt.

Die Installation der Messtechnik wurde im Mai 2014 begonnen. Das letzte Objekt wurde in September 2014 fertig ausgestattet. Die Messung lief ein Jahr lang ohne Unterbrechung. Die letzte Messung wurde in September 2015 abgeschlossen. Anschliessend wurde die Messtechnik zurückgebaut. In diesem Rahmen wurde ein Interview mit den Bewohnern zwecks Validierung der Erkenntnisse aus der Auswertung durchgeführt.

Messtechnik und Messdaten

Die eingesetzten Messgeräte sind im Kap. 9.2 beschrieben. Neben finanziellen Aspekten wurde bei der Auswahl der Sensoren besonders auf eine hohe Datenqualität geachtet. Abbildung 19 zeigt die verwendete Online-Visualisierung. Die Datenaufzeichnung erfolgt ereignisgesteuert³, um so die Datenmenge auf das Wesentliche zu beschränken. Als Auslöseereignis für die Aufzeichnung galt eine Temperaturänderung um 0,1 K, ein Impuls von der Wasseruhr oder ein Impuls vom Hilfsrelais des elektrischen Heizwiderstandselements.

Die Daten wurden jede Nacht per Funk-Verbindung an den Datenserver der Hochschule Luzern übertragen. Dort unterliefen sie einer automatisierten Plausibilitätsprüfung, die sicherstellte, dass mögliche Messfehler oder Datenlücken⁴ sofort erkannt und behoben werden können. Somit konnte eine hohe Datenkonsistenz erreicht werden.

Zwecks Handhabung bei der anschliessenden Analyse wurden die Daten in eine Zeitreihe mit einem Zeitschritt von 1 Minute umgewandelt. Wegen der anfallenden Datenmenge erfolgt die Datenauswertung teils mit Microsoft Excel[®], teils mit Matlab[®] der Firma Mathworks.

Die Messobjekte

Die zehn Messobjekte sind in Kap. 9.3 detailliert beschrieben. Dabei handelt es sich sowohl um freistehende als auch um eingebaute SPWE. Das Spektrum an untersuchten Speichern reicht von 110 l bis 300 l Speicherinhalt sowie, gemäss Typenschild, von 1.6 kW bis 6 kW elektrischer Aufnahmeleistung des Widerstandsheizelements. Die Haushaltsgrösse variiert von Einpersonenhaushalten bis zu Haushalten mit fünf Mitgliedern. Der Kaltwasseranschluss befand sich immer im untersten Bereich des Speichers. Der Warmwasseranschluss befand sich in der Regel im oberen, bei einigen Modellen jedoch auch im unteren Bereich des SPWE. Dies könnte sich negativ auf die Austrittstemperatur und auf die thermische Schichtbildung im Speicher auswirken.

³ Die Auflösung betrug weniger als 100 ms.

⁴ Datenlücken können z.B. durch defekte Sensoren entstehen.

Horw, 29. Februar 2016

Seite 29/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

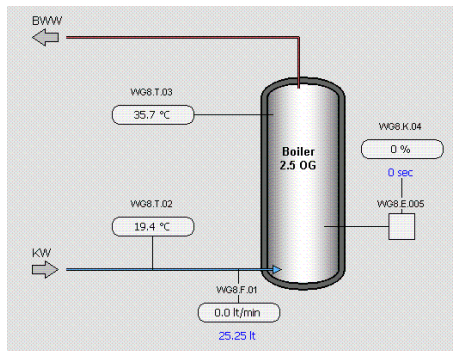


Abbildung 19: Visualisierung der Messung am Datenlogger

Angabe der Warmwassermenge

In der Regel wird die Menge an verbrauchtem Warmwasser in *Normliter* angegeben. Diese Volumeneinheit ist auf die Referenzbedingungen 60 °C für das Warmwasser und 10 °C für das Kaltwasser genormt (vgl. SIA 385/2). Da die Messwerte aus der Feldmessung von diesen Standardwerten abweichen können wird die gemessene Warmwassermenge nach Gl. 1 in Normliter umgerechnet.

$$V_{60} = V_{\theta_w} \cdot \frac{(\theta_w - \theta_c)}{50} \quad \text{Gl. 1}$$

Dabei ist V_{60} , das entnommene Warmwasservolumen in Normliter, V_{θ} das gemessene entnommene Warmwasservolumen bei der Temperatur θ_w und θ_c die Speichereintrittstemperatur. Diese wird als 10 °C definiert.

Interview der Bewohner

Im Rahmen der Ortsbegehung und dem Rückbau der Messtechnik wurden zwei Interviews mit den Bewohnern durchgeführt. Ein zentraler Punkt war dabei, die Anzahl der Nutzer und die Verbrauchsgewohnheiten zu erfassen. Die Messwerte wurden mit einer Plausibilitätskontrolle überprüft.

Eine detaillierte Auswertung der Fragebögen konnte aus Zeitgründen nicht mehr durchgeführt werden.

5.4. Ergebnisse

5.4.1. Speicheraustrittstemperatur

Die Speicheraustrittstemperatur ist sowohl für den Nutzerkomfort als auch für die Hygiene relevant. Hinsichtlich Hygiene wurde in der SIA 385/1 drei Risikostufen definiert: gering, mittel und erhöht (SIA 385/1). Diese berücksichtigen einerseits das Kontaminationsrisiko durch Legionellen im jeweiligen Gebäudetyp, insbesondere hinsichtlich der Komplexität der haustechnischen Anlagen, andererseits die Merkmale der Personen, die gewöhnlich diesen Gebäudetyp benutzen.

Das hygienische Risiko in Mehrfamilienhäusern ohne Warmwasser-Zentralversorgung wird generell als gering eingestuft. Der Grund dafür ist die geringe Warmwassermenge, die in solchen dezentralen Behältern gespeichert wird, i.d.R. ca. 200 - 300 l. Das Wasser wird im Speicher fast täglich erneuert. Daher ist die Verweilzeit im Speicher nicht ausreichend für die Legionellen um sich in einem bedrohlichen Mass vermehren zu können.

Tabelle 1 zeigt die mittlere Speicher-Austrittstemperatur für die zehn Wohnobjekte. Der Mittelwert liegt bei 63.9 °C, das Minimum bei 54,3 °C und das Maximum bei 71,3 °C.

Die mittlere Warmwassertemperatur liegt bei den meisten Wohnungen über 60 °C. Ausgenommen sind dabei die Wohnung 5 und 7. Aus Sicht der Energieeffizienz sollte die Warmwassertemperatur von 60 °C nicht überschritten werden (vgl. auch MuKE n 2014).

Tabelle 1: Mittlere Speicher-Austrittstemperatur der zehn Wohnobjekte während der ganzen Messkampagne

Objekt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1 bis 10
Mittlere Speicheraustritts- temperatur (°C)	69.5	65.4	64.6	63.8	54.3	66	56	60.8	71.3	67.2	63.9

Aus Tabelle 1 sind Versorgungsengpässen aufgrund zu kleinen Speichergrössen nicht erkennbar.

Die Feldmessung zeigt, dass in acht von zehn Objekten die Speichertemperatur im Mittel über 60 °C liegt.

5.4.2. Warmwasserbedarf

Der tägliche Nutzwarmwasserbedarf variiert stark im Laufe des Jahres. Abbildung 20 zeigt die Häufigkeitsverteilung am Beispiel von Wohnung 2. Der mittlere tägliche Nutzwarmwasserbedarf liegt bei diesem Haushalt bei ca. 21,4 Normliter pro Person. Der Medianwert, d.h. der Wert in der Mitte der Stichprobe, beträgt 20,9 Normliter. Die Standardabweichung liegt bei 11,8 Normliter und beträgt somit 50% des Mittelwerts. An einigen Tagen im Jahr ist deshalb gegenüber dem Mittelwert mit einer Verdopplung der Verbrauchsmenge zu rechnen. Der maximale Wert lag in der Messperiode bei 52,3

Normliter pro Tag. Zudem zeigt Abbildung 20, dass an ca. 4% der Tage im Jahr kein Warmwasser gezapft wurde, z.B. wegen Ferienabwesenheiten.

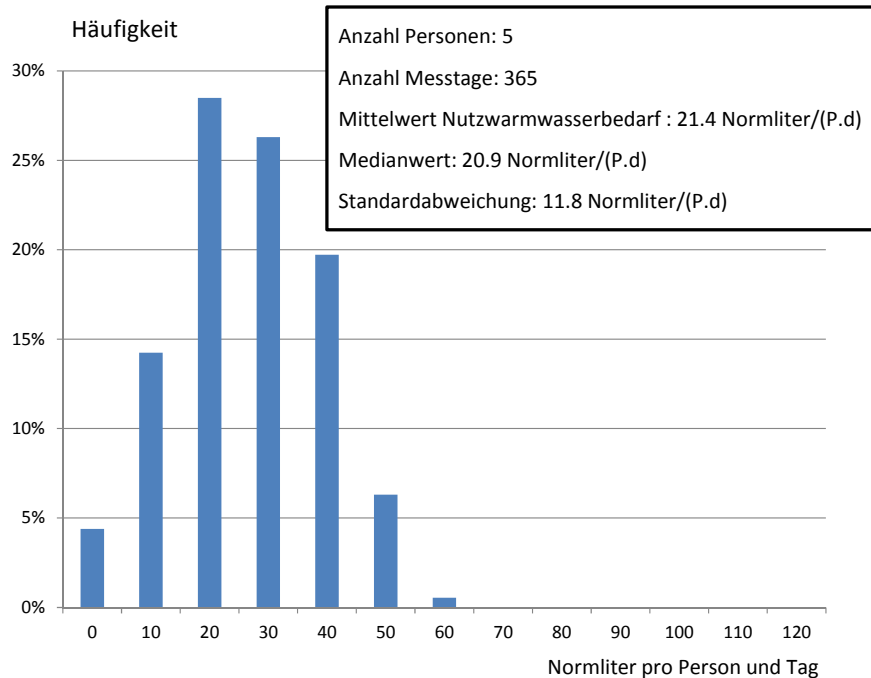


Abbildung 20: Häufigkeitsverteilung des Nutzwarmwasserbedarfs am Beispiel von Wohnung Nr. 2.

Der tägliche Nutzwarmwasserbedarf ist zudem stark durch das Nutzerverhalten geprägt. Tabelle 2 gibt eine Übersicht des Verbrauchs für die zehn Messobjekte des Projekts. Der Mittelwert der zehn Haushalte liegt bei ca. 35,3 Normliter pro Tag und Person. Das Minimum von 8,2 ist beim Objekt 5 zu finden. Im Interview gab das Ehepaar an, ausschliesslich auswärts zu duschen, z.B. bei sportlichen Aktivitäten. Das Maximum von 65,6 kommt im Objekt 9 vor.

Tabelle 2: Mittlerer Nutzwarmwasserbedarf pro Person und Tag für die 10 Wohnobjekte

Objekt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mittelwert des täglichen Nutzwarmwasserbedarfs (Normliter)	49	21	39	45	8	18	21	22	65	48

In Abbildung 21 wird der mittlere tägliche Nutzwarmwasserbedarf der zehn Messobjekte mit dem Durchschnittsbedarf nach SIA 385/2 verglichen. Der durchschnittliche Nutzwarmwasserbedarf für allgemeinen Wohnungsbau liegt gemäss der Norm SIA 385/2:2015 bei 35 Normliter pro Person und Tag (s. SIA 385/2 S. 33). Bei der gewählten

Horw, 29. Februar 2016

Seite 32/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

Stichprobe lag die Hälfte der Haushalte über diesem Wert, die andere Hälfte darunter. In manchen Fällen ist die Abweichung markant und kann bis über 300% betragen (s. Objekt 5, mit gerade 8 Normliter pro Tag und Person).

In der Branche wurde lange Zeit vermutet, dass bei wachsender Personenzahl im Haushalt, der tägliche Nutzwarmwasserbedarf aufgrund Aktivitäten wie Reinigen, Waschen, Abwaschen abnehmen würde. Deshalb wurden in *Abbildung 21* die Messobjekte dieses Projekts nach steigender Zahl der Nutzer sortiert.

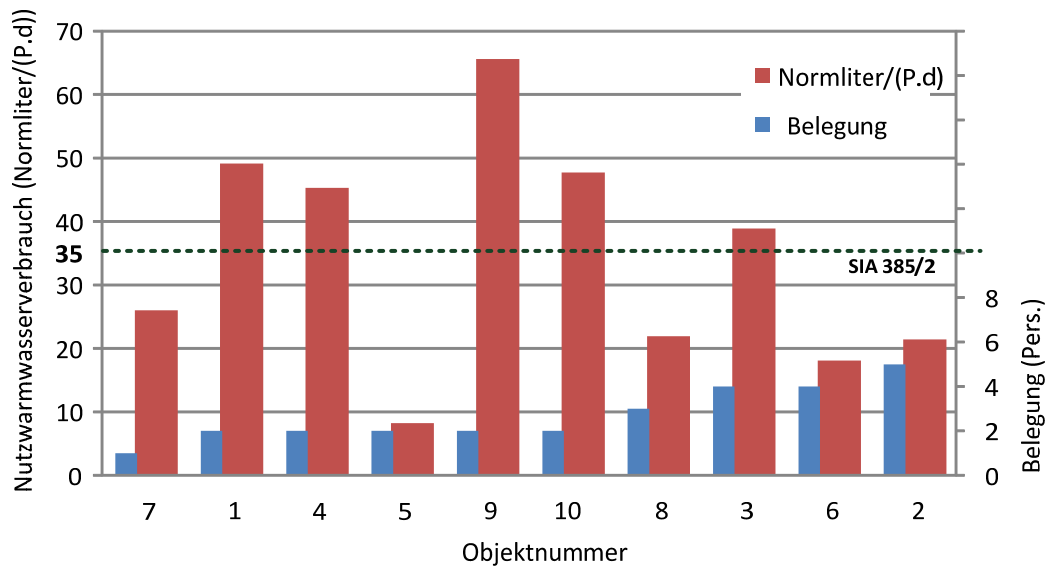


Abbildung 21: Quervergleich des mittleren Nutzwarmwasserbedarfs in Normliter pro Person und Tag. Die Messobjekte sind nach steigender Belegung sortiert. Zur Information ist der durchschnittliche Nutzwarmwasserbedarf pro Tag nach SIA 385/2:2015 für Mehrfamilienhäuser (allgemeiner Wohnungsbau) angegeben.

Mit einem Mittelwert von 35,3 Normliter pro Person und pro Tag stimmen die Messergebnisse in einer ersten Annäherung gut mit dem Auslegewert der Norm SIA 385/2:2015 von 35 Normliter pro Tag überein. Sie bestätigen somit die Anwendbarkeit des Auslegewertes. Diese Aussage ist allerdings einzuschränken. Der SIA-Wert beinhaltet keine Verluste, insbesondere keine Ausstossverluste. Die Ausstossverluste können aber zu grossen Abweichungen führen (s. Kap. 5.4.3). Hinzu kommt, dass mit nur zehn Messobjekten die Projektergebnisse im statistischen Sinn kaum repräsentativ sein können. Sie können höchstens einen Trend zeigen bzw. die Angabe der Norm attestieren, auch wenn die Streuung sehr hoch ist.

5.4.3. Kurzzeit-Zapfungen

Aufgrund der Ausstossverluste, welche durch die Entfernung zwischen warm gehaltenen Leitungen oder Speicherwassererwärmern (SPWE) und Entnahmestelle bedingt ist, bleibt ein relativ grosser Anteil des Warmwassers beim Zapfen ungenutzt (Nipkow 1999).

Ausstossverluste sind Wasserverluste an Entnahmestellen, die während der Ausstosszeit entstehen, bis an der Entnahmestelle eine Warmwassertemperatur von 40 °C ausfliesst. Diese lassen sich mit der Kaltphase und der Anwärmphase beschreiben. Diese Wasser-

und Energieverluste sollten weitgehend reduziert werden, z. B. indem man das Zapfen kleinster Warmwassermengen möglichst vermeidet.

Um die Problematik der Ausstossverluste zu veranschaulichen, wurde die Anzahl an Entnahmen kleiner als 1 Liter gesondert ausgewertet. Ein Liter Wasser entspricht einer Leitungslänge von ungefähr 10 m mit einem Innendurchmesser von 11,6 mm. Eine frühere Semester- und Diplomarbeit (Friedlin 2005) an der Hochschule Luzern-Technik & Architektur hat ergeben, dass die Anwärmphase annähernd gleich gross ist, wie die Kaltphase. Somit entsprechen die Ausstossverluste zweimal der Kaltphase. Demzufolge kann angenommen werden, dass 1 Liter Wasser aus einer 5 m langen Leitung ausgestossen werden muss, bis 40-gradiges Warmwasser aus der Entnahmestelle fliesst.

Tabelle 3: Anteil an Zapfungen kleiner als 1 Liter für die zehn Wohnobjekte.

Objekt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Anteil an Zapfungen kleiner als 1 l	45%	41%	52%	46%	k. A.	56%	47%	66%	74%	57%

Tabelle 3 zeigt für die zehn Wohnobjekte den Anteil an Zapfungen kleiner als 1 l. Für das Objekt 5 ist keine zuverlässige Angabe vorhanden. Der Mittelwert von den neun Objekten liegt bei 54%, das Minimum bei 41% und das Maximum bei 74%.

Es kann festgehalten werden, dass bei der untersuchten Stichprobe ca. 50% der betätigten Zapfungen weniger als 1 l betragen. Bei diesen Kurzzeit-Zapfungen erreicht das Warmwasser nicht einmal die Entnahmestelle, vorausgesetzt die Leitung ist 5 m lang. Die dabei entstehenden, nutzlosen Ausstosswärmeverluste könnten weitgehend vermieden werden, wenn der Nutzer bei Kurzzeit-Zapfungen, z.B. dem Händewaschen, rein kaltes Wasser beziehen würde.

Entnahmearmaturen mit Eco-Funktionen helfen den Warmwasserverbrauch zu reduzieren. Diese Armaturentypen besitzen eine Mengenbegrenzung und bei der Griffstellung „Mitte“ fliesst kaltes Wasser aus der Armatur (s. Abbildung 23). Somit muss bei bewusstem Warmwasserbedarf der Griff nach Links abgedreht werden.

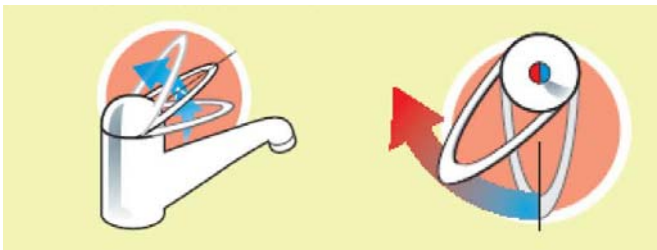


Abbildung 22: Eco-Funktionen für die Reduktion von Warmwasserverbrauch

5.4.4. Speicherverluste

Im Messprojekt wurden sowohl die elektrische Leistungsaufnahme des Heizwiderstandselements $Q_{W,gen,out}$ als auch der Wärmebedarf für Warmwasser Q_W ermittelt. Die Differenz zwischen $Q_{W,gen,out}$ und Q_W stellt die Speicherwärmeverluste

Horw, 29. Februar 2016

Seite 34/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

$Q_{W,sto,ls}$ dar (s. Abbildung 23). Der Grenzwert für $Q_{W,sto,ls}$ bei einem Speichervolumen von 300 l liegt gemäss SIA 385/1:2011 bei 1,91 kWh/d, für ein Speichervolumen von 110 l bei 1.15 kWh/d.

Tabelle 4 zeigt die aus der Messung abgeleiteten Speicherwärmeverluste, sortiert nach „freistehendem Speicher“ und „eingehaustem Speicher“. Sieben von zehn Speicher erfüllen prinzipiell die Anforderungen der Norm SIA 385/1.

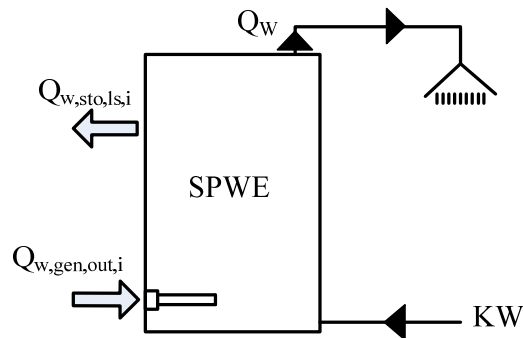


Abbildung 23: Energiebilanz am Speicherwassererwärmer

Die SPWE haben allerdings unterschiedliche Solltemperaturen und Speichervolumen. Um die zehn Objekte vergleichbar zu machen wurde ein äquivalenter Wärmedurchgangskoeffizient k^* nach Gl. 2 bestimmt. In erster Näherung wird für den Vergleich die Oberfläche aller Speicher als gleich gross angenommen. Objekt 7 bildet hierbei eine Ausnahme, da hier ein Speichervolumen von nur 110 l vorliegt.

$$k^* = 1000 \cdot \frac{Q_{W,sto,ls}}{(\theta_w - \theta_R) \cdot 24} \text{ in W/K} \quad \text{Gl. 2}$$

Dabei ist k^* , der äquivalente Wärmedurchgangskoeffizient der Speicherhülle. Die Temperaturdifferenz $\theta_w - \theta_R$ wird als 45 °C definiert, unabhängig ob der Speicher freistehend oder eingehaust ist (s. Kap. 5.2 der SIA 385/1).

Bei den freistehenden Speichern liegt der Mittelwert von k^* bei 1.90 W/K, das Minimum bei 0.51 W/K und das Maximum bei 3.51 W/K. Bei den eingehausten Speichern liegt der Mittelwert von k^* erwartungsgemäss etwas tiefer bei 1.68 W/K, das Minimum bei 1.18 W/K und das Maximum bei 2.88 W/K. Das Objekt 7 wurde dabei aufgrund des deutlich kleineren Speichervolumens nicht berücksichtigt.

Horw, 29. Februar 2016

Seite 35/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

Tabelle 4: Durchschnittliche Speicherwärmeverluste und der daraus abgeleitete äquivalente Wärmedurchgangskoeffizient

	freistehender Speicher					eingehauster Speicher				
Objekt	1	2	3	6	10	4	5	7	8	9
Gemessener Speicherwärmeverlust $Q_{W,sto,ls}$ (kWh/d)	2.73	2.52	0.56	3.85	1.53	1.47	1.05	0.78 ⁵	1.23	0.76
Äquivalenter Wärmedurchgangskoeffizient k^* (W/K)	2.23	2.21	0.51	3.27	1.26	1.52	2.88	(0.89)	1.44	1.18

Aus der Differenz des gemessenen Wärmebedarfs für Warmwasser und der elektrischen Leistungsaufnahme des Heizelements konnte durchschnittliche Speicherwärmeverluste berechnet werden. Sieben von zehn Speichern halten die Grenzwerte der Norm SIA 385/1:2011 ein. Die Streuung bei dem äquivalenten Wärmedurchgangskoeffizient k^* ist gross und beträgt bis zu 100%.

5.4.5. Nutzerprofile

In ihrer Messung an 72 Gebäuden haben (Edwards et al. 2015) festgestellt, dass bei dem Nutzerverhalten zwischen drei Tendenzen unterschieden werden kann: die „predominantly morning consumers“, die „predominantly evening consumers“ sowie solche, die kein eindeutiges Zapfprofil aufwiesen.

Dementsprechend wurden im Projekt drei Nutzerprofile entwickelt:

1. Haushalt mit Dusch- oder Badezeiten vorwiegend morgens.
2. Haushalt mit Dusch- oder Badezeiten vorwiegend abends.
3. Haushalt, bei dem sich der Verbrauch über den Tag annähernd gleichmässig verteilt.

Die Zapfungen unterscheiden sich sehr stark in Anzahl pro Tag und jeweiliger gezapfter Warmwassermenge. Zuvor wurde in Anlehnung an (Nipkow 1999) und (Mühlbacher 2007) drei Cluster bzw. Zapfungsarten definiert:

Tabelle 5: Definition der Zapfungsarten

Zapfungsart	Bedingung
Waschbecken	Menge < 10 l
Dusche	10 l < Menge < 40 l
Badewanne	Menge > 40 l

Abbildung 24 illustriert das Zapfprofil „vorwiegend morgens“ am Beispiel der Verbrauchsdaten aus Wohnung 7. In diesem Haushalt lebt einzig eine berufstätige Person. Alle registrierten Zapfungen aus dem Messzeitraum von 12 Monaten wurden auf

⁵ Speichervolumen: 110 l

Horw, 29. Februar 2016

Seite 36/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

derselben Graphik dargestellt. Somit kann ein durchschnittlicher Tagesgang statistisch definiert werden. Die Trendlinie zeigt, dass unter der Woche die grossen Warmwassermengen (vermutlich Duschen/Baden) vor 8 Uhr benötigt werden. Am Mittag und am Abend werden nur noch kleine Zapfmengen registriert.

Im Gegensatz dazu illustriert Abbildung 25 das Zapfprofil „vorwiegend abends“ am Beispiel der Wohnung 8. Dort finden die grossen Zapfungen i.d.R. nach 18 Uhr statt, mit einem Maximum gegen 21 Uhr.

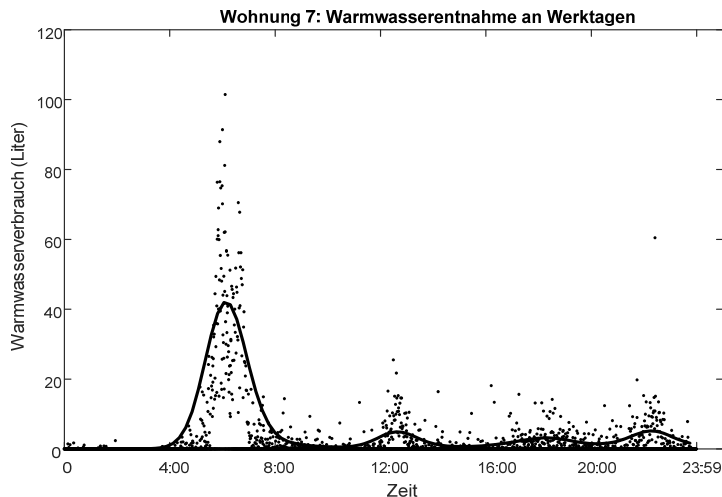


Abbildung 24: Alle in Wohnung 7 registrierten Einzelzapfungen, gemessen werktags über einen Zeitraum von 12 Monaten. Die schwarze Regressionskurve verdeutlicht den Verbrauchertrend „vorwiegend morgens“.

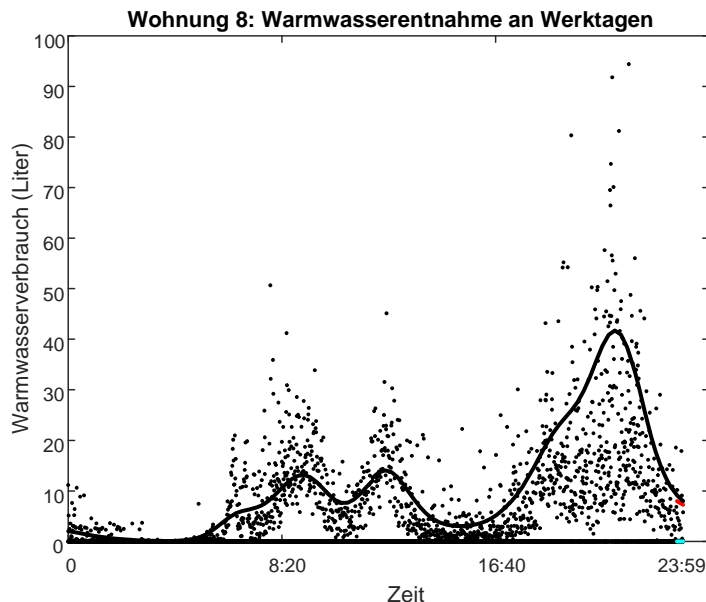


Abbildung 25: Alle in Wohnung 8 registrierten Einzelzapfungen, gemessen werktags über einen Zeitraum von 12 Monaten. Die schwarze Regressionskurve verdeutlicht den Verbrauchertrend „vorwiegend abends“.

Für jede Nutzergruppe wurde eine Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für jede Nutzungsart anhand der Kernel-Regressionmethode bestimmt. Die Kernel-Regression ist eine nicht-parametrische statistische Methode, bei der die Abhängigkeit einer zufälligen Größe aus Ausgangsdaten mittels Kerndichteschätzung geschätzt wird. Die Art der Abhängigkeit, dargestellt durch die Regressionskurve, wird im Gegensatz zur linearen Regression nicht als linear festgelegt. Der Vorteil ist eine bessere Anpassung an die Daten im Falle nicht-linearer Zusammenhänge, wie z.B. der Entnahme von Warmwasser.

Mit der Angabe des Tagesbedarfs sowie der Anzahl der Zapfungen für die drei Nutzungsarten *Waschbecken*, *Dusche* und *Badewanne* können mittels einer Zufallszahl synthetische, trendgeprägte Warmwasser-Lastdaten unterschiedlicher Länge künstlich generiert werden. Die in einem parallelen Projekt entwickelte Methode wird in (de Santiago and Sicre 2016) präsentiert. Diese Methode wurde für die Generierung der Lastdaten für die Simulation im dritten Arbeitspaket eingesetzt.

5.5. Fazit

Erstmals wurden in der Deutschschweiz der Warmwasserbedarf und die Verbrauchscharakteristiken in ausgewählten Objekten mit dezentralen Elektrowassererwärmern ein Jahr lang im Wohnungsbau ermittelt und ausgewertet. Mit der Überwachung der Speichereintritts- und Speicheraustrittstemperaturen und der Erfassung der Betriebsdauer des elektrischen Widerstandselements konnten zudem Erkenntnisse zum Anlagenbetrieb und zu den Speicherverlusten gewonnen werden.

Der gemessene Mittelwert der zehn Wohnungen lag mit 35,3 Normliter pro Tag und Person nahe am Wert der Norm SIA 385/2:2015 von 35 Normliter pro Tag und Person, wobei die Einzelwerte zwischen 8 und 65 Normliter pro Tag und Person schwankten.

Die Messung des Warmwasserverbrauchs bei den erfassten zehn Objekten bestätigt die bisher erkannte starke Streuung der Verbrauchs-Mittelwerte, sowohl allgemein als auch innerhalb der kategorisierten Verbrauchertypen. Eine allfällige Korrelation zwischen dem spezifischen Verbrauch und der Anzahl von Nutzern im Haushalt konnte nicht festgestellt werden. Es wird vermutet, dass der spezifische Verbrauch viel mehr von den Aktivitäten der Nutzer in der Wohnung, der Intensität der Körperpflege und der persönlichen Einstellung gegenüber einem sparsamen Wasserverbrauch abhängen.

Die Unterschiede im Tagesverbrauch sowie zwischen den einzelnen Wohnungen können um mehr als 100% vom Objekt-Mittelwert abweichen. Signifikante Unterschiede in der zeitlichen Verteilung der Konsummuster wurden auch zwischen den Objekten beobachtet. Die Streuung der Tages-Verbrauchsmittel bei den einzelnen Wohnungen zeigte, dass die Angabe von Mittelwerten alleine ungenügend für die Anlagendimensionierung ist.

Bei der Speicheraustrittstemperatur lagen, mit Ausnahme eines Objektes, alle Mittelwerte über 55 °C. Einige Speicher waren sogar deutlich über 60 °C eingestellt. Vorausgesetzt es kommt nicht zur Versorgungsknappheit, kann in diesem Fall der Sollwert, ohne hygienische Bedenken, auf 60 °C reduziert werden.

Um die Problematik der Ausstossverluste zu veranschaulichen, wurde die Anzahl an Entnahmen kleiner als 1 Liter gesondert ausgewertet. Bei der untersuchten Stichprobe betragen ca. 50% der betätigten Zapfungen weniger als 1 Liter. Bei diesen Kurzzeit-Zapfungen erreicht das Warmwasser nicht einmal die Entnahmestelle, vorausgesetzt die

Horw, 29. Februar 2016

Seite 38/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

Leitung ist 5 m lang. Es wird nur die Kaltphase ausgestossen. Die dabei entstehenden, nutzlosen Ausstosswärmeverluste könnten weitgehend vermieden werden, wenn der Nutzer bei Kurzzeit-Zapfungen, z.B. dem Händewaschen, rein kaltes Wasser beziehen würde.

Bei den Speicherwärmeverlusten liegt eine grosse Streuung vor. Sieben von zehn Speichern erfüllen die Anforderungen der Norm SIA 385/1:2011 von 1.91 kWh/d. Einige Speicher sind jedoch in Schränken eingehaust, was die Aussage relativiert.

Eine vertiefte Analyse der Tagesgänge ermöglicht eine Schärfung des Nutzerverhaltens und die Entwicklung eines numerischen Verfahrens zur Lastganggenerierung. Dabei wurden zwischen drei Nutzungsarten unterschieden: Wasserentnahme am Waschbecken, beim Duschen sowie beim Baden. Die Häufigkeit des Duschens und Badens beeinflusst hierbei massgebend den Gesamtwasserverbrauch. Zudem wurde die Bildung von Nutzerprofilen, abhängig vom Zeitpunkt des Spitzenverbrauchs durch z.B. Duschen oder Baden, vorgeschlagen. Demzufolge wurden drei Nutzergruppen definiert. Bei der ersten Gruppe liegt der Spitzenverbrauch morgens, bei der zweiten abends. Bei der dritten Nutzergruppe ist die Warmwassernutzung gleichmässig über den ganzen Tag verteilt. Mit der Angabe der Nutzergruppe und des Tagesmittelwerts können zeitlich hochaufgelöste, zufällige, aber trendgeprägte, Warmwasserprofile beliebiger Länge generiert werden. Diese werden z.B. für die Beurteilung durch Simulation oder Labormessung von Warmwasserversorgungen mit Durchflusswassererwärmern oder Solaranlagen eingesetzt. Ein solches differenziertes, nicht-wiederholendes Verbrauchsprofil kann für die Vorhersage der jährlichen Performance, z.B. des Solardeckungsgrades, oder der Robustheit, z.B. der Regelgüte, von Bedeutung sein.

6. Arbeitspaket 3: Systemevaluation

6.1. Ausgangslage

Im ersten Arbeitspaket wurde eine Bestandsaufnahme der Mehrfamilienhäuser in der Schweiz mit dezentralen Elektrowassererwärmern durchgeführt. Damit konnten die Gebäude typisiert und Trends erkannt werden. Diese Trends sollen als Grundlage für die Definition eines Referenz-MFH in der Simulation aus dem vorliegenden Arbeitspaket dienen.

Im zweiten Arbeitspaket wurden Warmwasserverbrauchsprofile an realen Anlagen im Rahmen einer Langzeit-Messkampagne gemessen. Daraus wurde ein Modell für die Generierung von trendgeprägten synthetischen Warmwasserlastgängen entwickelt. Dieses Verfahren soll für die Erzeugung der Eingangsdaten für die Simulation aus dem vorliegenden Arbeitspaket eingesetzt werden.

6.2. Ziele und Aufgabe

Das Ziel im dritten Arbeitspaket ist es, realisierbare und energieeffiziente Alternativsysteme zum direkt-elektrischen Wassererwärmer im Wohnungsbau mittels Simulation zu untersuchen und miteinander zu vergleichen. Für die Analyse der Ersatzvarianten sind Modellierungen bzw. Simulationen, sowie eine umfangreiche Evaluation vonnöten. Die Beurteilungskriterien sind dabei die Energiesparpotenziale und die Wasserhygiene bzw. das Gefährdungspotenzial durch Legionellen. Generell sollen zentrale und dezentrale Versorgungskonzepte miteinander verglichen werden, wobei die Randbedingungen, wie beispielsweise Zapfprofile und die Wassertemperatur an der Entnahmestelle identisch bleiben.

Die Kernziele sind:

- Das Energiesparpotenzial der Ersatzlösungen aufzuzeigen.
- Die Heizlast und der Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser in Abhängigkeit der Anlagentypologie (zentral vs. dezentral) und des Energieträgers (elektrischen Strom vs. Brennstoff) Dabei sind sämtliche Wärmeverluste einer Warmwasserversorgung zu bestimmen.
- Die Zusammenhänge zwischen Heizlast, Warmwassertemperatur, Wärmeverluste von Speicher und warm gehaltenen Leitungen und Hilfsenergie von Umwälzpumpen der verschiedenen Warmwasserkonzepte darzulegen.

•

Die Nebenziele sind:

- Realitätsnahe hochaufgelöste Warmwasserzapfprofile einzusetzen damit Ausstossverluste praxisnah evaluiert werden können.
- Genauere Bilanzierung der Hilfsenergie damit Aussagen zur Gesamteffizienz der Anlage möglich werden.
- Die technische Umsetzbarkeit sowie die Nutzer- und Eigentümerakzeptanz als entscheidendes Kriterium bei der Beurteilung zu berücksichtigen.

In der vorliegenden Studie gilt das Hauptaugenmerk der Integration der Warmwasserversorgung in die bestehende Wärmeversorgung des Gebäudes. Die Simulation soll deshalb sowohl dem Heizwärmebedarf des Wohnhauses Rechnung tragen

als auch die für das Baujahr üblichen Heizsysteme abbilden. Bei den Performances der simulierten Komponenten (z.B. Nutzungsgrade, spezifische Wärmeverluste, etc.) orientiert man sich ebenso an den Eigenschaften realer Produkte.

Bis zu drei Versorgungsvarianten sollen untersucht werden. Bei der Auswahl dieser Varianten stehen die technische Umsetzbarkeit und der Umfang an notwendigen Umbauarbeiten im Vordergrund. Die technische Umsetzbarkeit umfasst Aspekte wie die Marktverfügbarkeit der gewählten Technologie oder den Aufwand für den Einbau bzw. für deren Betrieb. Der Umbaubedarf soll möglichst gering gehalten werden um bei den Bewohnern die Akzeptanz nicht zu gefährden.

6.3. Methode

6.3.1. Abgrenzungen

Ein wesentlich innovativer Aspekt in der vorliegenden Studie ist der Einsatz von differenzierten hochaufgelösten Profilen für den Nutzwarmwasserbedarf. Anhand dieser auf Messungen basierenden Profile (s. Kap. 5.4.5) kann der Einfluss der Anlagentypologie auf den Wärmebedarf für Warmwasser noch exakter eruiert werden. Insbesondere bei der Simulation der Durchflusswassererwärmer DFE (z.B. Frischwasserstation) spielt die Auflösung des Lastganges eine wesentliche Rolle. Die Anzahl, Dauer, Länge und Frequenz der Zapfungen spielt eine entscheidende Rolle bei dem Hilfsenergieverbrauch der Pumpen und den Wärmeverlusten des Systems.

In (Edwards et al. 2015) wurden bereits verschiedene Versorgungsszenarien mit Simulationsrechnungen untersucht. In dieser Publikation lag der Fokus auf dem kanadischen Markt für Einfamilienhäuser mit Elektrowassererwärmern. Ziel der Arbeit war es, solarunterstützende Massnahmen für die Warmwassererwärmung zu bewerten, mit besonderem Augenmerk auf den Einfluss des Warmwassernutzungsprofils auf den Solardeckungsgrad. Die Nutzungsprofile wurden zuvor im Rahmen einer Feldmessung, mit einer Messdauer zwischen 60 und 165 Tagen, ermittelt. Die fehlenden Messwerte wurden nachträglich mittels eines definierten Fitting-Verfahrens künstlich ergänzt. Die Hauptschlussfolgerung war, dass hochaufgelöste Nutzungsprofile einen signifikanten Einfluss auf den Betrieb der Warmwasserversorgung haben können. Somit reicht es aus der Sicht der Autoren nicht, standardisierte Tagesprofile zu verwenden, sondern man sollte vielmehr hochaufgelöste Jahresprofile in der Simulation einsetzen.

Eine ähnliche Studie wurde in (Ahmed et al. 2015) in Finnland durchgeführt. Hier wurden Verbrauchsdaten aus 182 Wohnungen erhoben. Der Schwerpunkt lag bei der Ermittlung des Tageswarmwasserbedarfes und des monatlichen Verhältnisses zwischen der Kalt- und Warmwassermengen, sowie des Einflusses von Monatsdaten auf die Simulationsergebnisse. Die modellierte Warmwasserversorgung bestand aus einer solarthermischen Anlagen, einem Speicherwassererwärmer und einer Zusatzheizung. Das Verteilsystem und das Gebäude wurden aber in der Simulation nicht berücksichtigt. Den Autoren gelang es, den Einfluss der Verbrauchsdaten auf den Wärmebedarf für Warmwasser zu quantifizieren. Dabei fanden sie heraus, dass der Wärmebedarf um 5 % höher liegen kann wenn man anstelle des Tagesprofils mit Monatswerten simuliert.

Lösungen mit hohem Anteil an erneuerbaren Energien (z.B. Solarthermie oder Photovoltaik) werden in der vorliegenden Studie nicht weiter verfolgt, da sie derzeit, aufgrund fehlender bewährter Geschäftsmodelle für den Geschossbau in der Schweiz, nur

schwer zu realisieren sind. Zudem liegen bereits andere Studien mit dem Schwerpunkt „Solaranlagen im Geschossbau“ vor (Weiss 2003, Schüco 2010). Die Aussagen dieser Studien, z.B. zum erzielbaren Solardeckungsgrad, können leicht auf die Konzepte dieser Studie übertragen werden ohne die Haupteigenschaften der vorliegenden Studie zu den Wärmeverlusten oder dem Hilfsenergiebedarf in Frage zu stellen.

In (Schwentzek et al. 2011) wurde die zentrale WW-Versorgung durch Brennwertkessel mit der dezentralen WW-Bereitung durch dezentrale elektronische Durchflusswassererwärmer in einem Mehrfamilienhaus verglichen. Die Beurteilungskriterien waren der Primärenergieverbrauch und der CO₂-Ausstoss. Der elektrische DFE wurde z. T. mit Solarstrom versorgt. Bei der Berechnung wurden die Wärmeverluste der warm gehaltenen Leitungen (konventionelle Zirkulation) und Ausstosswärmeverluste mitberücksichtigt. Ein stündliches Zapfprofil mit Unterscheidung zwischen Duschen-, Waschbecken-, Spülen- und Badewannennutzung an Werktagen und am Wochenende liegt den Berechnungen zugrunde. Die Autoren fanden heraus, dass bei zentraler Warmwasserversorgung, die Wärmeverluste bis zu 45% des Wärmebedarfs der Warmwasserversorgung ausmachen können. Bei dezentraler Lösung sind das nur noch 3%. Ansonsten könnten dezentrale DFE dank erhöhtem Anteil an erneuerbaren Energien im deutschen Strommix im Referenzjahr 2020 eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 40% gegenüber 2009 bewirken. Somit stellen dezentrale Lösungen auch in der Zukunft eine ernstzunehmende Alternative für die Warmwasserversorgung im Geschossbau dar.

6.3.2. Referenzgebäude

Das Simulationsmodell sowie die relevantesten Parameter werden in den nächsten Absätzen erläutert. Weitere Details sind im Anhang (Kap. 9.4) zu finden.

In Anlehnung an die Häufigkeit der mit Elektrowassererwärmer ausgestatteten Gebäude (s. Arbeitspaket 1) richtet sich der Fokus der Simulation auf Gebäude mit Zentralheizung (mit Heizöl EL als Energieträger) aus den Bauperioden 1946-1960. Die typischen baulichen Merkmale für diese Gebäude sind: freistehende Position mit 3 bis 5 Geschossen und 3 bis 5 Zimmern pro Wohnung.

Demnach wird das Referenzgebäude in der Simulation mit folgenden Merkmalen gewählt:

Tabelle 6: Eckdaten zum Referenzgebäude in der Simulation

Baujahr	um 1960
Stand	freistehend
Gebäudegeometrie	quadratisch
Anzahl Stockwerke	4 und 1 UG (unbeheizt)
Anzahl Wohnungen pro Stockwerk	2
Energiebezugsfläche	90 m ² pro Wohnung. Total EBF: 800 m ²

Horw, 29. Februar 2016

Seite 42/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

Belegung ⁶	2.2 P/Wohnung
Heizwärmebedarf ⁷	103 kWh/m ² a
Kellerdecke, Dachstock	ungedämmt
Treppenhaus	ungedämmt
Heizungsverteiler	sternförmig
Wärmeabgabesystem	Radiatoren 55/45
Soll-Raumtemperatur	22 °C
Interne Lasten	gemäss SIA MB 2024
U-Werte: - Dach - Estrichboden - Aussenwand - Kellerdecke Kellerwand Bodenplatte Fenster - Rahmen - Rahmen - g-Wert	1.5 W/m ² 1.1 W/m ² 1.1 W/m ² 1.5 W/m ² 3.1 W/m ² 3.1 W/m ² 1.4 W/m ² 1.8 W/m ² 25 % 0.7
Sonnenschutz Steuerung	RAF S > 200 W/m ² (autom. pro Fassade bei Strahlung)
Öffnung	Infiltration 0.5

Erläuterungen/Begründung:

Bauperiode

Der Zeitraum 1946-1960 entspricht dem Peak an Gebäuden mit dem Energieträger Öl für die Zentralheizung.

Stand

Freistehend entspricht dem Trend in den 60-70er Jahren.

Gebäudegeometrie

Nicht besonders relevant für die vorliegende Vergleichsstudie.

Energiebezugsfläche der Wohnung und Belegung

Im Mittel für alle Baujahre liegt der typische Medianwert für Mehrfamilienhäuser bei 80 - 90 m². (s. Kalwik u. Bucher 2013 S. 12). In Anlehnung an die Standardnutzung im

⁶ Gemäss SIA 385/2 und Kalwik u. Bucher 2013

⁷ In Anlehnung an Ott et al. 2011 (Durchschnittswert von gemessenen Heizenergieverbräuchen von kleinen Mehrfamilienhäusern in der Deutschschweiz)

Horw, 29. Februar 2016

Seite 43/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

Wohnbereich (s. Anhang A2 in [SIA 385/2]) ergibt sich bei einer Nutzfläche von 90 m², eine Normbelegung von 2.2 Personen pro Wohneinheit.

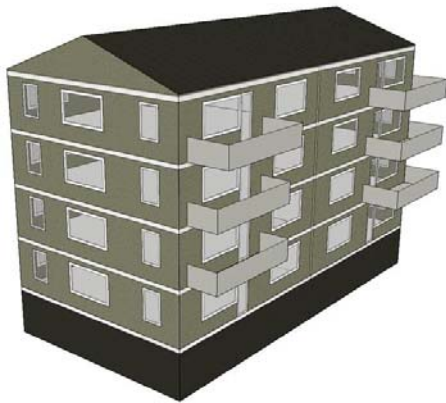


Abbildung 26: Das Referenzgebäude in der Simulation besteht aus 4 Stockwerken und einem Keller. Alle acht Wohnungen haben die gleiche EBF.

Wetterdatensatz

In der Simulation wurde für alle Varianten die Klimastation Zürich SMA gewählt.

Tabelle 7: Eckdaten zu den gewählten Klimadaten

Klimastation	Breitengrad	Längengrad	Höhe über Meer	Zeitzone	Simulationsperiode	Klimaregion
Zürich SMA	47° 22' 41''	08° 33' 57''	555	-1h	1.1. bis 31.12.1987	3

6.3.3. Warmwasserversorgung

Warmwasserbedarf

Bei dem täglichen Nutzwarmwasserbedarf empfiehlt die SIA 385/2:2015 Durchschnittswerte zwischen 35 Normliter pro Person im allgemeinen Wohnungsbau und 45 Normliter im gehobenen Wohnungsbau. Dieser Nutzwarmwasserbedarf beinhaltet keine Verluste, insbesondere keine Ausstossverluste.

Der Nutzwarmwasserbedarf der Wohneinheit hängt im Wesentlichen - aber nicht ausschliesslich - von der Anzahl der im Haushalt lebenden Personen ab. Neben dem Verbrauch spielen der Lebensstandard, das Alter, der Beruf, die Jahreszeit, etc., sogar die Art der Brauchwasserabrechnung, d.h. ob ein Wasserzähler installiert ist oder die Verrechnung des Warmwassers über die Wohnfläche erfolgt, eine nicht zu vernachlässigende Rolle.

Deshalb werden im Projekt drei Nutzerprofile in Anlehnung an (Edwards et al. 2015) entwickelt:

1. Haushalt mit Dusch- oder Badezeiten vorwiegend morgens.

Horw, 29. Februar 2016

Seite 44/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

2. Haushalt mit Dusch- oder Badezeiten vorwiegend abends.
3. Haushalt, bei dem sich der Verbrauch über den Tag annähernd gleichmässig verteilt.

Zudem wurde in Anlehnung an (Fink et al. 1999) aus dem Jahresmittelwert bei einer Bezugstemperatur von 60 °C ein Verbrauch in Litern pro Tag und Person abgeschätzt:

1. einfacher Standard: 20 Normliter pro Person
2. gehobener Standard: 40 Normliter pro Person
3. höchster Standard: 60 Normliter pro Person

In der Studie wurde ein Mix aus diesen Zapfprofilen gewählt. In Anlehnung an (Edwards et al. 2015) wurde eine Mischung mit 3/8 des Verbrauchs vorwiegend am Vormittag (VM-Profilen), 3/8 des Verbrauchs vorwiegend am Nachmittag (NM-Profilen) und 2/8 des Verbrauchs gleichmässig über den Tag verteilt (VT-Profilen) gewählt. Die genaue Zusammensetzung ist Tabelle 8 zu entnehmen.

Tabelle 8: Zusammensetzung des verwendeten Verbrauchsprofils

	20 Normliter	40 Normliter	60 Normliter
Vormittagsprofil (VM-Profil)	Whg. 1	Whg. 4	Whg. 7
Nachmittagsprofil (NM-Profil)	Whg. 2	Whg. 5	-
Profil über den Tage verteilt (VT-Profil)	Whg. 3	Whg. 6	Whg. 8

Warmwassertemperatur

Um einerseits die Wärmeverluste möglichst gering zu halten und andererseits einer Verkalkung bzw. einer Korrosion entgegenzuwirken, sollte die Warmwassertemperatur 60 °C generell nicht überschreiten. Die geltenden hygienischen Anforderungen, besonders in Bezug auf Legionellen, müssen jedoch eingehalten werden, da Legionellen im Temperaturbereich zwischen 25 °C und 50 °C stark vermehrungsfähig sind. Die Temperatur an der Entnahmestelle sollte zudem aus Komfortgründen 50 °C nicht unterschreiten.

In der vorliegenden Studie ist die Warmwassertemperatur an der Warmwasserentnahmestelle vom Versorgungskonzept abhängig.

Wenn Warmwasser in einem zentralen oder dezentralen Speicher gespeichert wird beträgt hygienebedingt die Zieltemperatur 60°C. Da die Warmwasserversorgungssysteme mit einer Hysterese von 5 K betrieben werden, ergibt sich eine durchschnittliche Austrittstemperatur um die 57.5 °C.

Bei der dezentralen Lösung mit DFE wird die Wärme heizungsseitig in einem Pufferspeicher gespeichert. Es wird so viel Warmwasser produziert wie verbraucht wird. Warmwasser wird nur in der Warmwasserverteilung gespeichert. Das Risiko der Legionellenvermehrung ist daher sehr gering. In der Simulation werden zwei Betriebsstrategien mit DFE untersucht: ein konservativer Ansatz, mit einer Zieltemperatur von 60 °C und ein energieoptimierter Ansatz mit 50 °C.

Warmwasserspeicher

In der Vergangenheit wurden in vielen Wohnungen standardweise Warmwasserspeicher mit einem Inhalt von 300 Liter installiert, damit es bei einer vierköpfigen Familie (Musterhaushalt mit gehobenen Ansprüchen) nicht zu Versorgungsengpässen kommt.

Dementsprechend wird in der Studie für den dezentralen Elektro-SPWE ein Volumen von 300 Litern angenommen. Bei den zentralen Versorgungslösungen beträgt das Volumen des Speichers, ob WWSP oder W-WS, 1000 Liter.

Speicherwärmeverluste

Im Modell wurde ein Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) für den SPWE und den WWSP mit $0.7 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ in Anlehnung an die Vorgaben von EN 12977-3 berücksichtigt.

Durchflusswassererwärmer

Bei dem DFE handelt es sich um ein kompaktes System aus einem aussenliegendem Wärmeübertrager und einer bedarfsgeregelten Umwälzpumpe, die das Heizwasser im Primärkreis so fördert, dass die Warmwasser-Austrittstemperatur (auf der Sekundärseite des Wärmeübertragers) den Sollwert von 60°C (Variante G55) resp. 55°C (Variante G50)⁸ einhält.

Wärmeverluste

Für die Wärmeverluste orientiert sich das Simulationsmodell an den Laborergebnissen aus Ruesch and Frank 2012.

Warmgehaltene Leitungen und Ausstossleitungen

Im Simulationsmodell werden die warmgehaltenen Leitungen gemäss der Vorgaben der SIA 385/2 gedämmt (siehe Tabelle 4). Hingegen werden die Ausstossleitungen nicht wärmegeklämmt, da aus hygienischen Gründen ein schnelles Abkühlen dieser Leitung auf Umgebungstemperatur anzustreben ist.

In der Variante mit zentraler Wärmeerzeugung und Speicherung (Variante B) werden die warm gehaltenen Leitungen (konventionelle Zirkulation) 24 Stunden am Tag betrieben. 24-Stundenbetrieb erfolgt ebenfalls in den Varianten G55 und G50, bei denen aber das zirkulierende Heizungswasser (VL- und RL-Leitungen) warm gehalten wird.

Heizkessel

Im Modell wird von einem Brennwertkessel (kondensierenden Öl-Heizkessel) ausgegangen, der, im alternierenden Betrieb, Wärme sowohl für die Raumheizung als auch für das Warmwasser bereitstellt. In Anlehnung an SIA 384/3 wurde ein Nutzungsgrad von 85% für beide Versorgungsarten gewählt.

⁸ Eine Warmwassertemperatur von 50°C ist kritisch in Bezug auf einen möglichen Befall mit Legionellen. Im vorliegenden Fall werden jedoch folgende Vorkehrungen getroffen: Leitungen werden nicht gedämmt oder warm gehalten, d.h. die Wassertemperatur in den Leitungen fällt innert 4 h unter die kritische Temperatur von 25°C ; Leitungen werden täglich komplett durchspült; und das Warmwasser wird nicht gespeichert.

Horw, 29. Februar 2016

Seite 46/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

Umwälzpumpen (Zirkulations- und Ladepumpen)

Das Pumpenmodell berechnet den Hilfsenergieverbrauch proportional zum angeforderten Durchfluss. Bei der Variante B wird die Primärladepumpe für die Schichtladung (auch MAGRO-Ladung genannt) mit 30 W angenommen, bei den Frischwasserstationen wird die drehzahlgeregelte Sekundärpumpe mit einer Nennleistungsaufnahme von 170 W angenommen. Die Zirkulationspumpe wird stetig, mit einem angenommenen Stromverbrauch von 8 W betrieben.

6.3.4. Versorgungskonzepte

In der Studie wurden die Warmwassersysteme nach verschiedenen Aspekten sortiert (s. Abbildung 27):

- Wird die bestehende Heizung weiter verwendet oder erneuert?
- Soll die Wärme heizungs- oder trinkwasserseitig gespeichert werden?
- Erfolgt die Warmwasseraufbereitung zentral oder dezentral?

Aus den sieben Fällen wurden vier hinsichtlich ihres zu erwartenden Sparpotenziales ausgewählt. Der Ist-Zustand (Variante A1), d.h. mit den dezentralen elektrischen SPWE, bildet dabei den Referenzfall. Bei der Variante G mit den dezentralen DFE wurden zwei Warmwassertemperaturen untersucht, damit der Einfluss der Senkung dieser Temperatur auf den Energiebedarf quantifiziert werden kann.

In den Varianten B* und G50* wurde ansatzweise und exemplarisch der Einsatz einer Wärmepumpe als Wärmeerzeuger behandelt (zusätzliche Bezeichnung mit *). Hierfür wurde der ermittelte Wärmebedarf aus den Varianten B1 bzw. G50 übernommen und anhand der COP-Werte in einen Endenergiebedarf mit elektrischem Strom als Energieträger umgerechnet.

Für die Untersuchung wurde einen Mix aus Verbrauchsprofilen, wie in Kap. 9.4 dargestellt, benutzt.

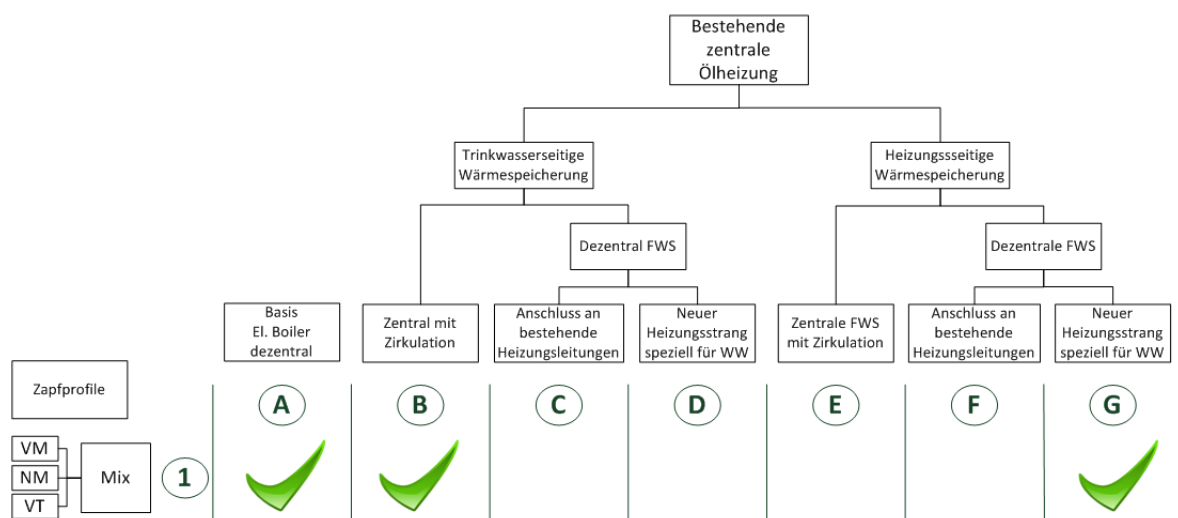


Abbildung 27: Systemmatrix für die Warmwasserversorgung im Geschossbau. Die grün markierten Varianten wurden in der Simulation untersucht. Dabei ist VM: „Verbrauch

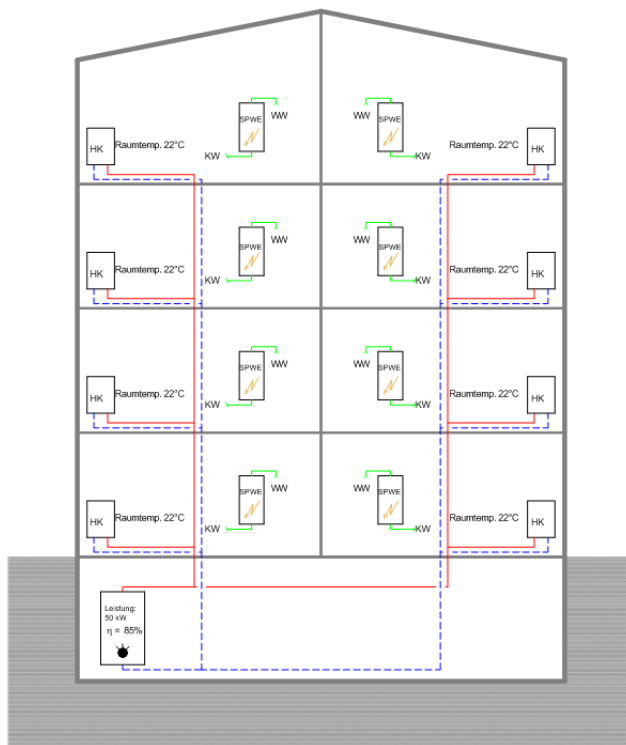
Horw, 29. Februar 2016

Seite 47/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

vorwiegend am Vormittag“; NM: „Verbrauch vorwiegend am Nachmittag“ und VT: „gleichmässig über den Tag verteilter Verbrauch“.

Variante A



- Zentraler Wärmeerzeuger mit Öl (Kesselleistung 50 kW, 20% Reserve, Wirkungsgrad 85%)
- Wärmeabgabesystem: Radiatoren Systemtemperatur 60/40 °C (VL/RL)
- Temperatur an der Entnahmestelle: 55 °C
- Pro Wohnung ein 300 Liter Elektro-SPWE, Soll-Temperatur: 60 °C, Hysterese: 5 K (mittlere Temperatur 57,5 °C)
- Keine warm gehaltenen Leitungen

Abbildung 28: das Referenzsystem, dezentrale Elektrowassererwärmer

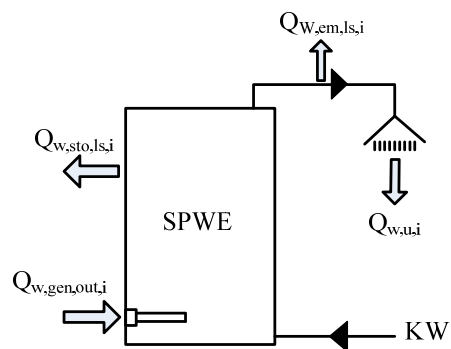


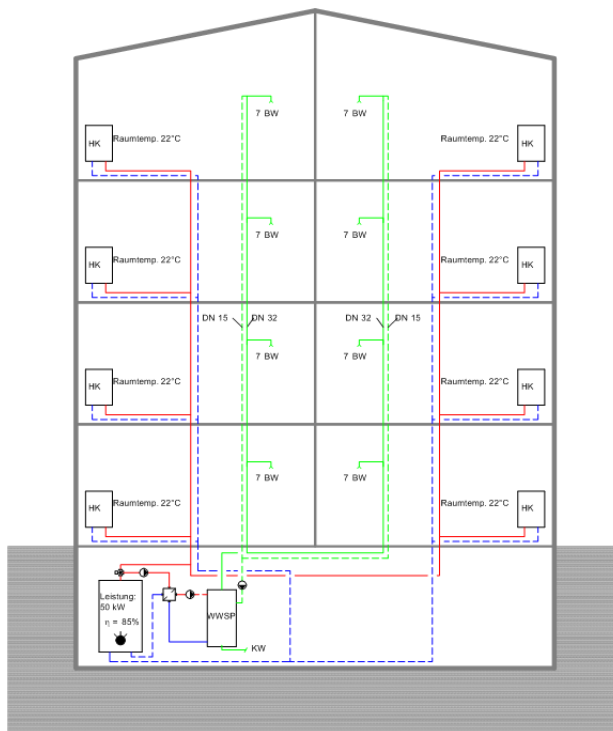
Abbildung 29: Energieflüsse am Beispiel eines dezentralen elektrischen Speicherwassererwärmers

Horw, 29. Februar 2016

Seite 48/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

Variante B



- Zentraler Wärmeerzeuger mit Öl (Kesselleistung 50 kW, 20% Reserve, Wirkungsgrad 85%)
- Wärmeabgabesystem: Radiatoren Systemtemperatur 60/40 °C (VL/RL)
- Warmwasserspeicher mit externer Ladung, 1000 l Inhalt
- Temperatur an der Entnahmestelle: 55 °C
- Warm gehaltene Leitung mit Zirkulation, Warmwassertemperatur am Wohnungsverteiler: 57.5 °C Warmwasserverteilung: DN40, Zirkulationsrücklauf: DN18

Abbildung 30: Variante B, zentrale Warmwasserversorgung mit Warmwasserspeicher mit externer Beladung und durch Zirkulation warm gehaltener Verteilung.

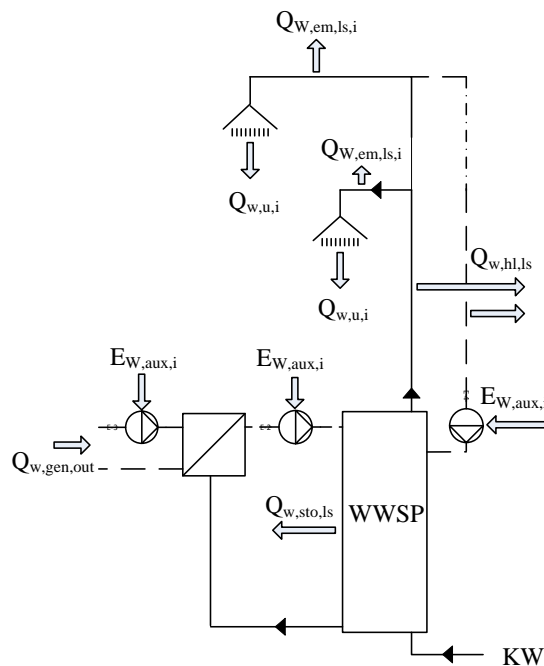


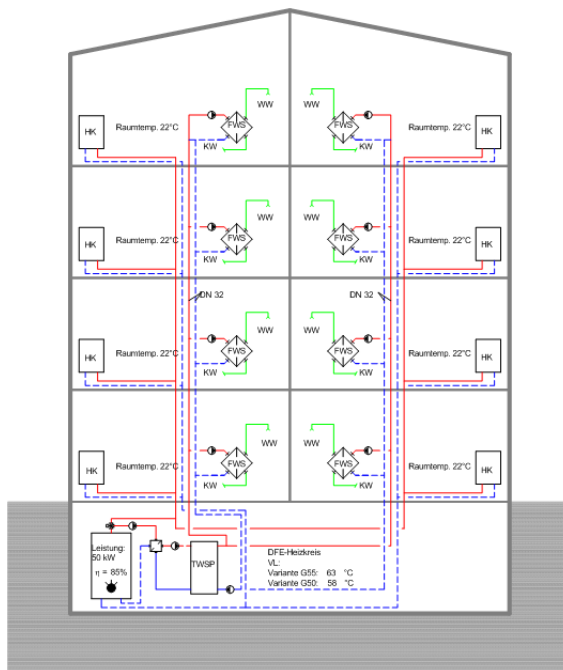
Abbildung 31: Energieflüsse der zentralen Warmwasserversorgung inklusive Zirkulation

Horw, 29. Februar 2016

Seite 49/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

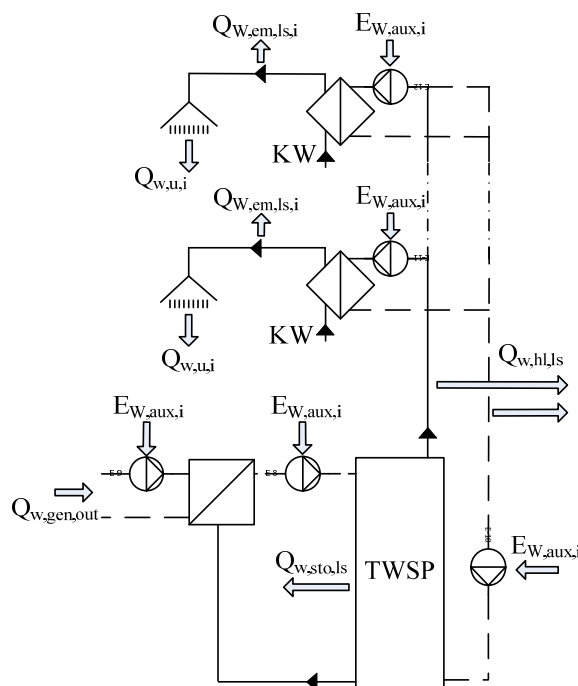
Variante G



Variante G55

- Zentraler Wärmeenergieerzeuger mit Öl (Kesselleistung 50 kW, 20% Reserve, Wirkungsgrad 85 %)
- Wärmeabgabesystem: Radiatoren Systemtemperatur 60/40 °C (VL/RL)
- Temperatur an der Entnahmestelle: 55 °C
- Durchflusswassererwärmer mit einer WW-Austrittstemperatur von 57.5 °C. (Heizungswasser-Eintrittstemperatur mindestens 61,5 °C)
- Keine warm gehaltenen Leitungen innerhalb der Warmwasserversorgung

Abbildung 32: die Variante G55, dezentraler Durchflusswassererwärme



Variante G50

- Zentraler Wärmeenergieerzeuger mit Öl (Kesselleistung 50 kW, 20% Reserve, Wirkungsgrad 85 %)
- Wärmeabgabesystem: Radiatoren Systemtemperatur 60/40 °C (VL/RL)
- Temperatur an der Entnahmestelle: 50 °C
- Durchflusswassererwärmer mit einer WW-Austrittstemperatur von 52 °C. (Heizungswasser-Eintrittstemperatur mindestens 56 °C)
- Keine warm gehaltenen Leitungen. Keine Warmwasserspeicherung und keine Dämmung der Ausstossleitungen⁹

Abbildung 33: Energieflüsse der Versorgungsanlage mit dezentralen Durchflusswassererwärmern

⁹ Ohne Speicherung des Warmwassers und ohne das Dämmen der Ausstossleitungen kann das Legionellenrisiko minimiert werden, da das Wasser in den Leitungen innert 4 h unter die kritische Marke von 25 °C fällt und somit unter die Temperatur, bei der die Legionellen vermehrungsfähig sind.

6.3.5. Modellvereinfachungen

Nicht berücksichtigt werden:

- **Hydraulische Aspekte:**
Im Pumpenmodell haben die wechselnden Druckverlustverhältnisse, d.h. Dreiwegventil, Ein-/Ausschalten Sekundärpumpen, etc., keinen Einfluss auf den Pumpenstromverbrauch. Dieser wird in der ganzen Simulation als konstant angenommen, vorausgesetzt die Pumpe läuft.
- **Wärmeverlust Verteilung Heizung:**
Die Leitungsverluste der Heizung, welche das aktive Wärmeabgabesystem (Radiatoren) versorgen, werden in der Simulation nicht berücksichtigt, d.h. weder an die Räume noch an die Umgebung abgegeben. Hingegen werden die Wärmeverluste der Heizungsleitungen, welche die DFE versorgen, berücksichtigt.
- **Heizkessel:**
Die Wärmeverluste des Heizkessels werden nicht an den Kellerraum abgegeben. Somit ist die Raumtemperatur im Keller unabhängig vom Betrieb des Kessels. Der Hilfsstrom für den Kessel, z.B. für die Steuerung, etc. wird nicht berücksichtigt.
- **Warmwasser-Ausstosswärmeverluste:**
Bei den Varianten A, B und G55 sind diese annähernd gleich gross, da das Zapfprofil und die Länge der Ausstossleitungen (vom Warmwasserverteiler bis zur Entnahmestelle) als einheitlich angenommen wurden. Nur bei der Variante G50 ist die Temperatur am Verteiler niedriger und somit sind die Ausstossverluste geringer. Um die Varianten G55 und G50 miteinander zu vergleichen werden die Ausstosswärmeverluste bei allen vier Varianten mit berücksichtigt.
- **Abhängigkeit des Zapfprofils von der Warmwassertemperatur:**
Bei der Variante G50 wurde die Temperatur am Verteiler tiefer gewählt, als in den anderen Varianten. Angenommen, dass die Mischtemperatur an der Armatur gleich bleibt (z. B. 40°C), erhöht sich die Menge an benötigtem Warmwasser proportional. Dies betrifft aber nicht die Kurzzapfungen (i.e. „kalte Zapfungen“). Kurzzapfungen fallen unterschiedlich an (s. Kap. 5.4.3). Aufgrund fehlendes Korrekturansatzes wurde der Nutzwarmwasserbedarf in G50 gleich gross angenommen, als die anderen Varianten. Demnach wurden in allen Varianten die gleichen Zapfprofile eingesetzt.
- **Wärmeabgabe durch Zapfungen in den Raum:**
Die Wärme aus der gezapften Warmwassermenge wird nicht an den Raum abgegeben, weder als Wasserdampf noch als Abwärme aus dem Abwasser.
- **Sperrzeiten bei der Stromversorgung:**
Der Elektrowassererwärmer wird nachgeladen, sobald die Hysterese unterschritten wird. Somit entsteht keinen eventuellen Engpass bei der Warmwasserversorgung, der Warmwasserbedarf wird jederzeit gedeckt.
- **Wärmeeintrag durch Anlagen und Geräte im Untergeschoss:**
Die Wärmeabgabe von Waschmaschinen, Tumbler, Heizung im Untergeschoss führt nicht zu einer Temperaturerhöhung im Keller.

Nutzenergie – Endenergie – Primärenergie - Treibhausgasemissionen

Berechnet werden die jährlichen Nutzenergien für Raumheizung und Warmwasser (Q_h und Q_{WW}), die jährlichen Endenergien für Heizung und Warmwasser ($E_{F,hWW}$) sowie den nicht erneuerbaren Primärenergieanteil. Der Endenergiebedarf für Heizöl ergibt sich aus dem Produkt des Wärmebedarfs $Q_{W,gen,out} + Q_{H,gen,out}$ mit dem Kehrwert des Nutzungsgrades des Wärmeerzeugers.

Der Nutzungsgrad des Brennwertkessels (kondensierenden Öl-Heizkessels) wird für alle Varianten als konstant 85% angenommen.

Die Gesamtbewertung erfolgt auf der Stufe der nicht erneuerbaren Primärenergien für Heizung und Warmwasser sowie der Treibhausgasemissionen.

Die Primärenergie ergibt sich durch Multiplikation der Endenergie für Heizung und Warmwasser ($E_{F,hWW}$) mit dem Primärenergiefaktor¹⁰. Dabei werden ausschliesslich die nicht erneuerbaren Energiequellen berücksichtigt. Die nicht erneuerbare Primärenergie quantifiziert den kumulierten Energieaufwand der fossilen und nuklearen Energieträger sowie Holz aus Kahlschlag von Primärwäldern.

Die berechneten Varianten werden bei der Systemgrenze „nicht erneuerbare Primärenergie-Wärme“ miteinander verglichen. Dabei sind sämtliche Energien berücksichtigt, welche für die Wärmeproduktion für Heizung und Warmwasser notwendig sind.

Weiter werden die Treibhausgase ausgewiesen, welche die Energieträger emittieren. Die Treibhausgasemissionen quantifizieren die kumulierten Wirkungen verschiedener Treibhausgase bezogen auf die Leitsubstanz CO₂.

Tabelle 9: Primärenergiefaktoren und Treibhausgasemissionsfaktoren für die Energieträger Heizöl und elektrischen Strom (Quelle: KBOB 2014)

Energie	Bezug		Primärenergie Nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgasemissionen [kg CO ₂ -eq.]
	Grösse	Einheit		
Brennstoffe				
Heizöl EL	Endenergie	[MJ]	1.2300	0.0827
Elektrizität vom Netz				
CH-Verbrauchermix	Endenergie	[MJ]	2.6300	0.0413

6.4. Ergebnisse

6.4.1. Hydraulik und Betriebsstrategie

Ziel des Projekts ist es, die Einbindung der Warmwasserversorgung in das bestehende Heizsystem des Hauses zu untersuchen. Der bereits vorhandene Heizkessel soll dabei

¹⁰ Die nicht erneuerbare Primärenergiefaktoren und Treibhausgasemissionen wurden aus den „Ökobilanzdaten im Baubereich“ Stand Juli 2014, gemäss KBOB, eco-bau und IPB, übernommen.

beibehalten werden, falls er genügend Heizleistung aufweist. Die zwei gewählten Vergleichsvarianten B und G stellen Versorgungssysteme dar, die eine Beanspruchung der gesamten Heizleistung zwecks Brauchwassererwärmung vorsieht. In der Zeit der Brauchwassererwärmung wird die Heizung im Haus „abgeschaltet“ (Alternativ-Schaltung).

Die Variante B, mit der zentralen Versorgung, sieht einen Warmwasserspeicher (WWSP) mit Ladesystem vor, der nach Unterschreitung eines Soll-Wertes von 55 °C nachgeladen wird. Während der Nachladung versorgt der Kessel ausschliesslich den WWSP und das aktive Wärmeabgabesystem (z.B. Radiator) wird in dieser Zeit „abgestellt“. Witterungsbedingt kann während dieser Zeit die Wohnungstemperatur unter den Sollwert von 22 °C sinken. Um diesen Versorgungsengpass zu vermeiden kann z.B. ein technischer Speicher für die Heizung eingesetzt werden. Dieser würde zwar Verluste verursachen, aber auch die Lastkurve glätten.

In den Varianten G55 und G50 erfolgt die Nachladung vom technischen Speicher (TWSP) vergleichbar. Sobald die untere Grenze der Hysterese des TWSP unterschritten wird, heizt der Kessel ausschliesslich diesen Speicher. Dies kann ebenso zu einer temporären Temperaturabsenkung in den Wohnungen führen. Auch hier könnte ein technischer Speicher für die Heizung Abhilfe leisten.

6.4.2. Nutzenergie und thermische Verluste der Warmwasserversorgung

In einem Warmwasserversorgungssystem können Wärmeverluste an drei Stellen entstehen: in der Speicherung ($Q_{W,sto,ls}$), der warm gehaltenen Leitungen ($Q_{W,hl,ls}$), und den Ausstossleitungen ($Q_{W,em,ls}$). Abhängig von der gewählten Versorgungsvariante befindet sich der Warmwasserspeicher bzw. der Wärmeübertrager in beheizten bzw. unbeheizten Räumen. Somit sind diese Wärmeverluste, abhängig vom Entstehungsort, für Heizzwecke nutz- oder nicht nutzbar.

In Abbildung 34 ist die Aufteilung des Wärmebedarfs der Warmwasserversorgung $Q_{W,gen,out}$ auf den Wärmebedarf des Warmwassers (Nutzenergie) Q_W und die einzelnen Wärmeverluste $Q_{W,ls}$ für die vier Varianten dargestellt. An der Entnahmestelle können von 63% (Referenzfall) bis zu 74% (Variante B) von der in das Warmwassersystem eingespeisten Energie als Wärme genutzt werden¹¹. Die restlichen Wärmeverluste werden auf die nutzbaren Wärmeverluste in Wohnungen, in nutzbare Ausstossverluste in Wohnungen $Q_{W,em,ls}$, in Speicherverluste im Keller $Q_{W,sto,ls}$ und in Zirkulationsverluste $Q_{W,hl,ls}$ in der Gebäudeerschliessung aufgeteilt.

¹¹ Schwentzek et al. 2011 berichten für ihre zentrale Warmwasserversorgung in einem Mehrfamilienhaus mit 12 Parteien von einem Nutzungsgrad von ca. 63% (techn. Anlagenverlust ausgenommen, s. Kap. 7.2.3). Die Ergebnisse divergieren aufgrund eines anderen Warmwasserverbrauches und Systemaufbaus sowie einer anderen Betriebsstrategie.

Horw, 29. Februar 2016

Seite 53/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

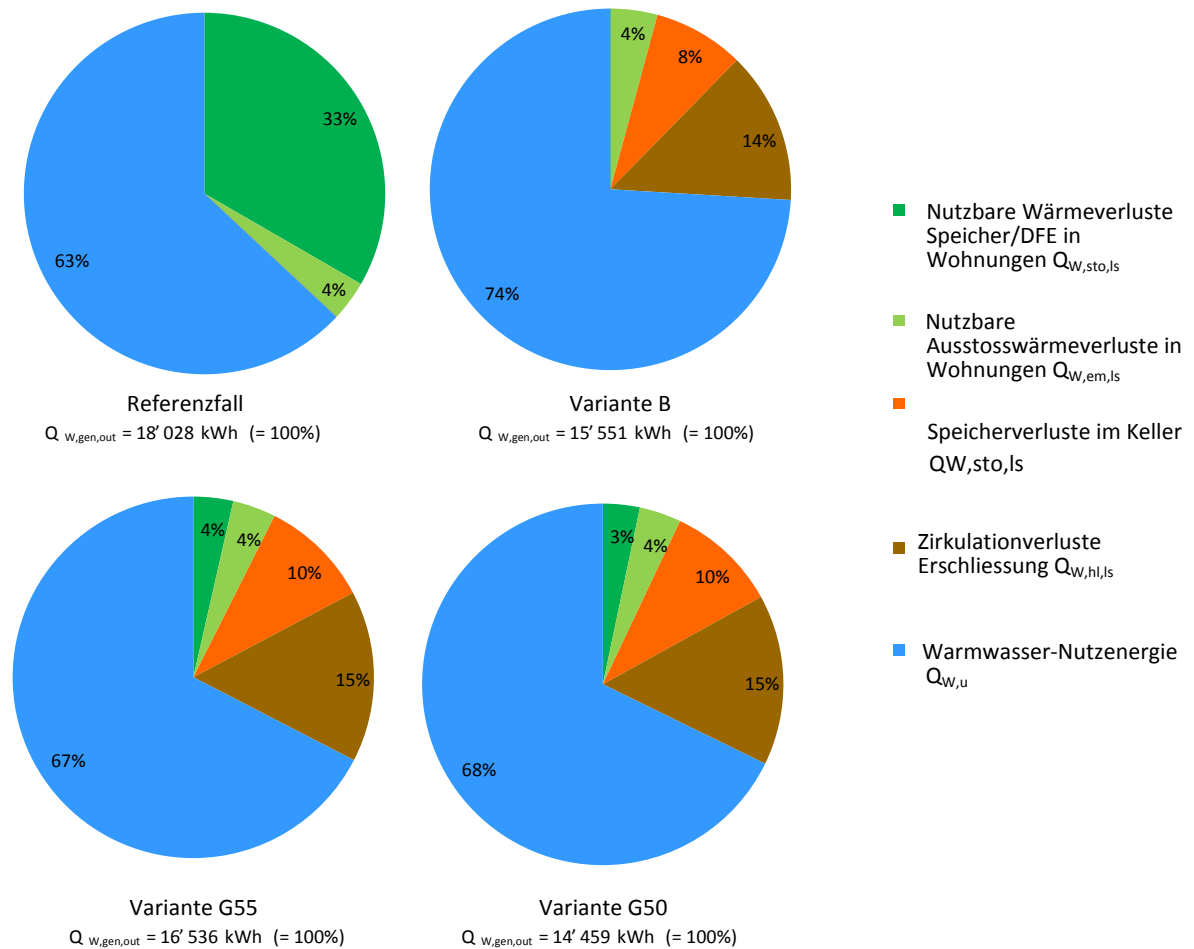


Abbildung 34: Aufteilung der in den WWS eingespeisten Wärmemenge in Nutzenergie und die verschiedenen Verlustarten für die vier Versorgungsvarianten. Angegeben ist zudem $Q_{W,gen,out}$, der Jahreswärmebedarf der Warmwasserversorgung, als Endenergie.

Abbildung 35 stellt die Simulationsergebnisse dar. Im Referenzfall befindet sich der Elektro-Warmwasserspeicher in der beheizten Wohnung. Die Speicherverluste tragen zur Senkung der Heizlast der Wohnung bei. In den Fällen G50 bzw. G55 wird die Heizlast durch die Verluste des DFE gesenkt.

Wenn sich der Warmwasserspeicher im unbeheizten Keller befindet, führen die Speicherverluste zur Erhöhung der Kellertemperatur und somit zur Senkung der Wärmetransmission zwischen den zwei untersten Wohnungen und dem Keller. Dies gilt aber nur für die Heizperiode. Ausserhalb der Heizperiode sind die Speicherverluste nicht nutzbar resp. nicht erwünscht. Dieser Beitrag ist in der Simulation ΔQ_T genannt.

Abbildung 34 verdeutlicht, dass der Referenzfall die Variante mit den höchsten Gesamtwärmeverlusten ist. Jedoch stehen die acht Elektro-SPWE in beheizten Räumen. Somit sind diese Verluste im Winter 100% nutzbar. Die Variante mit den höchsten, nicht brauchbaren Wärmeverlusten ist die Lösung mit DFE und einer Austrittstemperatur von 57.5 °C (Variante G55). Diese liegt absolut ca. 520 kWh/a (i.e. 20%) über der Variante B und 380 kWh/a (i.e. 15%) über der Variante G50. In der Variante G55 muss der Heizkessel durchschnittlich eine Temperatur von 62.0 °C bereitstellen, damit eine

Horw, 29. Februar 2016

Seite 54/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

Warmwassertemperatur von 55 °C an der Entnahmestelle gewährleistet wird (s. Abbildung 36). Bei der Variante G50 sind das nur noch 56,5 °C (Temperatur Entnahmestelle: 50 °C). Am geringsten sind die Verluste bei der Variante B. Dabei handelt es sich um ein WWSP mit externer Ladung und Temperaturschichtung. Die mittlere Speichertemperatur (über allen Temperaturschichten) beträgt lediglich 52 °C.

Auch die Wärmeverluste der warm gehaltenen Leitungen sind aufgrund ihrer Rohrdimension unterschiedlich: Im Fall B hat die Verteilleitung einen Aussendurchmesser von 40 mm für die Zuleitung und 18 mm für den Zirkulationsrücklauf¹². In den Varianten G50 und G55 haben Vor- und Rücklauf des Heizkreises einen Aussendurchmesser von 40 mm und somit eine grössere Wärmeaustauschfläche mit der Umgebung.

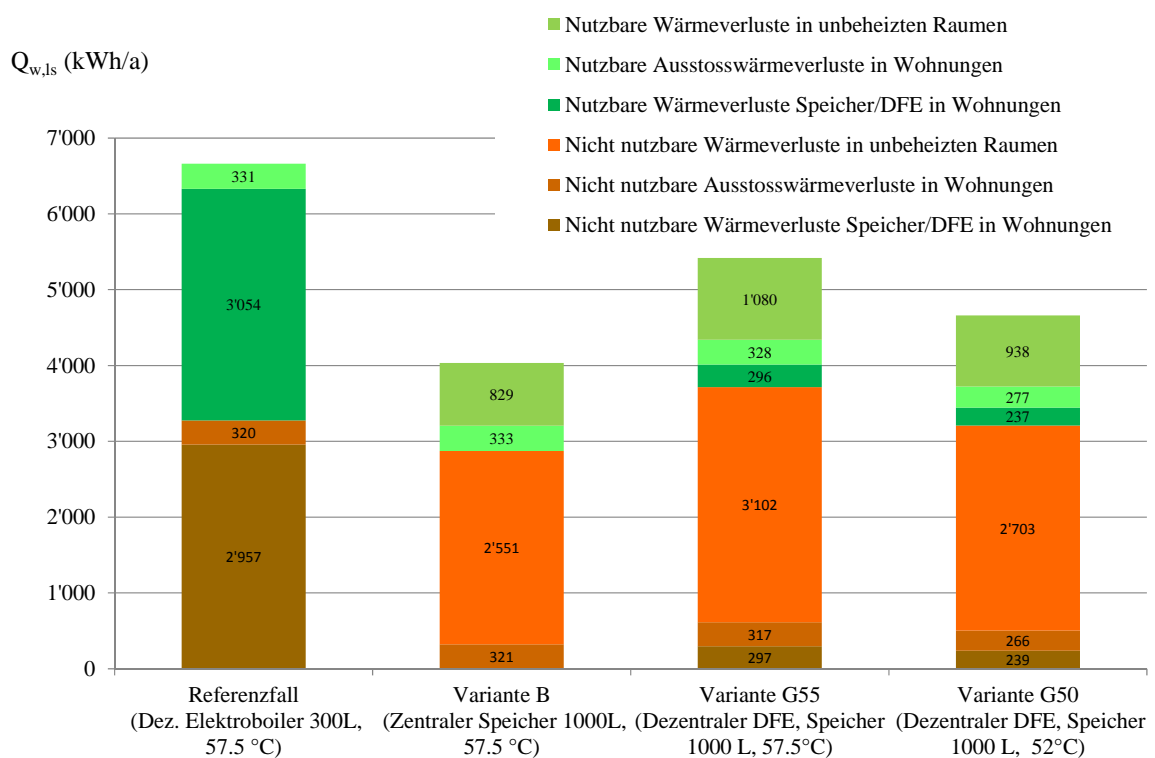


Abbildung 35: Wärmeverluste der Warmwasserversorgung $Q_{w,ls}$. Abhängig vom Entstehungsort sind diese Wärmeverluste für Heizzwecke nutzbar oder nicht nutzbar (unbeheizte Räume oder Verluste entstehen ausserhalb der Heizmonate).

¹² Diese Rohrdimensionen wurden so ausgewählt, damit die Zirkulationsrücklauftemperatur maximal um 5 K niedriger liegt als die Vorlauftemperatur.

Horw, 29. Februar 2016

Seite 55/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

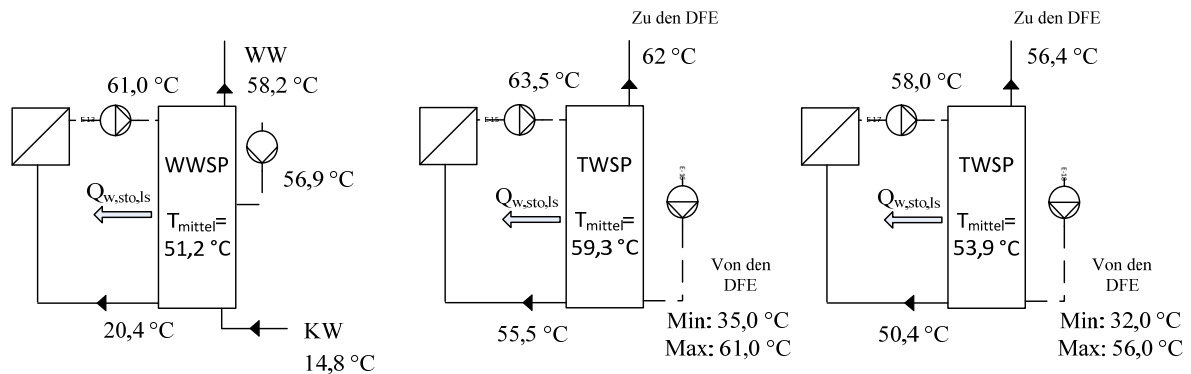


Abbildung 36: Mittlere Jahrestemperaturen beim Speichereintritt und Speicheraustritt für die Variante B (links), G55 (Mitte) und G50 (rechts), zwecks Veranschaulichung der Unterschiede bei den Wärmeverlusten. In allen Fällen handelt es sich um ein Schichtenspeichermodell.

6.4.3. Endenergiebedarf Heizung und Warmwasser

Die Analyse des Endenergiebedarfs zeigt wie hoch der Bedarf für die Energieträger Heizöl und Elektrizität¹³ ist (s. Tabelle 10).

Der Endenergiebedarf an Heizöl errechnet sich aus dem Heizwärmebedarf $Q_{H,gen,out}$ und, Szenarien abhängig, aus dem Wärmebedarf für die Warmwasserversorgung $Q_{W,gen,out}$. Der Kesselnutzungsgrad wurde mit 85% angenommen. Wird das Brauchwasser mit dem Heizkessel erwärmt erhöht sich, inkl. Verluste, der Endenergiebedarf „Wärme aus Heizöl“¹⁴ im Durchschnitt um ca. 23% (+22 MWh/a).

Der Endenergiebedarf an elektrischem Strom errechnet sich aus dem Hilfsenergiebedarf für die Warmwasserversorgung und, Szenarien abhängig, aus dem Energiebedarf für Warmwasser $Q_{W,gen,out}$. Die Hilfsenergie $E_{W,aux}$ umfasst den Strombedarf von allen Umwälzpumpen, die für die Speicherbeladung, die Wärmeversorgung der DFE sowie die Warmhaltung nötig sind. Wird das Brauchwasser elektrisch erwärmt benötigen die acht dezentralen elektrischen Wassererwärmer (Variante A – Referenzfall), inkl. Verluste, 18 MWh/a.

Der Heizenergiebedarf für Heizung $Q_{H,gen,out}$ des Gebäudes schwankt in den verschiedenen Szenarien, je nach nutzbaren Verlusten aus Speicher, Warmhaltung und Ausstossverlusten. Je nach Szenario fallen diese höher (z.B. 272 kWh/a – Variante G55) oder niedriger (z.B. 116 kWh/a – Variante B) aus.

¹³ Der Hilfsenergiebedarf für die Raumheizung wurde in die Berechnung nicht mit einbezogen, da dieser bei allen vier Varianten gleich ist.

¹⁴ Im Gegensatz zu „Wärme aus elektrischem Strom“

Horw, 29. Februar 2016

Seite 56/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

Tabelle 10: Endenergiebedarf der vier gewählten Versorgungsvarianten. Es wird zwischen den Energieträgern Heizöl und Elektrizität unterschieden.

Variante	Heizöl			Elektrizität		
	Endenergie Heizen/WW ¹	Energiebedarf Heizen	Energiebedarf Warmwasser	Total	Energiebedarf Warmwasser	Hilfsenergie WW
	$E_{F,hww}$ [kWh]	$Q_{H,gen,out}$ [kWh]	$Q_{W,gen,out}$ [kWh]	$E_{F,El}$ [kWh]	$Q_{W,gen,out}$ [kWh]	$E_{W,aux}$ [kWh]
Referenzfall (dez. Elektroboiler 300L)	94'363	80'209	0	18'028	18'028	0
Variante B (Zentraler Speicher 1000L 57.5 °C)	116'098	83'132	15'551	116	0	116
Variante G55 (Dezentraler DFE 57.5 °C)	115'989	81'955	16'636	272	0	272
Variante G50 (Dezentraler DFE 52 °C)	114'034	82'470	14'459	259	0	259

¹ Nutzungsgrad Kessel: 85%

6.4.4. Primärenergiebedarf Heizung und Warmwasser

Um den Gesamtenergiebedarf für Heizung und Warmwasser für die vier Varianten zu berechnen wurde das Konzept des Primärenergiebedarfs herangezogen. Mit diesem Verfahren ist es möglich Wärmebedarf aus Heizöl und elektrischem Strom direkt miteinander zu vergleichen. Dabei wird nur der Anteil der nicht erneuerbaren Energie berücksichtigt.

Abbildung 37 stellt den Jahres-Primärenergiebedarf für Heizung und Warmwasser für eine Überbauung mit acht Wohneinheiten für das Jahr 2014 dar. Die Primärenergiezahlen ergeben sich aus dem Endenergiebedarf (s. Tabelle 10), korrigiert mit dem Primärenergiefaktor für das Jahr 2014 (s. Tabelle 9).

Aus Sicht des Primärenergieeinsatzes schneidet die Variante G50 knapp vor der Variante G55 und der Variante B am besten ab. Der höchste Primärenergieverbrauch weist die Referenzvariante mit den dezentralen Elektrowassererwärmern auf. Der Unterschied liegt bei ca. 12%.

Horw, 29. Februar 2016

Seite 57/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

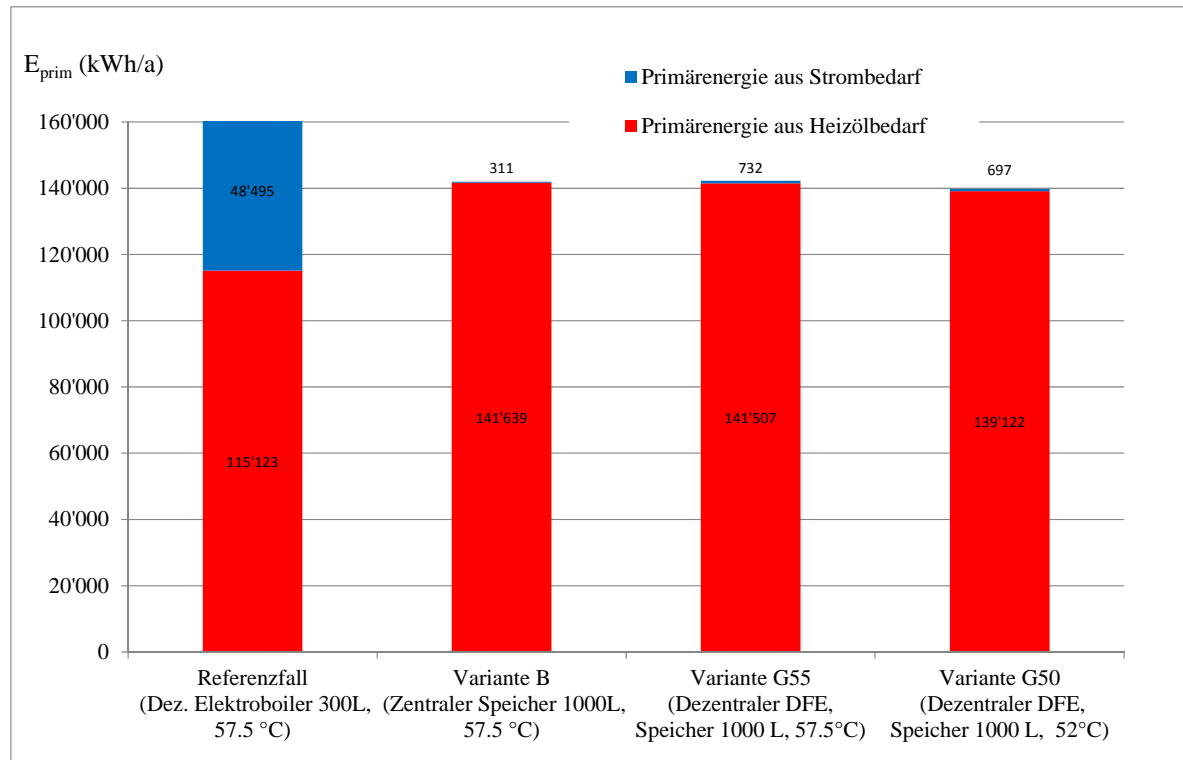


Abbildung 37: Übersicht des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs für Heizung und Warmwasser vom simulierten Wohnhaus mit acht Wohneinheiten im Jahr 2014 nach KBOB 2014

6.4.5. Treibhausgasemissionen

Ähnlich wie beim Primärenergiebedarf lassen sich die Treibhausgasemissionen aus dem Endenergiebedarf für Heizöl und elektrischen Strom durch das Produkt mit dem CO₂-Korrekturfaktor (s. Tabelle 9) errechnen.

Abbildung 38 zeigt die Ergebnisse mit den CO₂-Faktoren für das Jahr 2014. Die geringsten Emissionen liegen beim Referenzfall vor, mit den höchsten die Variante G50. Die Differenzen sind jedoch sehr gering (weniger als 1% des Bezugswertes).

Horw, 29. Februar 2016

Seite 58/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

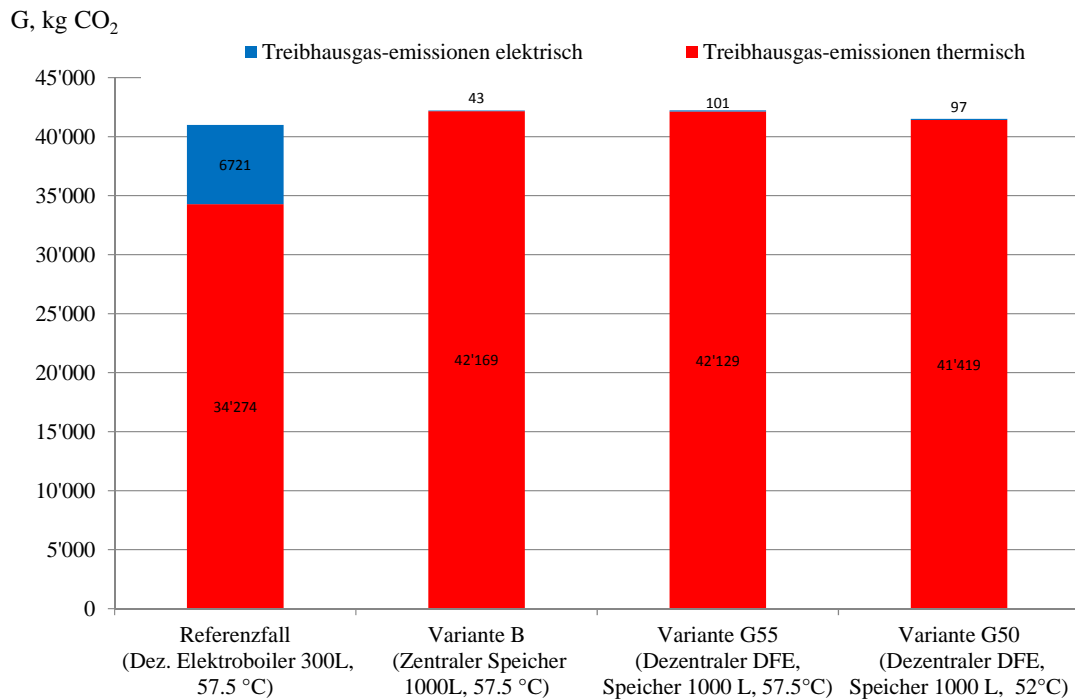


Abbildung 38: Treibhausgasemissionen in CO_{2-eq} für die Überbauung mit 8 Wohnungen nach KBOB aus dem Jahr 2014

6.4.6. Hilfsenergiebedarf

Tabelle 11: Hilfsenergiebedarf für die Warmwasserversorgung, nach Versorgungsvariante sortiert.

	Hilfsenergie WW
Variante	E _{W,aux} [kWh]
Referenzfall (dez. Elektroboiler 300L)	0
Variante B (Zentr. Speicher 1000L 57.5 °C)	116
Variante G55 (Dezentraler DFE 57.5°C)	272
Variante G50 (Dezentraler DFE 52°C)	259

Für den Betrieb der Warmwasserversorgung sind in manchen Varianten Umwälzpumpen notwendig. Diese sichern die Warmhaltung der Leitungen entweder durch Zirkulation des

Warmwassers im Leitungssystem oder durch ständige Versorgung der DFE mit Heizungswasser. Die Antriebsenergie für diese Umwälzpumpen fliesst in die Kennzahl „Hilfsenergie“ mit ein.

Tabelle 11 zeigt den Hilfsenergiebedarf, je nach Versorgungsvariante. Im Referenzfall sind keine Umwälzpumpen im Einsatz, da sich der SPWE direkt in den Wohnungen befindet. In der Variante B handelt es sich bei dem Hilfsenergiebedarf um zwei bedarfsgeregelte Ladepumpen sowie um eine Zirkulationspumpe, die täglich 24 Stunden betrieben wird (s. Abbildung 31). In den Varianten G50 und G55 handelt es sich um eine bedarfsgeregelte Umwälzpumpe für die Versorgung der DFE (s. Abbildung 32).

Die Variante B benötigt etwa die doppelte Menge Hilfsenergie als die mit den dezentralen DFE. Der Grund hierfür ist im Zirkulationsvolumenstrom für die Warmhaltung zu finden. Aufgrund der grösseren Rohrweite muss in den Varianten G50 und G55 etwa die doppelte Menge an Heizungswasser zirkuliert werden (Näheres in Kap. 6.4.2).

6.5. Diskussion

6.5.1. Hilfsenergie und energetische Effizienz

Für die Varianten B, G50 und G55 ist Pumpenenergie für den Betrieb der Anlage (Speicherladung oder Wärmeversorgung der DFE) sowie für die Warmhaltung der Verteilung nötig. Als Antriebsenergie für die Umwälzpumpen dient elektrischer Strom. Um den Strombedarf zu reduzieren werden die Umwälzpumpen bedarfsgerecht, also temperaturgeführt bzw. gemäss einem vordefinierten Fahrplan betrieben.

Laut Tabelle 11 liegt der maximale Hilfsenergiebedarf bei 270 kWh jährlich. Im Vergleich zum Wärmebedarf für die Warmwasserversorgung ($Q_{W,gen,out}$ ca. 18'000 kWh/a) fällt dieser relativ gering aus.

Auch im Vergleich zu den gesamten Wärmeverlusten der Warmwasserversorgung $Q_{W,sto,ls} + Q_{W,em,ls} + Q_{W,hl,ls}$ (zw. 4000 und 5500 kWh/a) fällt der Hilfsenergiebedarf relativ klein aus (s. Tabelle 15).

6.5.2. Energieverbrauch und Warmwassertemperatur

In Mehrfamilienhäusern ist ein hygienischer Betrieb der Warmwasserversorgung stets zu gewährleisten um die Gesundheit der Nutzer nicht zu gefährden (SIA 385/1). Um einen Legionellenbefall zu verhindern sind folgende Massnahmen einzuhalten:

- Trinkwasser, das bei einer Temperatur von 25 °C bis 50 °C während mehr als 24 Stunden nicht genutzt wird, muss thermisch desinfiziert, d.h. während einer Stunde auf 60 °C erwärmt werden.
- Der Warmwasserspeicher ist so auszulegen, dass Austrittstemperaturen von 60 °C und Zirkulationsrücklauftemperaturen von 55 °C erreicht werden können.

Mit der Variante G50 wählte man ein DFE bei der eine WW-Austrittstemperatur von 52°C und somit eine Temperatur von 50 °C bei den Entnahmestellen resultiert. Bei 50 °C ist der Nutzerkomfort allgemein gewährleistet¹⁵. Zudem kann dank dem dezentralen DFE auf eine Warmwasserspeicherung komplett verzichtet werden und eine regelmässige

¹⁵ Spülen erfolgt i.d.R. bei max. 40 °C, Duschen bei max. 37 °C.

Desinfektion des Warmwassersystems ist nicht erforderlich. Abbildung 37 zeigt aber, dass die Primärenergieeinsparung minimal ausfällt (weniger als 1% gegenüber Fall G55). Auch bei den Treibhausgasemissionen und brauchbaren Wärmeverlusten ist die Differenz sehr niedrig. Wird beim Einsatz von DFE die Wärme mit einem Wärmeerzeuger erzeugt, welcher hohe Temperaturen problemlos erreicht werden können (z.B. Holzfeuerung, Fernwärme, fossile Brennstoffe), ohne dass der Nutzungsgrad sich massiv verschlechtert, ist ein DFE so auszulegen, dass die geforderten Temperaturen gemäss der SIA 385/1 eingehalten werden. Aus hygienischen Überlegungen macht es keinen Sinn, diese Temperaturen weiter zu senken. Eine Temperaturreduktion macht aus energetischen Überlegungen erst dann Sinn, wenn die Wärmepumpentechnik (WP) eingesetzt wird. Durch die Temperaturreduktion kann bei WP bei einem besseren COP (Coefficient of Performance) betrieben werden, dadurch wird der Endenergiebedarf für das Warmwasser reduziert.

6.5.3. Alternativen bei der Wärmeerzeugung

Als zentrale Annahme in der Studie war eine zentrale Wärmeerzeugung auf Basis eines Brennwertkessels (kondensierender Öl-Heizkessel). Sollte im Rahmen der Modernisierungsarbeiten nicht nur die Warmwasserversorgung ersetzt werden, sondern auch der Wärmeerzeuger, könnte ein effizienteres Heizgerät die Ergebnisse wesentlich beeinflussen.

Um die Potentiale exemplarisch aufzuzeigen, wurde der Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser mit folgenden Annahmen neu berechnet:

- Zentrale WP für Heizung und Warmwasser, mit fallweise zentraler WWSP (Variante B*) oder dezentralen DFE (Variante G*)
- Raumheizung mit Jahresarbeitszahl JAZ = 3.0 (vgl. SIA 384/3)
- Brauchwassererwärmung mit JAZ = 2.6 (vgl. SIA 384/3)

Die numerischen Ergebnisse sind in Tabelle 16 zu finden. Der resultierende nicht erneuerbare Primärenergiebedarf wurde in Abbildung 39 dargestellt, die Treibhausgasemissionen in Abbildung 40.

Dank der Effizienzsteigerung kann der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf im Durchschnitt um 44% gegenüber dem Referenzfall gesenkt werden. Der Einsatz von dezentralen DFE mit einer Entnahmetemperatur von 50°C bewirkt eine kaum relevante Senkung von ca. 3% gegenüber dem zentralen WWSP mit WP.

Im Bereich Treibhausgasemissionen sind Senkungen im Bereich 70% gegenüber dem Referenzfall zu erwarten. Die Umstellung auf dezentrale Lösung mit reduzierter Temperatur bewirkt eine Senkung um 3% in Bezug auf den Referenzfall.

Eine Effizienzsteigerung bei der Wärmeerzeugung durch z.B. eine WP kann eine doppelt so hohe Reduktion an nicht erneuerbarer Primärenergien bewirken, als die Umstellung von dezentraler auf zentrale Warmwasserversorgung mit dem Energieträger Heizöl. Bei den Treibhausgasemissionen könnte es sogar 70% sein.

Horw, 29. Februar 2016

Seite 61/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

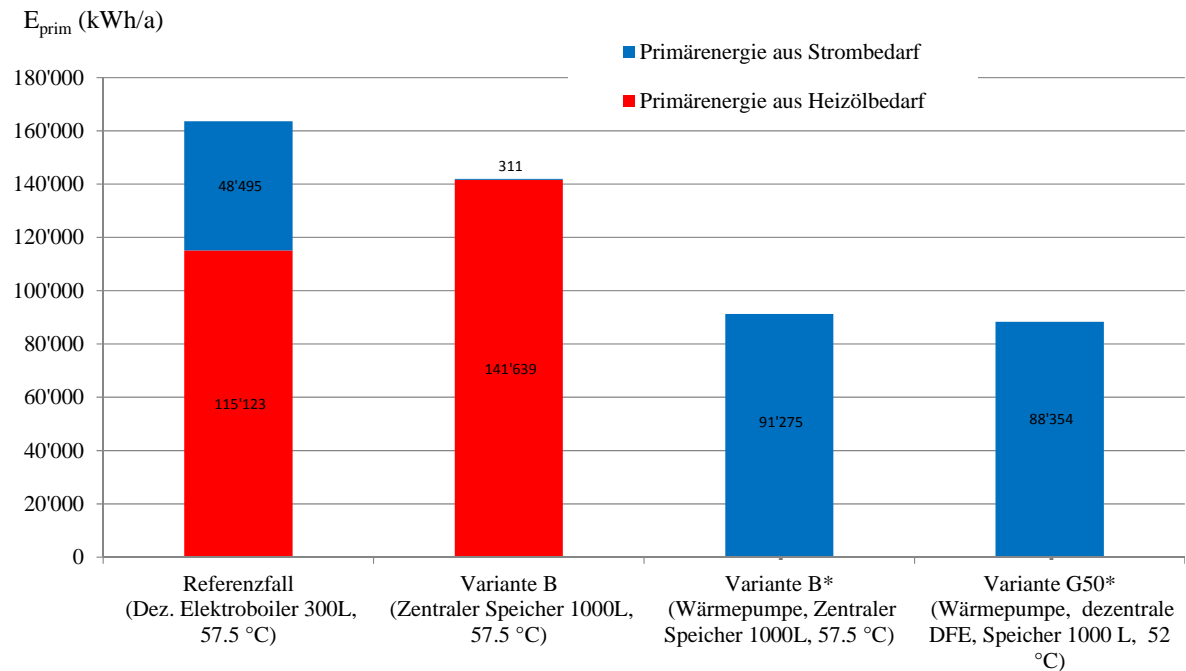


Abbildung 39: nicht erneuerbar Primärenergiebedarf für die Strom- und Wärmebereitstellung bei vier Versorgungskonzepten

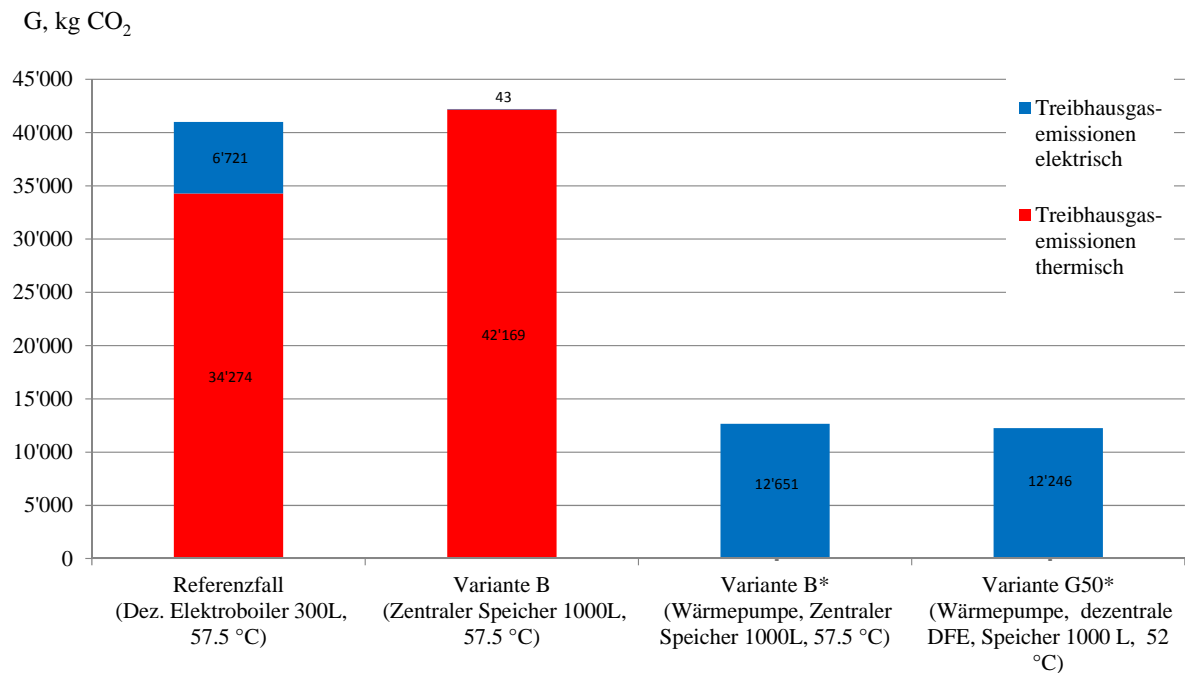


Abbildung 40: Treibhausgasemissionen (in CO₂-eq) für die Strom- und Wärmebereitstellung bei vier Versorgungskonzepten

6.5.4. Nutzerakzeptanz

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Erneuerung der Warmwasserversorgung ist die Beeinträchtigung des Nutzers durch die Umbauarbeiten. Beim Einbau einer zentralen Warmwasserversorgung wird das komplette Gebäude für den Zeitraum der Sanierung quasi unbewohnbar. Hingegen werden bei einer wohnungsweisen Erneuerung der Elektro-SPWE Mieteinbussen für den Vermieter umgangen. Zudem hat die dezentrale SPWE-Lösung den Vorteil, dass die Abrechnung für die Bereitstellung von Warmwasser dezentral über den Stromzähler in jeder Wohnung bedarfsgerecht erfolgt. Somit zahlt der Nutzer bei einer solchen Lösung nur die wohnungsspezifische Energie für die von ihm benötigte Warmwassermenge und nicht für die Wärmeverluste, die beim Transport von der Erzeugerzentrale zur jeweiligen Wohnung auftreten.

6.5.5. Ausblick

Für die Senkung des Wärmebedarfs für Warmwasser hat die Studie zwei Ansätze vorgeschlagen. Zum einem durch die Senkung der Wärmeverluste der warm gehaltenen Leitungen. Zum anderen durch Effizienzsteigerung bei der Wärmeerzeugung, z.B. durch Einbezug von erneuerbarer Energie. Nachfolgend werden technische Lösungen erläutert, welche in Sanierungen von Wohnungsbauten eingesetzt werden können. Dabei wird zwischen zentraler und dezentraler Wassererwärmung unterschieden.

Zentrale Lösung

Sollte sich der Bauherr im Rahmen einer Sanierung für eine zentrale Wassererwärmungsanlage entscheiden, sollten die Wärmeverluste von warm gehaltenen Leitungen mit erneuerbarer Energie gedeckt werden. Dies könnte mit Solarthermie erfolgen (siehe Abbildung 41). Dabei wird der zentrale Speicher von einer solarthermischen Anlage geladen. Aus wirtschaftlichen Überlegungen kommen in solchen Situationen keine saisonalen Wärmespeicher in Frage. Deshalb wird eine Zusatzheizung benötigt, welche während der solaren Unterdeckung die notwendige Wärme bereitstellt. Die Wahl dieser Zusatzheizung orientiert sich an den vor-Ort verfügbaren Energieträgern (Gas, Heizöl, Holz, Ökostrom). Abhängig der örtlichen Gegebenheiten kommen als Wärmeerzeuger zahlreiche Lösungen in Frage, wie z.B. eine Wärmepumpe (mit elektrischem Strom oder Erdgas als Antriebsenergie), ein Blockheizkraftwerk (welches neben Wärme auch Strom bereitstellt), ein Brennwertkessel, usw.

Einer internationalen Studie zufolge können in den Wintermonaten, bei denen im Solarspeicher eine Unterdeckung herrscht, hygienische Probleme auftauchen [Estif 2013]. Deshalb wäre aus hygienischer Sicht eine heizungsseitige Wärmespeicherung mit Frischwasserstation zu empfehlen. Rein energetisch betrachtet, wäre aber ein zentraler Warmwasserspeicher eine genauso gute Lösung (s. Abbildung 39). Der solare Deckungsgrad ergibt sich primär aus der Übereinstimmung der drei Parameter: Grösse des Kollektorfelds, Speichervolumen, Bedarfsprofil. Abhängig, ob die solarthermische Anlage auch für die Raumheizungsunterstützung vorgesehen ist, ist ein solarer Deckungsgrad zwischen 30% bis 70% wirtschaftlich in der Schweiz erzielbar [Swissolar 2016].

Dezentrale Lösungen

Ähnlich zu den zentralen Lösungen können dezentrale Systeme den ökologischen Fussabdruck reduzieren, indem sie ihren Energiebedarf grossteils mit erneuerbaren Energien decken. Mit sogenannten „Wärmepumpenboilern“ wäre dies möglich.

Wärmepumpenboiler könnten in jeder einzelnen Wohnung z.B. anstelle des elektrischen SPWE aufgestellt werden. Als Verdampfungswärme beziehen diese die Wärme aus der Raumluft (Raumluftwärmepumpe, s. System 1 in Abbildung 42) oder aus der Aussenluft (Split-Wärmepumpe mit aussenliegendem Verdampfer, s. System 2 in Abbildung 42). Eine weitere Möglichkeit wäre, die Verdampfungswärme aus dem Heizungsrücklauf zu beziehen (Heizungsrücklauf-Warmwasser-Wärmepumpe, s. System 3 in Abbildung 42).

Durch den Einsatz von Ökostrom (z.B. selbsterzeugter PV-Strom oder eingekaufter Grünstrom) kann die Primärenergiebilanz der Wärmepumpe weiter verbessert werden.

Einzelversorgung

Um Verteil- und Ausstosswärmeverluste weitgehend zu vermeiden soll die Wassererwärmung möglichst nahe am Entnahmepunkt erfolgen. Auf dem Markt werden für Einzelversorgungen mehrheitlich elektrische Durchlauferhitzer angeboten. Bereits bei einem Handwaschbecken kann aber die Leistungsaufnahme sehr gross sein. Um die Leistungsaufnahme zu reduzieren wählt man ein System mit einem kleinen, sehr gut gedämmten Speicher (z. B. 5 Liter Untertischspeicher im Fall eines Waschtisches). Das Gerät kann an eine Steckdose angeschlossen werden. Dank der kurzen Wege sind die Ausstossverluste praktisch null, was sich insbesondere für Entnahmestellen, bei denen öfters kleinste Mengen gezapft wird, als sehr wertvoll erweist. Für das Baden könnte weiter ein grösserer elektrischer SPWE verwendet werden, der mit Überschussstrom (z.B. Nachtstrom) oder Ökostrom versorgt wird.

Horw, 29. Februar 2016

Seite 64/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

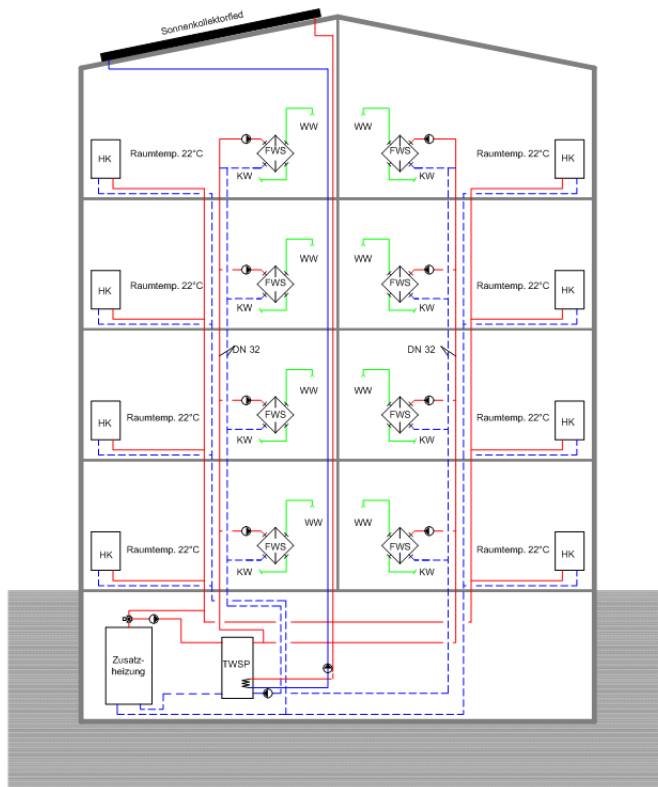
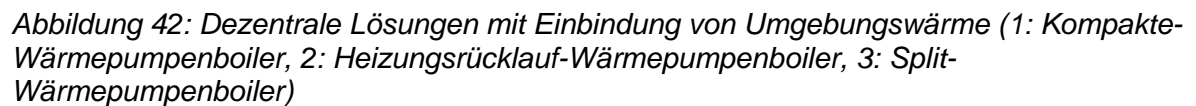


Abbildung 41 Bivalente Anlage am Beispiel einer zentralen Sonnenkollektoranlage mit dezentraler Frischwasserstation



	Vorteile	Nachteile
Zentrale Sonnenkollektoranlage mit Frischwasserstation	<ul style="list-style-type: none"> • Solarer Deckungsgrad (üblich 30% bis 50%) • Hygienekonform dank z.B. DFE • Geringere Energiekosten dank Solarerträge • Bewährte Technik 	<ul style="list-style-type: none"> • Benötigt eine geeignete Aufstellfläche • Installationsaufwand (Solaranlage und Warmwasserverteilnetz)

Horw, 29. Februar 2016

Seite 66/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

Raumluft-Wärmepumpenboiler (Kompaktgerät)	<ul style="list-style-type: none"> • Einfache Installation dank ähnlicher Dimensionen und Anschlüsse wie bei einem direkt Elektro-SPWE • Entfeuchtungsfunktion der Raumlucht • COP soll über 3 sein (s. SIA 385/1) 	<ul style="list-style-type: none"> • Wärmediebstahl • Anforderung an den Aufstellraum (Raumvolumen: ca. 20 m³) • Schallpegel • Wegen Komfort, muss abgeschaltet werden, wenn Raum (z.B. Bad) benutzt wird • Kondenswasseranschluss • Unterhalt: Reinigung Luftkanäle und Verdampfer • Gesamteffizienz hängt von der Effizienz der Heizung ab
Aussenluft-Wärmepumpenboiler (Split-Gerät)	<ul style="list-style-type: none"> • Einfache Installation dank ähnlicher Dimensionen und Anschlüsse wie bei einem direkt Elektro-SPWE • Erneuerbare Energiequelle 	<ul style="list-style-type: none"> • Wandbohrungen und Installation an der Fassade der Verdampfereinheit • Kondenswasseranschluss • Schallpegel innen und/oder aussen
Heizungsrücklauf-Wärmepumpenboiler	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensionen und Anschlüsse ähnlich wie bei einem direkt Elektro-SPWE • Während den Sommermonaten können kleine Wärmelasten abgeführt werden 	<ul style="list-style-type: none"> • Anschluss an einen permanent geöffneten Heizkreis • Erhöhung der Heizlast der Heizung, z. B. im Winter • Wärmequelle muss permanent vorhanden sein • Gesamteffizienz hängt von der Effizienz der Heizung ab
Direkt-elektrische Einzelversorgung (Durchlauferhitzer)	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Verteilverluste • Vernachlässigbare Ausstossverluste 	<ul style="list-style-type: none"> • Z. T. hohe Anschlussleistung • Temperaturregelbarkeit
Direkt-elektrische Einzelversorgung (Untertisch-Elektro-SPWE)	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Verteilverluste • Vernachlässigbare Ausstossverluste 	<ul style="list-style-type: none"> • Speicherverluste • Platzbedarf • Kleines Speichervolumen • Wartung

6.6. Fazit

Die Motivation des Projekts war die Auffassung, dass die dezentralen elektrischen SPWE, aufgrund der direkt elektrischen Beheizung, ausgedient haben. Somit sind sie durch eine effizientere und realisierbare Lösung zu ersetzen. Zudem war beim Projektantrag eine Verschärfung der MuKE angekündigt worden, bei der der Einsatz von Strom für die Direkt-Beheizung von Brauchwarmwasser ab 2015, mit einer Umsetzungsfrist von 10 Jahren, verboten wurde.

Horw, 29. Februar 2016

Seite 67/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

Mit einem Simulationswerkzeug wurde das Sparpotenzial an Energie- und Treibhausgasen evaluiert. Hierfür wurde die Ist-Situation als Referenz genommen. Zwei realisierbare Ersatzlösungen wurden untersucht und mit der Referenz hinsichtlich des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs und der Treibhausgasemissionen ($\text{CO}_{2\text{-eq}}$) verglichen. Als realisierbar wurden Varianten ausgesucht, die sowohl im Rahmen des Einbaus und der Betriebssicherheit dem Nutzer keinen übermässigen Nachteil bringen würden. Als Versorgungsaufgabe wurde ein Referenz-MFH gewählt, welches acht Wohneinheiten hatte. Diese Charakteristiken entsprechen den Erkenntnissen aus der Marktanalyse im Arbeitspaket 1. Als Warmwasserprofil wurde ein Nutzungsmix gemäss Literatur gewählt. Die Verbrauchsdaten wurden mit dem Verfahren aus Arbeitspaket 2 generiert.

Ein besonderer Augenmerk galt den Wärmeverlusten, da sie bei der Evaluation massgebend sind. Hierfür wurde zwischen für Heizzwecke nutzbaren und nicht-nutzbaren Wärmeverlusten unterschieden. Somit konnte der Endenergiebedarf an Brennstoff und an Elektrizität inkl. des Hilfsenergiebedarfs für die gesamte Wärmeversorgungsaufgabe rechnerisch ermittelt werden.

Um die Zusammenhänge zwischen Warmwassertemperatur, Wärmebedarf, Wärmeverluste, Hilfsenergie und Heizleistung aufzuzeigen, wurde zudem bei einer Variante die Untersuchung mit einer um 5 K tieferen Entnahmetemperatur in den Vergleich mit einbezogen.

In den Simulationsuntersuchungen konnte hinsichtlich der nicht erneuerbaren Primärenergie oder der Treibhausgasemissionen keine eindeutige Bestlösung identifiziert werden. Die Ergebnisse liegen sehr nah beieinander. Diese Unterschiede würden sich bei einer Steigerung des Anteils an erneuerbarer Energie am Strommix weiter verkleinern.

Bei bestehender Wärmeerzeugung sind die Wärmeverluste und ihr Entstehungsort matchentscheidend. Können diese, indem sie die Heizlast reduzieren, genutzt oder durch Dämmmassnahmen weitgehend reduziert werden, so kann die Benchmark-Analyse ein anderes Bild liefern. Deshalb ist bei der Erneuerung der Warmwasserversorgung darauf zu achten, dass die Dämmung für Leitungen und Speicher den Vorgaben der SIA 385/1 entsprechen.

Sollte zusätzlich zur Erneuerung der Warmwasserversorgung auch die der Wärmeerzeugung anstehen, eröffnen sich dem Investor hinsichtlich Sparpotenziale ganz andere Gestaltungsmöglichkeiten. Die Effizienz der Wärmeerzeugung hat ein doppelt so hohes Potenzial als die der Warmwasserversorgung. Wird z.B. anstelle eines Öl-Brennwertkessels eine Wärmepumpe nach dem Stand der Technik installiert kann bis zu 45% Primärenergie und bis zu 70% Treibhausgasemissionen gespart werden. Diese Aussage gilt zunächst für das in der Studie gewählte Referenzgebäude.

Die Studie hat gezeigt, dass die dezentrale Warmwasserversorgung durch Elektro-SPWE ein System mit vergleichbaren Effizienz und CO_2 -Sparpotenziale darstellt, wie sie bei zentraler Brauchwassererwärmung mit herkömmlicher Wärmeerzeugung zu sehen ist. Zudem sprechen Nutzerakzeptanz und Umbaukosten gegen jegliche Erneuerung. Im Vergleich zu einer Wärmepumpe sind jedoch Elektro-SPWE wegen der Direktumwandlung von Strom in Wärme deutlich ineffizienter. Auch bei einer Versorgung mit Ökostrom (z.B. über die eigene PV-Anlage) besteht die Winterproblematik.

Eine zukunftsorientierte Lösung für den Bestand könnten dezentrale Wärmepumpenboiler bieten. Sie sind ähnlich gross wie die Elektro-SPWE und bieten den gleichen Komfort. Die Herausforderung liegt primär bei der Erschliessung der Wärmequelle. Die Raumluft könnte in bestimmten Fällen als Quelle dienen, bedenklich sind aber bauphysikalische

Aspekte, wie die Raumabkühlung und die Schallemissionen. Eine weitere denkbare Wärmequelle wäre die Aussenluft. Der Verdampfer der Split-Anlage müsste an die Fassade angebracht werden. Auch hier könnten architektonische, bauliche und installationstechnische Aspekte dagegen sprechen. Eine vielversprechendere Lösung für den Bestand wäre ein Heizungsrücklauf-Wärmepumpenboiler, der seine Wärme aus dem Heizungsnetz bezieht. Voraussetzung ist, dass die Wärmequelle das ganze Jahr verfügbar ist, auch im Sommer. Herauszufinden, welche Lösung die realisierbarste ist, verlangt einige weitere energetische und bauphysikalische Untersuchungen.

7. Abkürzungsverzeichnis

7.1. Symbole, Begriffe, Einheiten

Symbol	Begriff	Einheit
P	Personen	-
d	Tag	
EBF	Energiebezugsfläche	
VM	„Verbrauch vorwiegend am Vormittag“	
NM	„Verbrauch vorwiegend am Nachmittag“	
VT	Gleichmässig über den Tag verteilter Verbrauch	
SPWE	Speicherwassererwärmer	
WWSP	Warmwasserspeicher	
DFE	Durchflusswassererwärmer	
TWSP	Technischer Wasserwärmespeicher	
WWS	Warmwasserspeicher	
JAZ	Jahresarbeitszahl	-
WP	Wärmepumpe	
Q_T	Beitrag zur Senkung der Transmissionsverluste zwischen beheizten und unbeheizten Räumen	
$Q_{W,em,ls}$	Ausstosswärmeverluste	kWh
$Q_{W,sto,ls}$	Speicherwärmeverluste	kWh
$Q_{W,hl,ls}$	Wärmeverluste der warm gehaltenen Leitungen	
$Q_{W,gen,out}$	Wärmebedarf der Warmwasserversorgung	kWh
$Q_{H,gen,out}$	Wärmebedarf der Heizung	kWh
$E_{W,aux}$	Hilfsenergie	kWh
$Q_{W,u}$	Nutzwärmebedarf	
V_{60}	Entnommenes Warmwasservolumen in Normliter	l
θ_c	Speicher-Eintrittstemperatur	°C
θ_w	Speicher-Austrittstemperatur	°C
θ_R	Raumtemperatur	°C
V_{θ_w}	Gemessenes entnommenes Warmwasservolumen bei der Temperatur θ_w	l

Horw, 29. Februar 2016

Seite 69/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

Q_W Wärmebedarf für Warmwasser kWh

7.2. Indizes

em	Entnahme
gen	Erzeugung
hl	warm gehaltene Leitung
ls	Verlust
out	Austritt
sto	Speicher
u	Nutzung
aux	Hilfs-

8. Literaturverzeichnis

- Ahmed et al. 2015 Ahmed, K., Pylsy, P., Kurnitski, J.: Monthly domestic hot water profile for energy calculation in Finnish apartment buildings, in: Energy and Buildings, Ausgabe 97, S. 77-85; Elsevier, Philadelphia, 2015
- Blatter et al 1993 Blatter, M., Borel, M., Hediger, H., Simmler, P.: Warmwasser-Bedarfszahlen und Verbrauchscharakteristik; Ravel-Impulsprogramm, Bundesamt für Konjunkturfragen; 1993; Bern
- de Santiago and Sicre 2016 de Santiago, J., Rodrigues, O., Sicre, B.: The Generation of Domestic Hot Water Load Profiles in Swiss Domestic Buildings through Statistical Predictions. In Vorbereitung. 2016
- Edwards et al. 2015 Edwards, S., Beausoleil-Morrison I., Laperriere A.: Representative hot water draw profiles at high temporal resolution for simulating performance of solar thermal systems, in: Solar Energy Ausgabe 111, S. 43-52, Elsevier, Philadelphia, 2015
- EN 12977-3 EN 12977-3:2012-06: Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile - Kundenspezifisch gefertigte Anlagen - Teil 3: Leistungsprüfung von Warmwasserspeichern für Solaranlagen; Deutsche Fassung EN 12977-3:2012, Beuth Verlag, Berlin, 2006
- EnDK 2011 Konferenz Kantonalen Energiedirektoren: Energiepolitik der EnDK, Eckwerte und Aktionsplan. Generalversammlung der EnDK, Zürich, 2011
- Estif 2013 Estif, European Solar Thermal Industry Federation: Legionella and solar water heaters. Solar Certification Fund (SCF), 2013
- Fink et al. 1999 Fink, C., Purkarthofer, G., Müller, A., Kögl, C.: Thermische Solaranlagen für Mehrfamilienhäuser, Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie AEE, Gleisdorf, 1999
- Friedlin 2005 Friedlin, R.: Warmwasser-Verteilssysteme; Hochschule Luzern Semester-/Diplomarbeit, Luzern, 2005
- Kalwik u. Bucher 2013 Kalwik, M., Bucher, P.: Gebäude-Heizenergiebedarf – Methodik zur Schätzung des Heizenergiebedarfs der Wohngebäude mittels kantonalem Gebäude- und Wohnungsregister, Umwelt und Energie, Luzern, 2013
- KBOB 2014 Koordinationskonferenz der bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren: Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2014, Herausgeber: Bundesamt für Bauten und Logistik, Bern, 2015
- Mühlbacher 2007 Mühlbacher, H.: Verbrauchsverhalten von Wärmeerzeugern bei dynamisch variierten Lasten und Übertragungskomponenten, Dissertation, TU München, München, 2015

Horw, 29. Februar 2016

Seite 71/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

MuKE n 2014	Konferenz Kantonaler Energiedirektoren EnDK: Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE n), Ausgabe 2014, deutsche Version, Bern, 2015
Nipkow 1999	Nipkow, J.: Warmwasser-Zapfungsverhalten. Auswertung und Analyse von Messungen an Warmwasser-Zapfstellen. Schlussbericht; ARENA, Zürich, 1999
Nipkow 2014	Nipkow, J.: Elektrische Wassererwärmung in der Schweiz, BFE, Schlussbericht, Bern, 2014
Ott et al. 2011-1	Ott, Walter et al.: CO ₂ – Vermeidungskosten bei der Erneuerung von Wohnbauten. Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2011
Ott et al. 2011-2	Ott, W., Baumgartner, A., Jakob, M.: CO ₂ – Vermeidungskosten bei der Erneuerung von Wohnbauten; Schlussbericht, BFE, Bern, 2011
Ruesch and Frank 2012	Ruesch, F., Frank, E.: Untersuchung und Bewertung angepasster lösungen zur Trinkwarmwasserbereitstellung. Entwicklung einer Testprozedur für Frischwassermodule; Schlussbericht, BFE, Bern, 2012
Schüco 2010	Schüco Solarsysteme: Planungsleitfaden für Solarthermie, 3. Ausgabe, Schüco International KG, Bielefeld, 2010
Schwentzek et al. 2011	Schwentzek, Fieger, Tzeuschtschler: Reduzierung von Energieverbrauch und CO ₂ -Emissionen durch dezentrale elektrische Warmwasserversorgung, Endbericht der FfE GmbH an der TU München, München; 2011
SIA 380	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein: SIA 380 Grundlage für energetische Berechnungen von Gebäuden; Zürich, 2015
SIA 384/3	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein: SIA 384/3: Heizungsanlagen in Gebäuden – Energiebedarf; Zürich, 2015
SIA 385/1	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein: SIA 385/1 Anlagen für Trinkwarmwasser in Gebäuden - Warmwasserbedarf, Gesamtanforderungen und Auslegung; Zürich, 2015
SIA 385/2	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein: SIA 385/2 Anlagen für Trinkwarmwasser in Gebäuden - Warmwasserbedarf, Gesamtanforderungen und Auslegung; Zürich, 2015
SIA MB 2024	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein: Merkblatt 2024 Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik; Zürich, 2006
Swissolar 2016	Swissolar, schweizerische Fachverband für Sonnenenergie: Anwendung Solarwärme, download: http://www.swissolar.ch/ ueber-solarenergie/solarwaerme/anwendung-solarwaerme/ (letzter Zugriff Februar 2016), 2016
Von Euw et al. 2012	Von Euw, Reto et al: Gebäudetechnik – Systeme integral planen. Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Energie am Bau; In: Fachbuchreihe «Nachhaltiges Bauen und Erneuern»

Horw, 29. Februar 2016
Seite 72/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

Masterstudiengang «Energie und Nachhaltigkeit am Bau»
(www.enbau.ch). Basel, 2012

Weiss 2003

Weiss W. et al.: Solar Heating Systems for Houses – A Design Handbook for Solar Combisystems, ISBN: 1-902916-46-8, James and James (Science Publishers) Ltd, London, 2003

Wiederkehr et al.
2006

Wiederkehr, Kurt et al: Geräteausstattung und Stromverbrauch von Schweizer Haushalten. In: Bulletin SEV/VSE 4/06 2006


Horw, 18 December 2015

Seite 73/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowasserer-wärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

9. Anhang

9.1. Anhang 1, Online-Fragenbogen

EvaSys	Ersatz Elektroboiler: Fragenkatalog Eigentümer	
--------	------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

Markieren Sie so: ☐ ☒ ☐ ☐ ☐ Bitte verwenden Sie einen Kugelschreiber oder nicht zu starken Filzstift. Dieser Fragebogen wird maschinell erfasst.
Korrektur: ☐ ☒ ☐ ☒ ☐ Bitte beachten Sie im Interesse einer optimalen Datenerfassung die links gegebenen Hinweise beim Ausfüllen.

1. Liegenschaft und Nutzung

Haben Sie einen Elektroboiler in der Wohnung?
☐ Ja ☐ Nein

Haben Sie mehrere Elektroboiler in der Wohnung?
☐ Ja ☐ Nein

Fassungsvermögen in Liter (ca.)?
.....

Alter des Elektroboilers?
.....


Standort des Elektroboilers?
☐ Küche ☐ Bad ☐ Zimmer
☐ weiss nicht

Wo befindet sich die Liegenschaft (Postleitzahl)?
.....

Baujahr der Liegenschaft (ca.)?
.....

Direkt angrenzende Nachbargebäude?
☐ keine (freistehend) ☐ auf einer Seite ☐ auf zwei Seiten


Aus wie vielen Wohnungen besteht das Mehrfamilienhaus?
Anzahl 1 bis 2-Zi. Wohnungen
.....
Anzahl 3 bis 5-Zi. Wohnungen
.....
Anzahl Wohnungen mit mehr als 5 Zimmern
.....

F3365U0P1PL0V0  15.04.2014, Seite 1/5

Horw, 18 December 2015

Seite 74/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowasserer-wärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

EvaSys	Ersatz Elektroboiler: Fragenkatalog Eigentümer	
--------	------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

1. Liegenschaft und Nutzung [Fortsetzung]

Anzahl Stockwerke

Dach beheizt?

☐ Dachgeschoss unbeheizt ☐ Dachgeschoss teilweise beheizt ☐ Dachgeschoss vollständig beheizt

Keller beheizt?

☐ nicht unterkellert ☐ Kellergeschoss unbeheizt ☐ Kellergeschoss teilweise beheizt

☐ Kellergeschoss voll beheizt

Wurden bereits am Gebäude Sanierungsmassnahmen ausgeführt?

☐ Fenstererneuerung ☐ Fassadendämmung ☐ Dacherneuerung

☐ Heizungserneuerung ☐ Erneuerung der Wasser-/ Abwasserleitungen

Ist das Gebäude:

☐ Im Privateigentum ☐ Im Stockwerkeigentum ☐ Im Besitz einer Genossenschaft

☐ Im Besitz einer Pensionskasse ☐ Im Besitz einer Immobiliengesellschaft ☐ Andere

Wer ist für die Wartung/Instandhaltung zuständig?

☐ Fachfirma (z.B. facility management Unternehmen) ☐ Mieter ☐ Hauswart

Wie erfolgt die Kostenabrechnung für das Warmwasser?

☐ Nebenkostenabrechnung ☐ Stromrechnung der EV

Sind Sie?

☐ Eigentümer ☐ Mieter ☐ Verwalter


Bemerkung:



Horw, 18 December 2015

Seite 75/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowasserer-wärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

EvaSys	Ersatz Elektroboiler: Fragenkatalog Eigentümer	
--------	------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

2. Vorhandene Infrastruktur

Wie erfolgt die Wärmeversorgung (Heizung)?

☐ Zentralheizung mit Radiatoren ☐ Einzelöfen

Welcher Energieträger wird dabei eingesetzt?

☐ Strom (z.B. Elektrospeicheröfen, Wärmepumpe) ☐ Gas ☐ Heizöl

☐ Holz ☐ Fernwärme

Bemerkung:



Horw, 18 December 2015

Seite 76/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowasserer-wärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

EvaSys	Ersatz Elektroboiler: Fragenkatalog Eigentümer	
--------	------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

3. Beteiligung Feldmessung

Ersatz des Elektroboilers?

- ☐ Ich würde mich wieder für einen Elektroboiler entscheiden ☐ Ich würde mich heute eher für eine andere Lösung entscheiden

Unter welchen Bedingungen würden Sie Ihren aktuellen Elektroboiler auswechseln?

Ersatz ist bereits geplant durch:

Bei weiterem Anstieg der Stromkosten um mehr als wieviel %?

Bei finanzieller Unterstützung beim Ersatz um mindestens CHF:

Ersatz wurde geprüft aber nicht realisiert weil:

Für die Forschungszwecke möchte die Hochschule Luzern in mehreren Wohnungen den Warmwasserverbrauch über ein Jahr messen. Die Daten werden elektronisch und vollautomatisch aufgezeichnet und per mobiles Internet übertragen. Sie werden völlig anonymisiert ausgewertet. Die Ergebnisse werden von Fachleuten analysiert und dem Wohnungsbesitzer kostenlos Empfehlungen vorgelegt.

Würden Sie Ihre Liegenschaft für diese Messungen unter Umstände zur Verfügung stellen?

- ☐ Ja ☐ Nein

Wenn ja, wie können wir Sie für weitere Abklärungen kontaktieren?

Name:

Strasse:

PLZ / Ort

Email:





Horw, 18 December 2015

Seite 78/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowasserer-wärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

9.2. Eingesetzte Messtechnik

Wasserverbrauch



Durchfluss V1

GW F Unico

bis 90°C, Nenndurchfluss 1.5m³/h

kleinster Durchfluss 15 lt/h

Impulsausgang 0.2 5lt/Impuls

Stromverbrauch



Elektro Energie

Leistungsaufnahme konstant

Betriebszeit wird gemessen

Potentialfrei an Boiler Thermostat

Hilfsrelais notwendig

Temperatur

2 Stk. PT100 Fühler

1x Anlegefühler Speichereintritt (Kaltwasser)

1x Anlegefühler Speicheraustritt (Warmwasser)

Datenerfassung

SPS-artiges System mit Digital- und Analogeingängen

Datenaufzeichnung

Lüfterloser Mini-PC mit Microsoft Windows 7

Prozessleitsystem mit ereignisorientierter Datenaufzeichnung

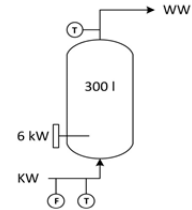
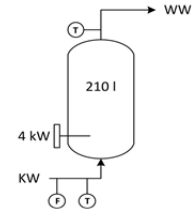
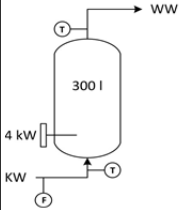
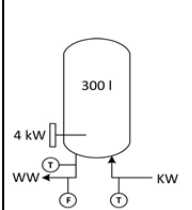
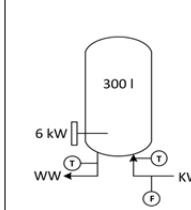





Mit 3G-Router

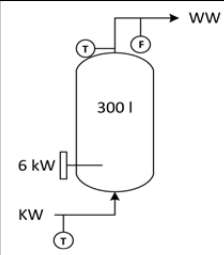
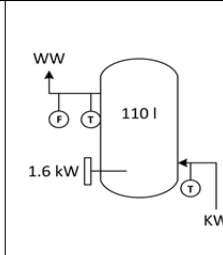
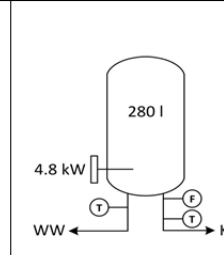
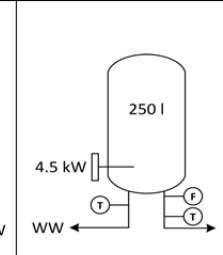
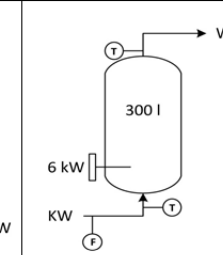





Horw, 18 December 2015

Seite 79/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowasserer-wärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

9.3. Untersuchte Objekte

	WG 1	WG 2	WG 3	WG 4	WG 5
Anzahl Erwachsene	2	4	4	2	2
Anzahl Kinder	-	1	-	-	-
Boiler-Umgebung	freistehend	freistehend	freistehend	im Schrank	im Schrank
Boiler-Schema					
Bild					

WG 6	WG 7	WG 8	WG 9	WG 10
2	1	2	1	2
2	-	1	1	-
im Schrank	im Schrank	im Schrank	im Schrank	freistehend
				
				

9.4. Grundlagen für thermische Raumsimulation

Warmwasserverbrauchsprofile

Für die Simulation wurden, anhand der Vorgabe des Soll-Tagesverbrauchs und des Nutzertyps, acht Warmwasser-Lastgänge für 365 Tage mit dem Verfahren aus Arbeitspaket 2 generiert.

Tabelle 13 zeigt den resultierenden Jahresverbrauch (Ist-Wert) für die generierten Warmwasserprofile.

Tabelle 13: Jahres-Nutzwarmwasserbedarf in Abhängigkeit des gewählten Nutzertyps und Soll-Tagesverbrauchs

	20 Normliter/(d P)	40 Normliter/(d P)	60 Normliter/(d P)
VM	15533 l/a (43.3 l/d)	32298 l/a (88.5)	448066 l/a (132)
NM	16723 l/a (45.8 l/d)	31805 l/a (87.1)	-
VT	16105 l/a (44.1 l/d)	32693 l/a (89.6)	47877 l/a (131)

Entscheidend für die Dimensionierung von Warmwassererwärmungsanlagen in Mehrfamilienhäusern ist aber nicht der Tagesverbrauch, sondern der Spitzenverbrauch, wenn viele parallele Verbraucher auftreten. Zu dieser Zeit beträgt die benötigte Leistung für die Warmwassererwärmung ein Vielfaches der nötigen Leistung für die Raumwärmeversorgung. In der Praxis werden diese Spitzenleistungen mit Brauchwasserspeichern aufgefangen.

Tabelle 14: tägliche Warmwasserbedarf von Wohnungen (Verbrauchsanhaltswerte aus (Fink et al. 1999) und Recknagel)

	Warmwasserbedarf pro Tag und Person (Normliter)
einfache Ansprüche	10 - 20 l
gehobene Ansprüche	20 – 40 l
höchste Ansprüche	40 - 80 l

Horw, 18 December 2015

Seite 81/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowasserer-wärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

9.5. Simulationsergebnisse

Tabelle 15: Simulationsergebnisse für die vier Varianten mit Einbindung in die bestehende Wärmeversorgung

	thermisch										
	Endenergie Heizen/WW	Energiebedarf Heizen	Energiebedar f Warmwasser	Total Verluste Warmwasser	Nutzbare Wärmeverluste in unbeheizten Räumen	Undienliche Wärmeverluste in unbeheizten Räumen	Nutzbare Wärmeverluste Speicher/DFE in Wohnungen	Nutzbare Ausstosswärmeverl uste in Wohnungen	Speicherverluste im Keller	Wärmetransmission Wohnungen/Keller+Wohn ungen/Erschliessung	Zirkulationsverluste Erschliessung
Variante	E _{F,hww} [kWh]	Q _h [kWh]	Q _{W,gen,out} [kWh]	Q _{W,sto,ls} +Q _{W,em,ls} + Q _{W,hl,ls} [kWh]	ΔQ _T [kWh]		Q _{W,sto,ls} [kWh]	Q _{W,em,ls} [kWh]	Q _{W,sto,ls} [kWh]	Q _T [kWh]	Q _{W,hl,ls} [kWh]
Referenzfall (dez. Elektroboiler 300L)	94'363	80'209	0	6'662	0	0	6'011	651	0	14'610	0
Variante B (Zentraler Speicher 1000L 57.5 °C)	116'098	83'132	15'551	4'034	958	2'422	0	654	1'264	13'652	2'116
Variante G55 (Dezentraler DFE 57.5°C)	115'989	81'955	16'636	5'420	1'240	2'942	593	645	1'632	13'370	2'550
Variante G50 (Dezentraler DFE 52°C)	114'034	82'470	14'459	4'660	1'079	2'562	476	543	1'435	13'531	2'206

Variante	elektrische Energie			Primärenergiebilanz					
	Energiebedarf Warmwasser	Hilfsenergie WW	Total	Primärenergie aus Heizölbedarf	Primärenergie aus Strombedarf	Primärenergiebedarf gesamt	Treibhausgas-emissionen thermisch	Treibhausgas-emissionen elektrisch	Treibhausgas-emissionen gesamt
	$Q_{W, gen, out}$ [kWh]	$E_{W, aux}$ [kWh]	$E_{F, El}$ [kWh]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kg CO2]	[kg CO2]	[kg CO2]
Referenzfall (dez. Elektroboiler 300L)	18'028	0	18'028	115'123	48'495	163'618	34'274	6721	40'996
Variante B (Zentr. Speicher 1000L 57.5 °C)	0	116	116	141'639	311	141'950	42'169	43	42'212
Variante G55 (Dezentraler DFE 57.5°C)	0	272	272	141'507	732	142'239	42'129	101	42'231
Variante G50 (Dezentraler DFE 52°C)	0	259	259	139'122	697	139'819	41'419	97	41'516

Horw, 18 December 2015

Seite 82/82

Strategie für den Ersatz von Elektrowasserer-wärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

Tabelle 16: Endenergie- und Primärenergiebedarf für eine Wärmeerzeugung mit Wärmepumpe und fallweise mit zentraler Warmwasserversorgung oder dezentralen DFE.

	Primärenergie aus Heizölbedarf	Primärenergie aus Strombedarf	Primärenergiebedarf gesamt	Treibhausgas- emissionen thermisch	Treibhausgas- emissionen elektrisch	Treibhausgas- emissionen gesamt
Variante	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kg CO ₂]	[kg CO ₂]	[kg CO ₂]
Referenzfall (Dez. Elektroboiler 300L, 57.5 °C)	115'123	48'495	163'618	34'274	6'721	40'996
Variante B (Zentraler Speicher 1000L, 57.5 °C)	141'639	311	141'950	42'169	43	42'212
Variante B* (Wärmepumpe, Zentraler Speicher 1000L, 57.5 °C)	-	91'275	91'275	-	12'651	12'651
Variante G50* (Wärmepumpe, dezentrale DFE, Speicher 1000 L, 52 °C)	-	88'354	88'354	-	12'246	12'246