

Institut für Solartechnik SPF
Hochschule für Technik Rapperswil HSR
CH- 8640 Rapperswil
www.solarenergy.ch

Concise Cycle Test

Version 1.0, März 2018

Beschreibung der Prüfmethode

1	Allgemeine Grundlagen.....	2
1.1	Systemtest.....	2
1.2	Jahresarbeitszahl.....	2
2	Prüfeinrichtung.....	3
2.1	Funktionsweise.....	3
2.2	Testraum.....	3
3	Geprüftes System.....	6
3.1	Systemgrenzen.....	6
3.2	Schnittstelle zwischen Prüfeinrichtung und geprüftem System.....	10
3.3	Regler.....	11
3.4	Wärmeträger.....	11
4	Testmethode.....	12
4.1	Rahmenbedingungen Klima und Gebäude.....	12
4.2	Testablauf.....	12
4.3	Raumheizung.....	14
4.4	Warmwasserbereitung.....	17
4.5	Solarthermische Kollektoren.....	18
4.6	PV Module.....	19
4.7	Haushaltsstrom.....	20
4.8	Wärmeerzeuger.....	21
4.8.1	Generell.....	21
4.8.2	Wärmepumpe.....	22
4.8.3	Heizkessel.....	22
5	Testresultat.....	23
5.1	Messpunkte.....	23
5.2	Bestimmung der Kenngrößen.....	24
6	Abkürzungsverzeichnis und Symbolverzeichnis.....	27
7	Referenzen.....	30

1 Allgemeine Grundlagen

1.1 Systemtest

Das effiziente Funktionieren von Systemen zur Bereitstellung von Wärme (und möglicherweise von Strom) in Wohngebäuden hängt stark von der richtigen Auslegung bzw. Konzipierung, Installation und Regelung der Komponenten und der Hydraulik ab. Besonders dann, wenn verschiedene Wärmequellen in einem System kombiniert werden, spielt deren Integration in das Gesamtsystem eine besondere Rolle. Dabei muss auf die besonderen Anforderungen der einzelnen Komponenten (wie z.B. Brennwärtekessel, Pelletkessel oder Wärmepumpen) bei der hydraulischen Einbindung und der Regelstrategie geachtet werden. Das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten im Gesamtsystem hat dann einen massgeblichen Einfluss auf die Energieeffizienz der Anlage.

Die „Concise Cycle Test“ Methode (CCT) ist eine am SPF entwickelte dynamische Methode zur Prüfung von Systemen zur Wärmebereitstellung, die sich sowohl für das Testen von monovalent betriebenen Anlagen als auch für Anlagen mit Solarwärme-Unterstützung eignet. Dabei werden nicht einzelne stationäre Betriebszustände gemessen, sondern es muss in einem dynamischen, 6-tägigen Prüfzyklus ein komplettes Gebäude mit Wärme versorgt werden. Dieser Prüfzyklus wurde so konzipiert, dass eine direkte Extrapolation der Ergebnisse auf die Leistungsdaten eines ganzen Jahres möglich ist. Das Verfahren liefert somit Resultate für alle Betriebszustände aus allen Jahreszeiten, und dies weit schneller, präziser und kostengünstiger als jegliche Feldtests.

1.2 Jahresarbeitszahl

Der **Coefficient of Performance** (COP) einer Wärmepumpe ist das Verhältnis von erzeugter Wärmeleistung zur eingesetzten elektrischen Leistung. Die Leistungszahl ist abhängig vom Betriebspunkt, weshalb die Angabe der Leistungszahl allein nicht aussagekräftig ist. Sowohl die Temperatur auf der Senke als auch die der Wärmequelle beeinflussen den COP.

Wird die abgegebene Wärmeleistung und die aufgenommene elektrische Arbeit über ein ganzes Jahr gemessen und integriert zu entsprechenden Energiemengen, so kann damit die **Jahresarbeitszahl** (JAZ) bestimmt werden.

Das oft genannte Verhältnis 75 % Umweltenergie und 25 % Strom ergibt eine JAZ von 4. Dabei spielt allerdings die Systemgrenze eine wichtige Rolle. Je nachdem, welche Komponenten berücksichtigt werden, variiert das Ergebnis stark. Um ein komplettes Heizsystem bewerten zu können ist es wichtig die Bilanzgrenze so zu legen, dass auch alle Komponenten enthalten sind.

Dennoch ist die JAZ ein individueller Wert und kann nur als Richtwert gelten und ist im Feld nicht reproduzierbar. Sie ist abhängig vom Heizsystem selbst, aber auch von der Bauweise und der Dämmung des Gebäudes, dem Heizkreisverteilsystem, der klimatischen Lage, der Wärmequelle und schliesslich dem Nutzerverhalten. Deshalb kann das Erreichen einer bestimmten Jahresarbeitszahl auch nicht garantiert werden.

Um die Arbeitszahl als Vergleichsmassstab verwenden zu können müssen alle Einflussfaktoren berücksichtigt und im Idealfall identisch sein.

2 Prüfeinrichtung

2.1 Funktionsweise

Auf dem Prüfstand wird der realitätsnahe Betrieb eines kompletten Heizsystems im hardware-in-the-loop Verfahren ermöglicht. Dazu simuliert und emuliert¹¹ der Prüfstand während dem Prüfzyklus ein komplettes Gebäude, dessen Wärmebedarf – und gegebenenfalls auch der Strombedarf - gedeckt werden muss. Dabei sind die zu Grunde gelegten Lasten für Raumwärme, Warmwasser und Haushaltsstrom vorab festgelegt um einen direkten Vergleich der geprüften Systeme zu ermöglichen.

In Abbildung 1 ist das Prinzip des Tests dargestellt. Die in blau hinterlegten Komponenten müssen bzw. können real installiert werden. Alle anderen Komponenten werden in einem Simulationsmodell nachgestellt und aufgrund der dort berechneten Werte für Leistung, Temperatur und Massenstrom emuliert. Das Verfahren zur Simulation und Emulation kann wie folgt beschrieben werden:

- Durch die Prüfstandssoftware werden am Ende jeden Zeitschrittes¹² aktuelle Messwerte an die Simulationssoftware übergeben.
- In der Simulation wird entsprechend der Eingabedaten das Verhalten der jeweiligen Komponente berechnet und an die Prüfstandssoftware übermittelt.
- Während jedem Zeitschritt steuert die Prüfstandssoftware die Emulation, während die Simulationssoftware pausiert. Erst am Ende des Zeitschrittes werden die neuen Messdaten an die Simulationssoftware übergeben, und die Regel-Zielgrößen für den nächsten Zeitschritt durch die Simulationssoftware ermittelt.

2.2 Testraum

Zur Installation des geprüften Systems steht ein eigener Raum zur Verfügung. Dieser „Technikraum“ wird auf $20\text{ °C} \pm 0.5\text{ K}$ temperiert, wobei darauf geachtet wird dass sich keine Temperaturschichtung über die Höhe des Raumes ausbildet.

Fixe Positionen für die Anschlüsse zur Verbindung mit dem geprüften System bestehen nur für den Kollektorkreis. Durch die Kollektorkreisleitung besteht hier ein genügend grosser Spielraum für den Anschluss. Alle anderen Anschlüsse werden durch flexible Schläuche realisiert um die Verbindung und Temperaturmessung so dicht als möglich am Prüfling ausführen zu können. In Abbildung 2 ist eine Skizze des Prüfraums zu sehen. Eingezeichnet ist auch eine Klimakammer, die zur Konditionierung der Aussenluft (z.B. für Luft/Wasser-Wärmepumpen) verwendet wird.

¹¹ Mit Emulation bezeichnet man die Nachahmung des bekannten Verhaltens eines Systems durch ein anderes, technisches System. In diesem Falle die Nachahmung des Verhaltens eines Gebäudes durch die Hardware des Prüfstandes.

¹² Die Zeitschritte sind die Länge des Zeitintervalls einer dynamischen bzw. transienten Simulation. Bei einer solchen Simulation wird der zeitliche Fortschritt in einzelne Abschnitte aufgeteilt (diskretisiert) und die Lösung schrittweise für aufeinanderfolgende Zeitschritte berechnet. Je nach Anwendungsfall können die Zeitschritte unterschiedlich gewählt werden.

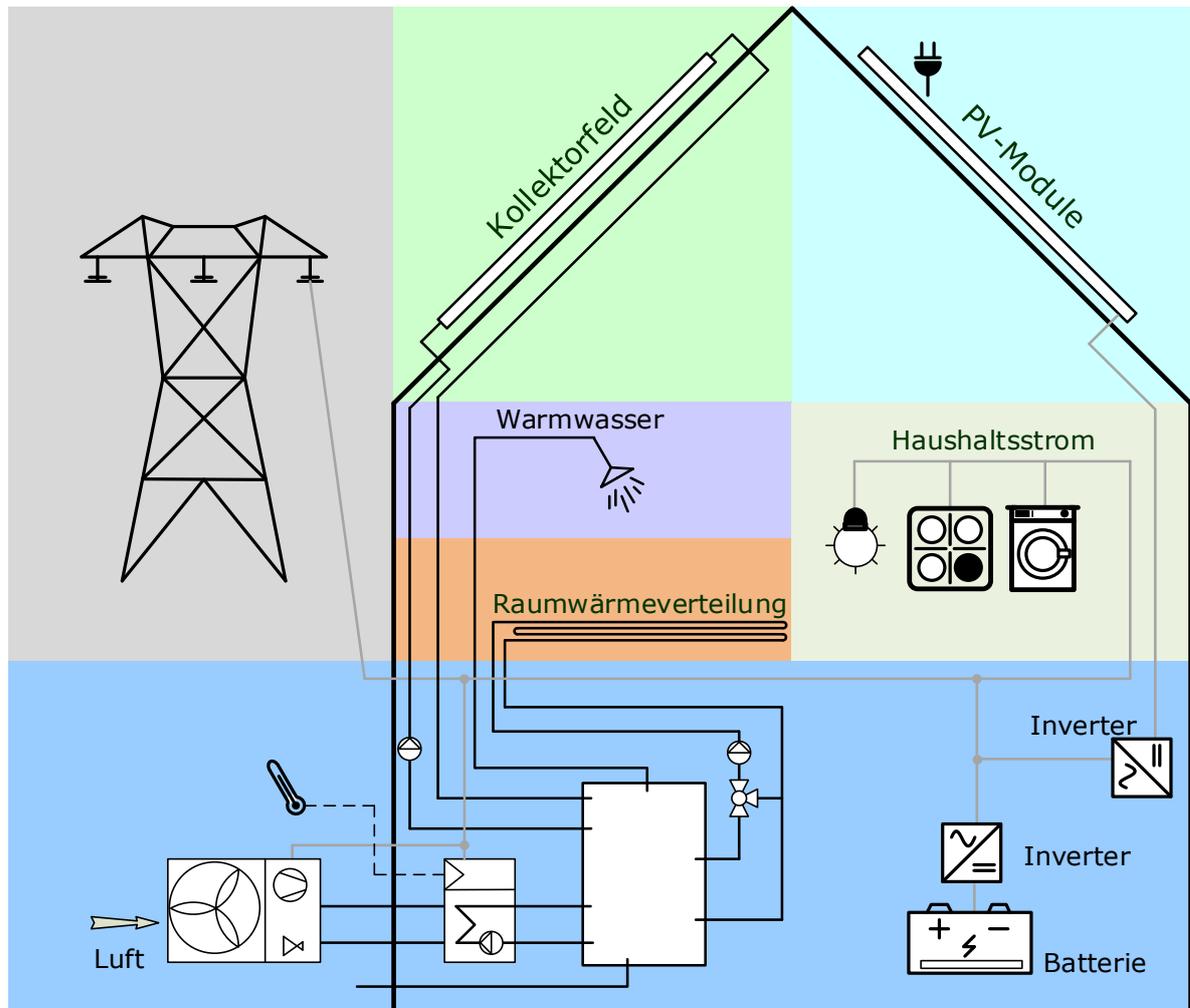


Abbildung 1: Prinzip des CCT: Die in blau hinterlegten Komponenten müssen bzw. können real installiert werden. Durch den Prüfstand wird das Gebäude inklusive der Gebäudehülle und der vorhandenen Umweltwärme als Quelle einer Wärmepumpe simuliert und emuliert.

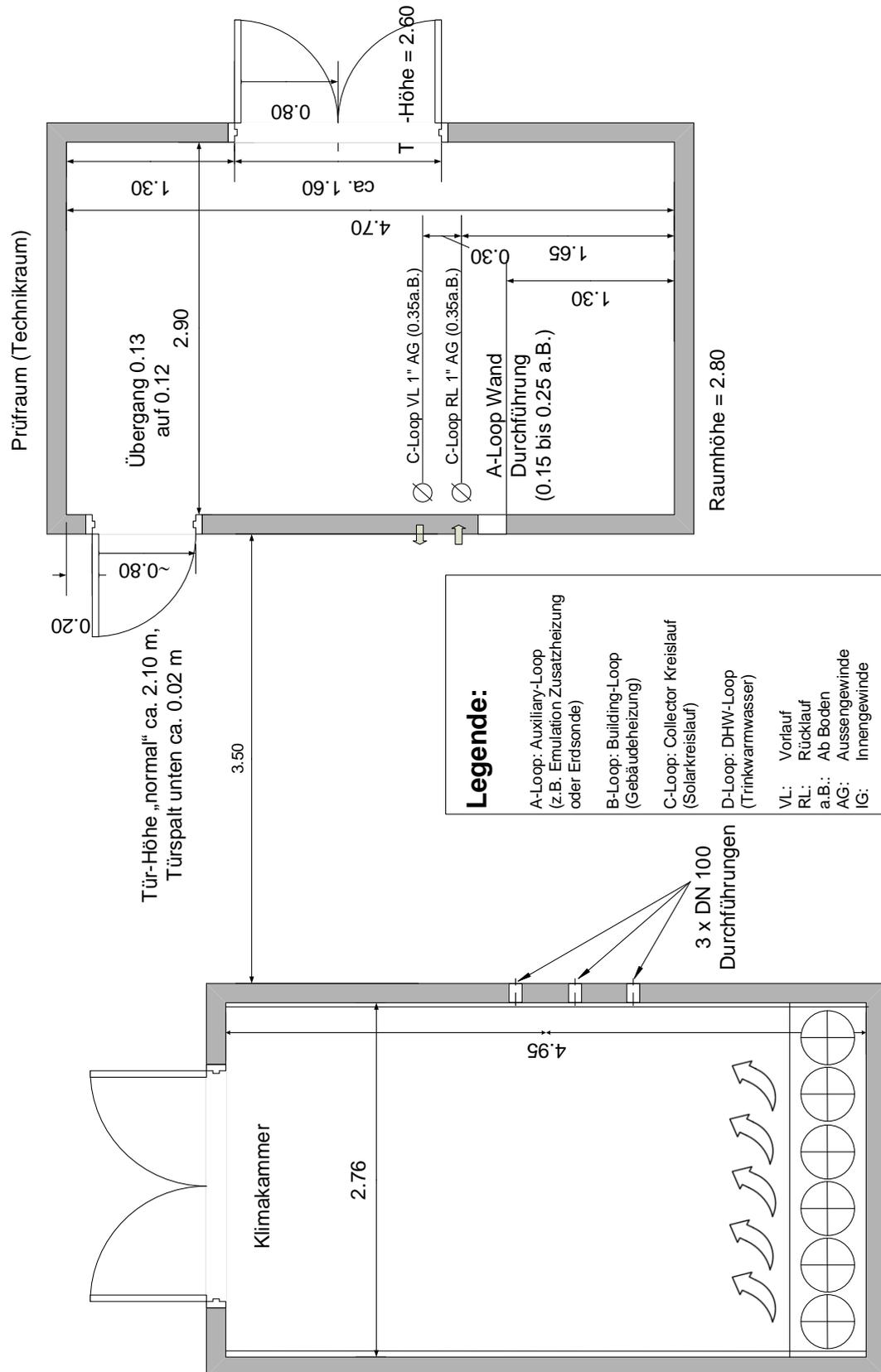


Abbildung 2: Skizze des Aufstellungsraums für die Systemprüfung.

3 Geprüftes System

3.1 Systemgrenzen

Mit Hilfe des CCT können viele verschiedene Systeme gemessen und die Ergebnisse miteinander verglichen werden. Es ist sowohl möglich, monovalente Systeme zu testen, wie auch Anlagen, die solarthermische Kollektoren verwenden oder auch PV-Module.

Für die Installation auf dem Prüfstand werden mindestens folgende Komponenten benötigt:

Speicher, Warmwasser und Heizkreis

Ein Speicher wird mindestens für die Warmwasserbereitung benötigt. Ein Wärmespeicher für die Raumheizung ist optional. Zwingend notwendige Komponenten sind:

- Speicher inklusive Isolation
- Expansionsgefäß für Speicher und Raumwärmeverteilung
- Mischerguppe Heizkreis mit:
 - ...Vorlauf-Temperaturbegrenzung für die Fussbodenheizung (Thermostat), und...
 - ...Pumpe für die Raumwärmeverteilung (falls nicht schon im Wärmeerzeuger integriert)
- Sicherheitsarmaturen (Überdruckventil)

Die Warmwasserbereitung ist per Frischwasserspeicher, internen oder externen Wärmeübertragern möglich. In Kombination mit Solarwärme oder anderen Wärmeerzeugerkonzepten die zu Temperaturen über 65 °C im Speicher führen können ist ein Übertemperatur- bzw. ein Verbrühungsschutz notwendig. Es wird derzeit keine Zirkulation für die Warmwasserleitungen im Gebäude installiert oder getestet.

Wärmeerzeuger

Generell

- Zur Regelung nötige Temperaturfühler. Zum Beispiel...
 - ...Temperaturfühler zur Messung der Aussentemperatur (zur Berechnung der nötigen Vorlauftemperatur des Heizkreises), inklusive 8 Meter Fühlerkabel.
 - ...Temperaturfühler zur Messung der aktuellen Heizkreis-Vorlauftemperatur
- Alle weiteren Komponenten, die für den Betrieb des Wärmeerzeugers in einer Feldinstallation benötigt werden.

Wärmepumpe

Neben der Wärmepumpe selbst werden weitere Komponenten benötigt:

- Bei Luft-Wasser Wärmepumpen:
 - Ausseneinheit (zur Platzierung in der Klimakammer).
 - Verbindungsleitung zwischen Ausseneinheit und der Installation im Technikraum (Kältemittelleitung inklusive Kältemittel oder wasserführendes System).

Wärmeerzeuger auf Brennstoff-Basis

Wichtig für die Messung des Wärmeerzeugers ist es, den Energieverbrauch genau erfassen zu können. Deshalb können mit dem CCT nur Geräte geprüft werden, die Brennstoffe mit einer homogenen Beschaffenheit verwenden. Diese sind zum Beispiel: Holzpellets, Erdgas oder Heizöl.

Es können nur Wärmeerzeuger geprüft werden, die Wärme über ein hydraulisches Heizsystem in das zu beheizende Gebäude zu bringen. Eine direkte Wärmeübertragung per Konvektion oder Strahlung wie z.B. bei einem sogenannten Schwedenofen kann derzeit im CCT nicht geprüft werden.

Teil des Systems ist neben dem Wärmeerzeuger selbst:

- Der Anschluss an den Kamin.
- Geräte zum Fördern oder dem Transport des Brennstoffes.
 - Bei Ölkesseln: Eine Ölpumpe, ein Filter und Leitungen zur Verbindung mit dem Öltank.
 - Bei Pelletkesseln: Ein Saugzuggebläse oder eine Förderschnecke.
- Sonstige Komponenten wie eine Rücklaufhochhaltung für Pelletkessel oder ein Kondensatablauf für Geräte mit Brennwertnutzung.
- Entsprechende Sicherheitseinrichtungen.

Andere Energiequellen, zum Beispiel chemische Reaktionen

- können Analog den zuvor definierten Grundsätzen für Wärmepumpen und Brennstoff-Systeme getestet werden. Das Testverfahren ist diesbezüglich vollkommen offen gegenüber neuen Technologien die heute noch gar nicht auf dem Markt sind. Grundvoraussetzung ist die Möglichkeit, eine saubere Energiebilanz erstellen zu können.

Verrohrungen und Ventile

Die Messstellen im Systemtest sind in jedem Fall so nahe wie möglich am Prüfling. Am Beispiel der Raumheizung bedeutet dies, dass die Messung direkt nach dem Mischer der Raumwärmerversorgung stattfindet. Die Verbindung von dieser Messstelle bis zum Prüfstand wird durch das SPF erstellt.

Innerhalb des getesteten Systems werden alle Verrohrungen und Armaturen benötigt. Am Beispiel eines Kombispeichers der durch eine Wärmepumpe bewirtschaftet wird, bedeutet dies, dass die Verbindung zwischen Wärmepumpe und Speicher, inklusive aller benötigten Ventile und Armaturen, durch den Hersteller erfolgen muss. Die Verbindungen müssen nicht fix verrohrt werden. Der Einsatz von druckfesten Schläuchen oder Wellrohren ist für die Prüfung möglich, sofern sie der üblichen Installationspraxis des Herstellers und seiner Installationspartner im Feld entspricht. Auf Wunsch können auch Messstellen (Vor- und Rücklauftemperatur, Volumenstrom) innerhalb des geprüften Systems eingerichtet werden. Dadurch können zusätzliche Informationen über das Verhalten der Anlage gewonnen werden. Diese Messstellen sollten vorab besprochen werden (zum Beispiel zwischen der Wärmepumpe und dem Speicher oder zwischen der Wärmepumpe und der Ausseneinheit).

Kollektorkreis

Falls ein System mit thermischer Solarenergienutzung getestet wird, müssen diese Komponenten vorhanden sein:

- Kollektor-Temperaturfühler (wird an der Hardware des Teststandes montiert)
- Sämtliche Armaturen für den Solarkreis: Pumpe, Ventile, Temperaturfühler etc.
- Expansionsgefäß für den Solarkreis
- Regelgerät für den Solarkreis inklusive Stromversorgungskabel
- Sämtliche Rohr-Verbindungen für die Montage und das Anschliessen von Solararmaturen und Solarleitung

Das Kollektorfeld ist nicht Teil des getesteten Systems¹³. Daher wird das Kollektorfeld während des Tests simuliert und emuliert. Zu diesem Zweck muss der Kollektor im Vorfeld mit dem Standard-Prüfverfahren der EN ISO 9806 geprüft worden sein, und die Kollektor-Kennwerte müssen aus diesen Prüfungen übernommen werden können.

Die Kollektorkreisleitung kann ebenfalls durch den Prüfstand emuliert werden, es besteht aber auch die Möglichkeit die Leitung inklusive Isolation und Kollektorfühlerkabel real am Prüfstand zu installieren (10 m Vorlauf + 10 m Rücklauf).

Photovoltaik

Wird ein System mit photovoltaischer Energieerzeugung getestet, so sind die PV-Module nicht Teil des getesteten Systems (vgl. „Kollektorkreis“). Der PV-Ertrag wird simuliert und durch eine Gleichstromquelle emuliert. Ein Wechselrichter sollte möglichst geliefert und installiert werden. Falls dies nicht möglich ist würde ein passender Wechselrichter durch das SPF gestellt werden. Optional ist die Lieferung einer Batterie plus der dazu nötigen Komponenten (zum Beispiel Batteriewechselrichter und/oder Laderegler, LAN Kabel für die Internetverbindung, Messgeräte zur Ermittlung der elektrischen Energieströme in der Hausinstallation).

Elektroinstallation

Der Anschluss an das Stromnetz sowie die Versorgung des Haushaltsstroms erfolgt über einen 3-Phasen Stecker, die Sicherung (Heizsystem, gegebenenfalls Haushaltsstrom und Wärmepumpe) erfolgt über eine C25 Sicherung.

Für Systeme, die PV-Module und ggf. einen elektrischen Energiespeicher beinhalten wird im Gebäude auch der Haushaltsstrom berücksichtigt. Die elektrischen Verbraucher im Einfamilienhaus werden nach einem vordefinierten Lastprofil gesteuert. Um den PV-Strom auch für diese Verbraucher nutzbar zu machen, müssen diese über eine eigene Verbindung aus dem System versorgt werden. Dazu ist es unter Umständen nötig, einen Schaltschrank zu installieren. Die genauen Details der Installation sollten in einer Vorbesprechung geklärt werden.

¹³ Der Grund dafür ist, dass es nicht praktikabel ist, ein Kollektorfeld von 10 - 30 m² unter einen Sonnensimulator zu stellen, um reproduzierbare Bedingungen für die Strahlung auf das Kollektorfeld bereitzustellen.

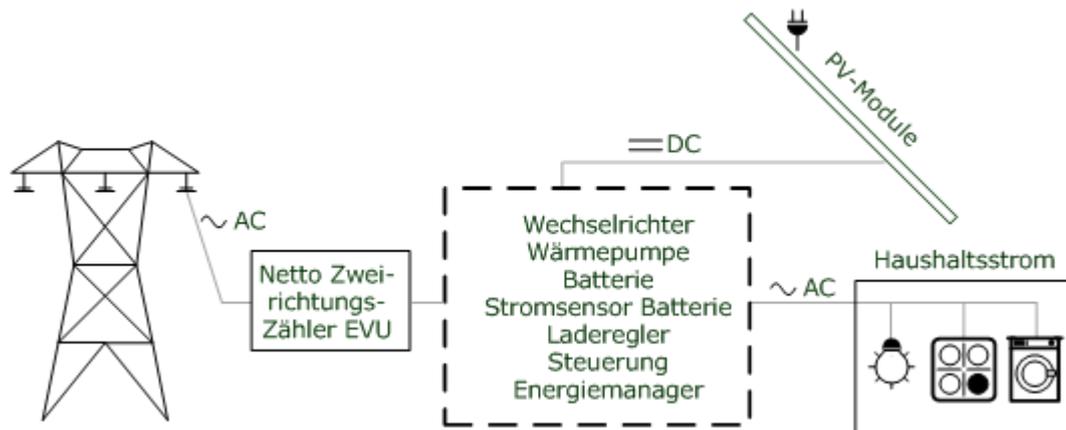


Abbildung 3: Elektroinstallation des geprüften Systems.

Die Systemgrenzen für ein Beispielsystem sind in Abbildung 4 dargestellt. Die obligatorischen Komponenten des Systems sind alle Komponenten, die nötig sind um das Gebäude mit Raumwärme und Warmwasser zu versorgen. Optional sind der PV-Teil mit Wechselrichter und Batterie sowie der solarthermische Teil.

Im Fall einer Luft-Wasser Wärmepumpe verschiebt sich die Systemgrenze. Die Ausseneinheit mit dem Kondensator ist dann Teil des geprüften Systems und muss geliefert und installiert werden.

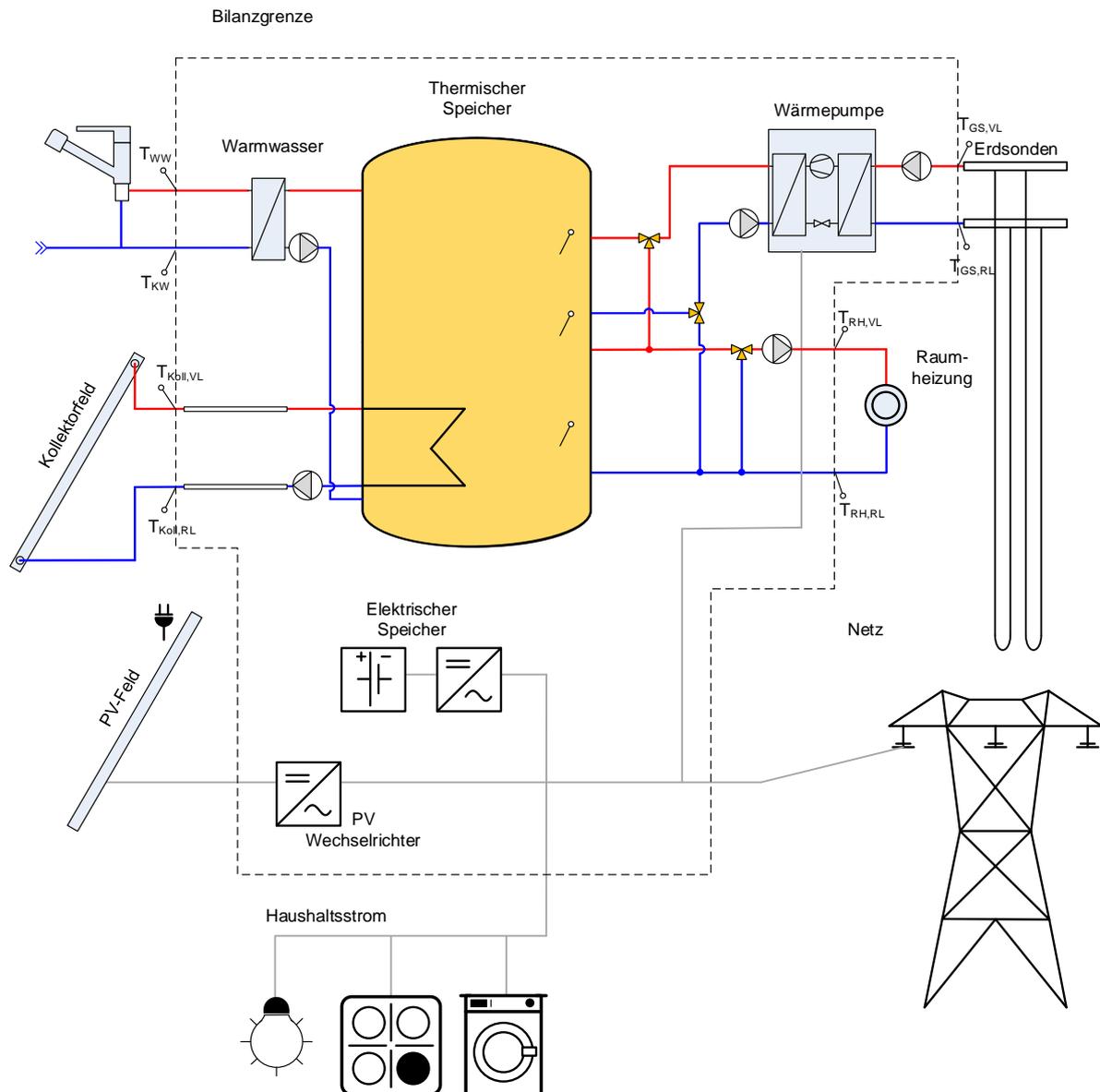


Abbildung 4: Vereinfachtes hydraulisches Schema, das die Systemgrenzen eines Beispielsystems zeigt.

3.2 Schnittstelle zwischen Prüfeinrichtung und geprüftem System

Die Verbindungsstücke zwischen der Prüfeinrichtung und dem geprüften System enthalten jeweils einen in das Wärmeträgermedium eingetauchten Temperatursensor, der so platziert ist, dass er direkt angeströmt wird. Ausserdem ist immer ein Wärmesiphon von mindestens 14 cm effektiver Höhe enthalten. Die Anschlüsse werden jeweils so nahe als möglich an der Systemgrenze des Prüflings platziert und durch das SPF isoliert.

3.3 Regler

Alle Regler, die zur Regelung der Anlage benötigt werden, sind Teil des geprüften Systems. Für die Einstellungen im Test gibt es Vorgaben, die für eine erfolgreiche Prüfung erfüllt sein müssen. Diese Vorgaben sind:

- Funktionen mit Abhängigkeit von der Vergangenheit sollten möglichst abgestellt werden. Falls dies nicht möglich ist kann evtl. kein Test durchgeführt werden.
- Funktionen von Regelung und Steuerung sollten so weit wie möglich offengelegt und in entsprechenden Dokumenten erklärt werden.
- Die Regelung der Heizungsvorlauftemperatur gehört zum System. Die Wärmeabgabeleistung der Wärmeverteilung ist so ausgelegt, dass ein Durchfluss von rund 700 L/h (bei Ausstemperatur -10 °C und Vorlauftemperatur 34 °C) ausreicht, um eine Raumtemperatur von 20 °C zu gewährleisten.
- Die thermische Masse des Gebäudes kann im eigentlichen CCT nicht als Speicher verwendet werden¹⁴. Dies bedeutet auch, dass sommerliche Überschusswärme nicht in die Heizkreisverteilung abgegeben werden darf. Um die Bewirtschaftung der thermischen Masse des Gebäudes zu testen müssen eigens darauf zugeschnittene Zusatztests gefahren werden.
- Die Anlage funktioniert vollständig automatisch, inkl. einer Umstellung von Sommer- auf Winterbetrieb.

Werden Informationen über den aktuellen Bedarf an elektrischer Energie im Gebäude benötigt, so müssen auch die entsprechenden Messinstrumente installiert und mit dem Regler verbunden werden. Die durch das SPF aufgenommenen Messdaten stehen für das geprüfte System nicht als Grundlage der Regelung zur Verfügung.

3.4 Wärmeträger

Die Eigenschaften der verwendeten Fluide müssen bekannt sein. Dies gilt insbesondere für die Wärmekapazität (c_p) und Dichte als Funktion der Temperatur und des Mischungsverhältnisses (Konzentration) bei Stoffgemische (z.B. Frostschutzmittel im Kollektorkreis, Solekreis von Sole/Wasser Wärmepumpen).

Für Wasser sind die Stoffwerte hinreichend bekannt, andere Wärmeträger können auf Wunsch vor dem eigentlichen Test durch das SPF ausgemessen werden (Zusatzauftrag).

In der Regel werden jedoch alle Fluide vom SPF gestellt und deren Stoffeigenschaften und das Mischungsverhältnis während dem Test laufend kontrolliert.

¹⁴ Überhöhungen der Temperatur der thermischen Massen des Gebäudes können nicht genügend schnell wieder abgebaut werden, so dass ein Übertrag von gespeicherter Energie über einen längeren Zeitraum stattfinden würde, was nicht kompatibel ist mit dem Ansatz des CCT, dass an jedem Tag eine fixe und vordefinierte Wärmemenge an das Gebäude geliefert werden muss.

4 Testmethode

4.1 Rahmenbedingungen Klima und Gebäude

Dem Test zugrunde liegt ein 6-Tägiger Prüfzyklus. Zu den definierten Rahmenbedingungen zählen die Wetterdaten (vgl. Abbildung 5) sowie vordefinierte Lastprofile für Raumheizung, Warmwasser und Haushaltsstrom. Alle Profile sind aufeinander abgestimmt mit dem Ziel, im Test ein Ergebnis zu liefern, das direkt auf Jahreswerte skalierbar ist

Grundlage der Wetterdaten sind Messdaten einer Wetterstation in Zürich. Das dem Test hinterlegte Gebäude hat einen Energiebedarf von 60 kWh/(m²a) bei 150 m² Energiebezugsfläche (EBZ). Haushaltsstrom und Warmwasserbedarf entsprechen einer vierköpfigen Familie.

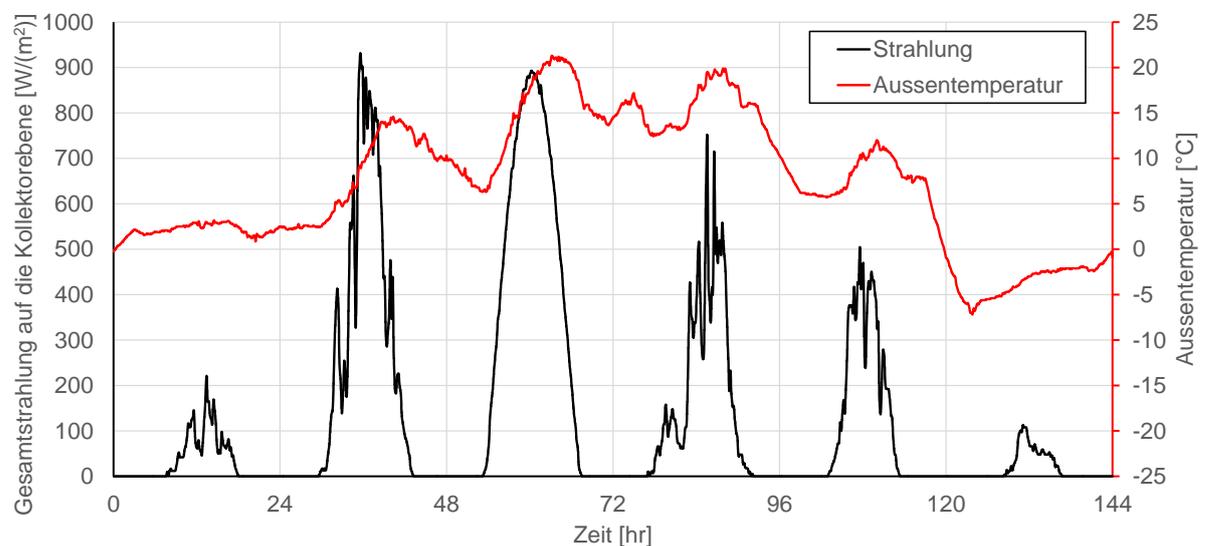


Abbildung 5: Wetterdaten des CCT.

4.2 Testablauf

Der Hersteller oder ein vom Hersteller beauftragter Installateur installiert das System im Testraum. Danach wird der Regler bzw. werden die Regler vom Installateur parametrieren. Zu diesem Zweck sind einige Vorversuche erforderlich, um die Drehzahl der Pumpen, die Heizkurve des Reglers und die Brauchwassermischventile zu überprüfen.

Vor dem eigentlichen Testbeginn müssen alle enthaltenen Speicher konditioniert werden. Das heisst, dass im thermischen Speicher (Warmwasserspeicher oder Kombispeicher) die Brauchwarmwasserzone zwischen 45 °C und 55 °C und der Raumheizungsteil bei etwa 30 °C sein sollten. Falls ein elektrischer Speicher enthalten ist muss dieser bis knapp über der maximalen Entladetiefe entladen sein¹⁵.

¹⁵ Der Test startet und endet mit einem Wintertag. Der „Vortag“ zu Testbeginn ist entsprechend ein Tag mit wenig Strahlungsangebot und hohem Verbrauch an elektrische Energie. Dementsprechend kann die Batterie um Mitternacht kaum mehr nutzbare Energie enthalten.

Nach dem Start des Tests sind bis zu dessen Abschluss keine Änderungen oder Eingriffe am System oder dessen Reglern mehr erlaubt. Das geprüfte System muss autonom arbeiten, um den Bedarf des Gebäudes an Raumwärme, Warmwasser und ggf. Haushaltsstrom zu decken.

Nach 6 Tagen bzw. 144 Stunden ist das Ende des Prüfzyklus erreicht. Der Test wird dann aber noch nicht abgebrochen sondern läuft nahtlos weiter, wobei der Test wieder bei Tag 1 beginnt. Das Testende ist erst erreicht, wenn das sogenannte Concise Cycle Kriterium erreicht ist. Dadurch wird sichergestellt, dass innerhalb des Systems keine Energie gespeichert wird, bzw. dass der Zustand des Systems am Anfang und Ende des Tests identisch ist. Das Concise Cycle Kriterium für den Abbruch, bzw. das erfolgreiche Abschliessen des Tests, besteht aus mehreren Punkten:

- **Energiebedarf**
Am Ende dieses siebten Test-Tage kann der Verbrauch an Brennstoff oder elektrischer Energie in der Periode 0 h bis 144 h (vgl. Phase „A“ in Abbildung 6) mit dem Verbrauch an Brennstoff oder elektrischer Energie in der Periode 24 h bis 168 h (Phase „B“) verglichen werden. Sind diese Werte identisch ($\pm 1\%$), so kann davon ausgegangen werden, dass der Energiegehalt der verwendeten Speicher zu Beginn und Ende des Tests identisch war. Trifft dies nicht zu, so war die Konditionierung der Speicher nicht ungenügend und der Test wird fortgesetzt, um den Vergleich von Phase „B“ mit Phase „C“ anzustellen.
- **Speichertemperatur**
Die Speichertemperatur wird mittels Anlegefühlern an der Speicherwand gemessen. Über diese Temperaturmessung kann eine mittlere Speichertemperatur bestimmt werden. Diese Temperatur muss zu Beginn und am Ende des Testzyklus identisch sein ($\pm 0.2\text{ K}$). Wenn die Temperatur nicht übereinstimmt bedeutet dies, dass die Konditionierung des Speichers nicht korrekt war und sich der Energiegehalt des Speichers während der Testperiode verändert hat. In diesem Fall muss der Test für mindestens 24 h weiter laufen um am Ende des nächsten Tages erneut den Vergleich zwischen Anfangs- und Endtemperatur zu ziehen.
- **Ladezustand der Batterie**
Falls eine Batterie Teil des geprüften Systems ist muss überprüft werden, ob der Ladezustand der Batterie zu Beginn und am Ende des Testzyklus identisch ist. Dies kann entweder über die Anzeige der Batterie selbst erfolgen, oder mittels der Bilanzierung der zugeführten und abgegebenen elektrischen Leistung.

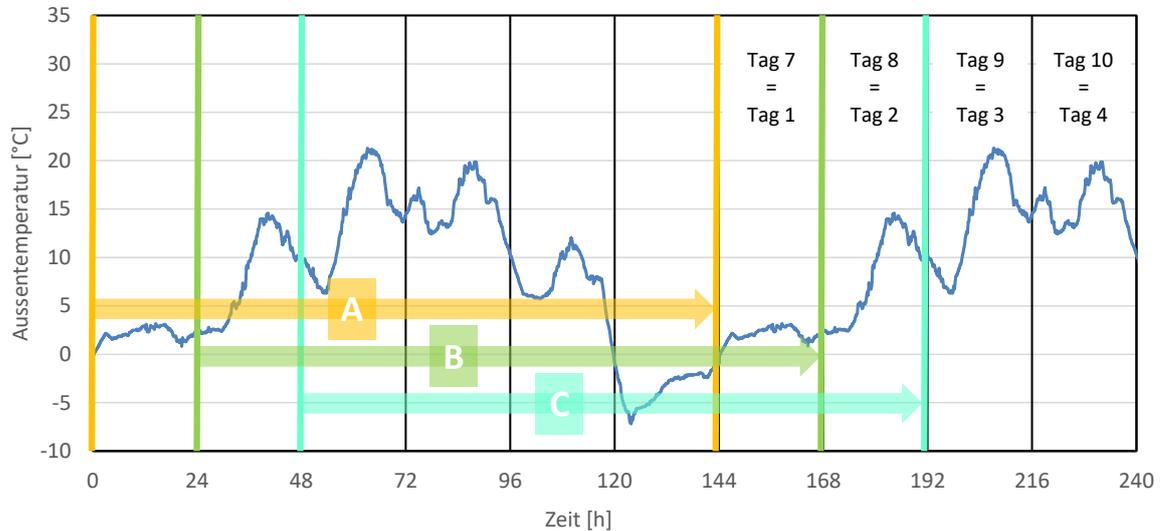


Abbildung 6: 6-Tages Test-Sequenz als Zyklus, der nahtlos aneinandergereiht, respektive wiederholt, wird. Der Test kann erfolgreich abgeschlossen werden, wenn die Auswertung von zwei aufeinanderfolgenden Phasen identisch ist ($A = B$ oder $B = C$ etc.).

4.3 Raumheizung



Abbildung 7: Raumwärmeverteilung.

Die Reaktion der Fussbodenheizung auf die tatsächlich gemessene Vorlauftemperatur und den Massenstrom in der Heizkreisverteilung. Durch den Prüfstand wird diese Reaktion mit Hilfe eines Wärmeübertragers emuliert, der Wärme an den Kühlkreislauf des Prüfstandes abgibt.

Im Hintergrund der Messung läuft die Simulation eines Gebäudes inklusive einer Fussbodenheizung. Dazu wurden die Berechnungen der EN ISO 13790 ("Energieeffizienz von Gebäuden - Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung (ISO 13790:2008)," 2008) in ein Simulationsmodell übertragen. Diese Simulation berechnet die Sollheizleistung im Verlauf des Tests wurde vorab definiert und in ein Profil übertragen. Dieser Sollwert entspricht derjenigen Wärmemenge die nötig ist, um die Raumtemperatur im Gebäude bei exakt 20 °C zu halten¹⁶. Um dem geprüften System die Möglichkeit zu geben, die Raumwärme nach der eigenen Regelstrategie zu liefern, wurde neben dem laufenden Sollwert auch eine maximale Abweichung von dieser Grösse definiert (vgl. Abbildung 8). Überschreitet die Wärmelieferung an das Gebäude diesen Sollwert, so wird die Wärmelieferung durch den Prüfstand gedrosselt.

¹⁶ Die vorgängige Definition der Raumheizungslast ist nötig, um eine identische Last für alle Prüfungen zu fixieren. Erst durch eine genaue Definition der Rahmenbedingungen und Massnahmen zur Einhaltung dieser Bedingungen können die Ergebnisse aller Tests direkt miteinander verglichen werden.

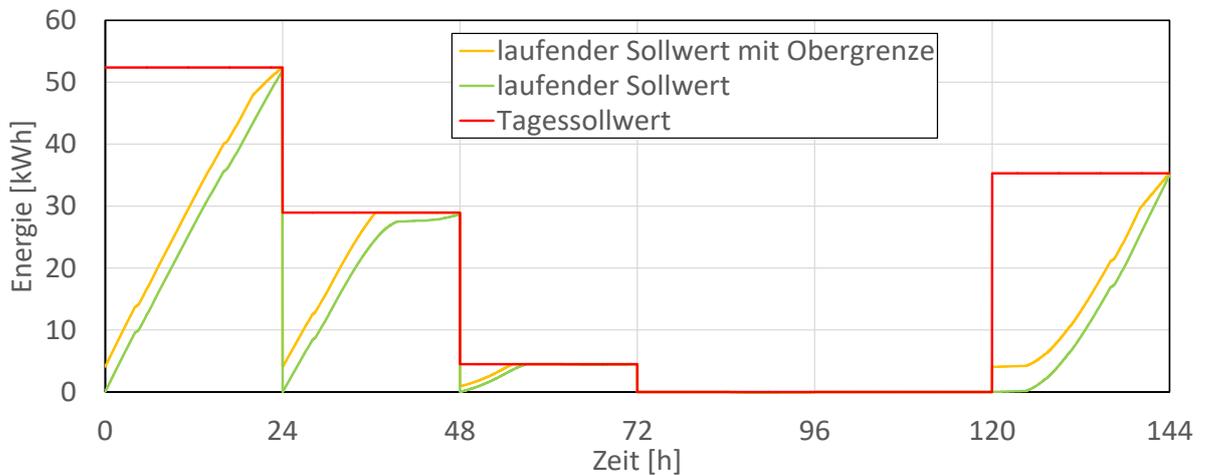


Abbildung 8: Vordefinierte Raumheizungslast als Tagessollwert. Die gelbe Linie zeigt die Obergrenze der kumulierten Energie im Verlauf der Messung. Bei Überschreiten dieser Linie wird die Energielieferung an das Gebäude durch den Prüfstand gedrosselt.

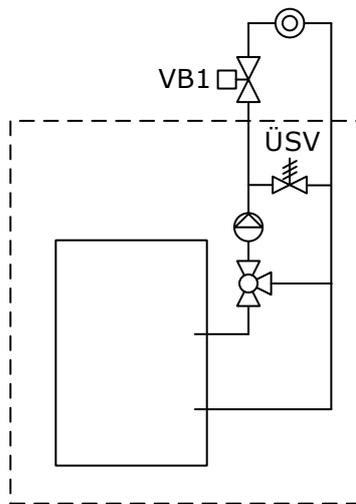


Abbildung 9: Begrenzung der Raumwärmelieferung durch den Prüfstand.

Um die Lieferung an Raumwärme zu begrenzen wird der Massenstrom im Heizkreis durch den Prüfstand begrenzt. Hierzu wird das in Abbildung 9 gezeigte Ventil „VB1“ verwendet.

Dieses Ventil wird nach 2 Kriterien angesteuert: Bei Überschreiten der Raum-Solltemperatur mit 50 %/K (Emulation eines Thermostatventils) und bei Überschreiten des laufenden Energie-Sollwertes mit 25 %/kWh. Entsprechend wird das Ventil sowohl komplett geschlossen wenn die Raumtemperatur 22 °C erreicht, als auch wenn der laufende Energie-Sollwert um 4 kWh überschritten ist. Bei Erreichen des Tagessollwertes für die Energielieferung wird das Ventil komplett geschlossen.

Um einen Schaden an der Heizkreispumpe oder anderen Komponenten zu verhindern kann auf Herstellerseite ein Überströmventil (ÜSV) (vgl. Abbildung 9) installiert werden.

Ziel der gesamten Systemtestmethode ist es, Heizsysteme unter realistischen Betriebsbedingungen zu testen. Dies impliziert, dass der Prüfling seine eigene Steuerungs- und Steuerstrategie verwendet. Die Regelparameter müssen jedoch so angepasst werden, dass der Wärmebedarf des emulierten Gebäudes gedeckt wird. Da die Testsequenz eine Kurzzeit-Testsequenz darstellt, müssen die folgenden Punkte beachtet werden:

- Die Mittelwertbildung der Umgebungstemperatur als Kriterium für die Heizperiode und zur Bestimmung der Vorlaufsolltemperatur für die Raumheizung muss deaktiviert, oder auf ≤ 1 h verkürzt werden.

- Heizperiode: Die Schwellen für Start und Stopp der Heizperiode für das emulierte Gebäude sind idealerweise auf 14 °C (Beginn der Heizperiode) bzw. 16 °C (Ende der Heizperiode) einzustellen.
- Keine Nachtabsenkung

Zur Bestimmung der korrekten Heizkurve wurde die Kennlinie in Abbildung 10 erstellt. Diese zeigt die nötige Vorlauftemperatur des Heizsystems in Abhängigkeit des Massenstroms zur Deckung des Wärmebedarfes bei Auslegetemperatur. Nach der Installation des Systems kann der Massenstrom über die Heizkreisverteilung abgelesen werden (Abhängig vom Druckverlust des Systems, der Heizkreispumpe und der eingestellten Stufe). Dieser Massenstrom wird auf der x-Achse eingetragen. Am Schnittpunkt mit der Kennlinie kann die korrekte Temperatur abgelesen werden. Mit dieser Temperatur wird wiederum die Steigung der Heizkurve bestimmt.

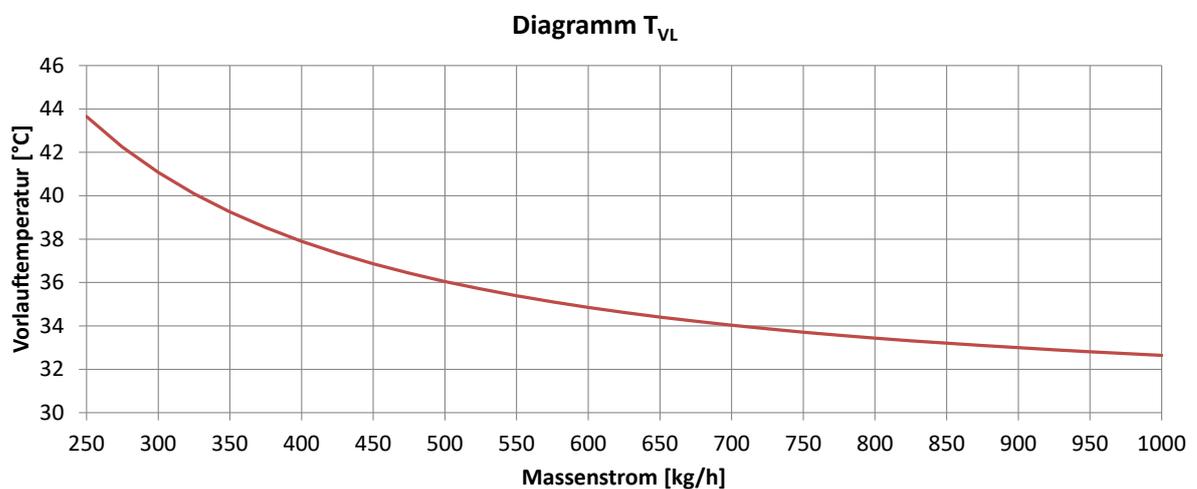


Abbildung 10: Nötige Vorlauftemperatur der Raumheizung in Abhängigkeit des Massenstroms zur Deckung des Wärmebedarfes bei Auslegetemperatur (ohne interne Lasten).

4.4 Warmwasserbereitung

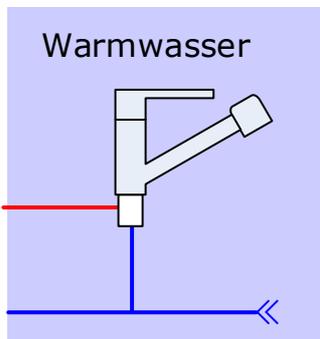


Abbildung 11: Warmwasserbereitung

Dem Test ist ein Warmwasserzapfprofil hinterlegt (vgl. Abbildung 12). Insgesamt beträgt der WW-Bedarf über die 6 Tage 47.6 kWh. Die Zapfungen sind weder im Tagesverlauf noch an den verschiedenen Tagen gleichmässig verteilt. Stattdessen sind die Zapfungen typisch für einen 4-Personen Haushalt mit jeweils grösseren Bezügen am Morgen (Dusche) und teilweise am Abend (Badewanne).

Die Kaltwassertemperatur wird stimmig zu den Wetterdaten konditioniert und liegt zwischen 8.7 °C und 16.2 °C. Der Volumenstrom liegt zwischen 5 l/min und 18 l/min am Punkt der Zapfung (Hahn / Duschbrause). Das heisst, nachdem der Nutzer eine Beimischung von Kaltwasser an der Mischarmatur induziert hat um eine gemischte Temperatur von 40 °C zu erreichen. Während der Zapfungen mit grossem Volumenstrom muss eine Vorlauftemperatur von 45 °C erreicht werden. Dies ist unabhängig davon, ob ein interner Wärmeübertrager oder ein Frischwassermodul (FWM) eingesetzt wird. Ein Verbrühungsschutz, der die Temperatur auf maximal 52.5 °C begrenzt, wird als Teil des Systems betrachtet, wenn die Speichertemperaturen 65 °C überschreiten können.

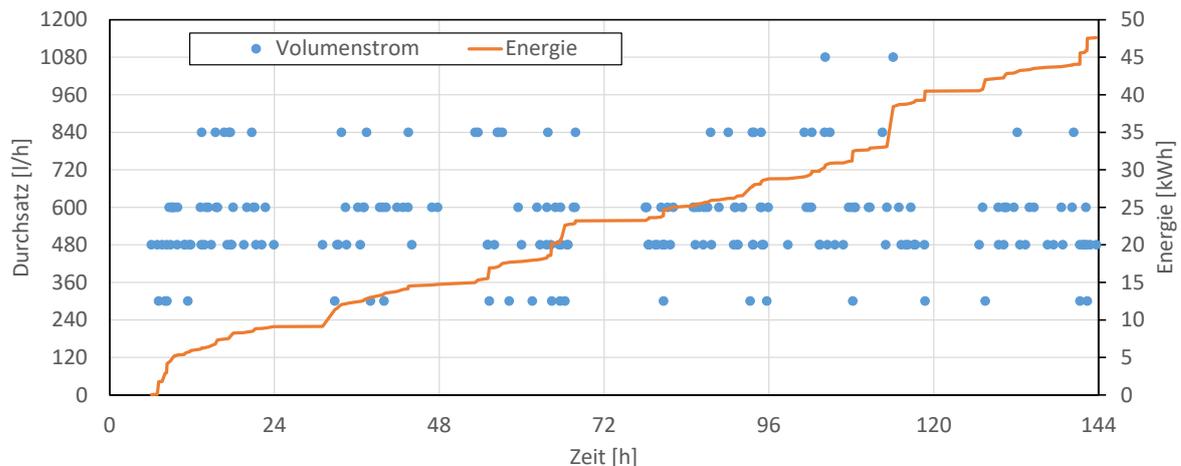


Abbildung 12: Zapfprofil für Warmwasser. Gezeigt wird die kumulierte Energie im 6-Tages Zyklus. Zu jeder einzelnen Zapfung ist zusätzlich der (gemischte) Durchsatz dargestellt.

In Abbildung 13 ist für zwei verschiedene Systeme die Abgrenzung zwischen dem Prüfstand und dem geprüften System zu sehen. Das eingezeichnete Mischventil ausserhalb der Bilanzgrenze ist Teil des Prüfstands. Es wird auf 40 °C eingestellt, um die Mischung an der Entnahmestelle zu emulieren. Mit dieser Massnahme werden realistische Volumenströme im System in Abhängigkeit der gelieferten Temperatur des Warmwassers gewährleistet. Der Verbrühungsschutz seitens des geprüften Systems kann durch einen Passivmischer oder durch einen entsprechenden Sollwert im FWM gewährleistet werden.

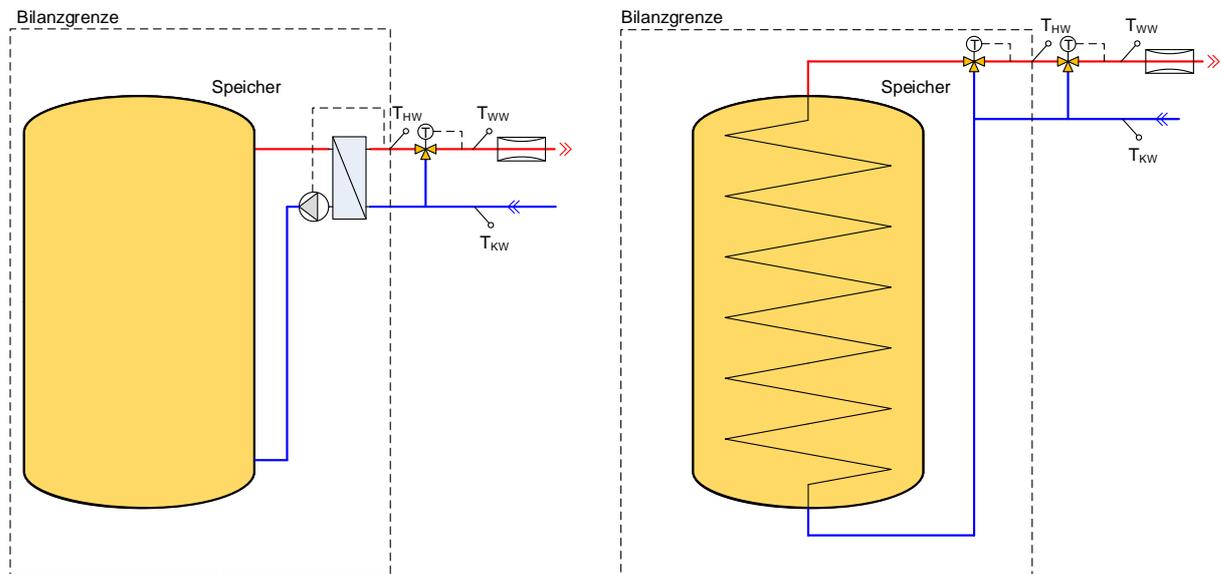


Abbildung 13: Hydraulisches Schema des Warmwasserteils, das die Systemgrenze zwischen dem Prüfstand und dem geprüften System zeigt.

4.5 Solarthermische Kollektoren

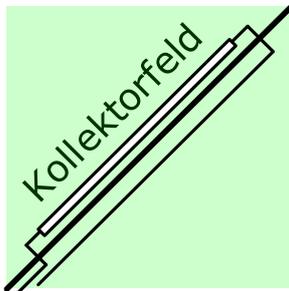


Abbildung 14: Solarthermische Kollektoren

In Kapitel 3.1 ist beschrieben, dass ein Kollektorfeld nicht real installiert, sondern durch den Prüfstand emuliert wird. Hierfür muss durch den Hersteller der Kollektortyp und die Anzahl bzw. Grösse des Kollektorfeldes¹⁷ bestimmt werden. Dieses Kollektorfeld wird dann in einem Simulationsmodell abgebildet. Die dazu benötigten Kennwerte (vgl. Tabelle 15) müssen aus Prüfungen nach EN ISO 9806 ("Solarenergie - Thermische Sonnenkollektoren - Prüfverfahren (ISO 9806:2017)," 2017) verfügbar sein, und diese Prüfung muss von einem zertifizierten Prüfinstitut durchgeführt worden sein. Zusätzlich wird eine Zeichnung benötigt, aus der die hydraulische Verschaltung des Kollektorfeldes hervorgeht.

Es ist möglich, auch spezielle Kollektortypen einzubinden. In diesen Fällen müssen zusätzlich zu den Parametern aus Tabelle 15 auch die Parameter a_3 bis a_8 aus der ISO 9806:2017 bekannt sein. Dies ist z.B. dann nötig, wenn der Kollektor als Quelle für eine Wärmepumpe verwendet und unter der Umgebungstemperatur betrieben wird. Die Details für solche speziellen Anwendungsfälle müssen vorab mit dem SPF geklärt werden¹⁸.

¹⁷ Es können Kollektorfelder bis zu einer Bruttofläche von 15 m² emuliert werden.

¹⁸ Für ungedeckte Kollektoren, PVT-Kollektoren oder andere Spezialfälle sind evtl. Vorabmessungen des Kollektors nötig. Ggf. kann auch auf bereits vorhandene Messdaten und Simulationsmodelle zurückgegriffen werden.

Die Simulation des Kollektorfeldes dient dazu, die Temperatur sowohl im Betrieb als auch im Stillstand zu berechnen und durch Emulation bereitzustellen. Meist benötigt das geprüfte System die Kollektortemperatur während dem Test, um darauf basierend die Anlage zu regeln. Zu diesem Zweck muss ein Kollektorfühler geliefert und in einer Konditionierungsbox platziert werden, welche laufend die aktuelle Temperatur abbildet.

Die Kollektorkreisleitung (vgl. Kapitel 3.1) wird im Testraum installiert. Dazu wird die Leitung als Spirale an der Decke aufgehängt. Grund für dieses Vorgehen ist die Trägheit des Kollektorkreises, die nicht durch Simulationen abgedeckt werden kann. Ein Expansionsgefäß, ausgelegt auf die Grösse des Kollektorfeldes, muss ebenfalls installiert werden. Das Frostschutzgemisch im Kollektorkreis wird durch das SPF gestellt.

Tabelle 15: Daten für die Simulation und Emulation des Kollektorfeldes.

Grösse	Einheit	Beschreibung
A	m ²	Fläche eines Kollektors (Referenzfläche, üblicherweise die Bruttofläche)
η_0	-	Konversionsfaktor (optischer Wirkungsgrad) ^(a)
a ₁	W/(m ² K)	Wärmedurchgangskoeffizient ^(a)
a ₂	W/(m ² K ²)	Temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient ^(a)
C _{eff}	kJ/(m ² K)	Spezifische Wärmekapazität eines Kollektors ^(a)
IAM		Einfallswinkelkorrektor (Incident Angle Modifier); Angabe als b ₀ und b ₁ , Ambrosetti-r oder als Tabelle (im Fall von Vakuumröhrenkollektoren bidirektional)
dp	bar	Druckverlust eines Kollektors ^(b)
\dot{m}	kg/h	Massenstrom aus dem Kollektortest

^(a) bezogen auf die Referenzfläche

^(b) falls der Druckverlust nicht gemessen wurde erfolgt eine Abschätzung aufgrund einer Zeichnung des Kollektors/Absorbers

4.6 PV Module

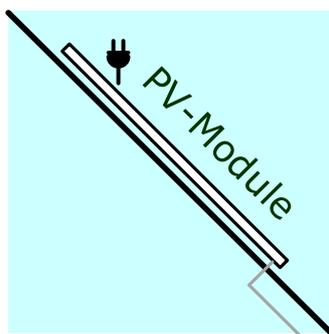


Abbildung 15: PV-Feld.

Ein Emulator liefert im Test Gleichstrom nach einer Simulation des PV-Feldes. Dabei wird aufgrund der Strahlungsdaten aus dem Wetterdatensatz die Modultemperatur und die aktuelle Leistung bestimmt und umgesetzt.

Durch den Hersteller kann der Modultyp sowie die Anzahl der Module im Rahmen der Möglichkeiten des Emulators gewählt werden. Die Spezifikationen des Emulators sind in Tabelle 16 dargestellt. Aus dem Datenblatt des PV-Moduls müssen die Parameter aus Tabelle 17 ersichtlich sein, die zur Bestimmung der I/V Kurve des Moduls benötigt werden.

Zur Verbindung des Emulators mit einem Wechselrichter sind alle gängigen Verbindungen vorhanden. Falls durch den Hersteller kein Wechselrichter geliefert wird kann durch das SPF ein Gerät gestellt werden¹⁹.

Tabella 16: Technische Daten des PV-Emulators.

Grösse	Einheit	Bereich
P	kW	0 ... 10 kW
U	V	0 ... 1000 VDC
I	A	0 ... 13 A

Tabella 17: Daten für die Simulation und Emulation des PV-Feldes.

Grösse	Beschreibung
FFv	V_{MPP}/V_{OC} ; Spannung im Maximal Power Point (MPP) geteilt durch Leerlauf-Spannung (OC = Open Circuit)
FFi	I_{MPP}/I_{SC} ; Strom im MPP geteilt durch Kurzschluss-Strom (SC = Short Circuit)
α	Änderung von I_{SC} mit der Temperatur der Zelle
β	Änderung von V_{OC} mit der Temperatur der Zelle
V_{LZH}	Einstrahlungs-Abhängigkeit von V_{MPP} : $V_{MPP} @ 200 \text{ W/m}^2 / V_{MPP} @ 1000 \text{ W/m}^2$

4.7 Haushaltsstrom

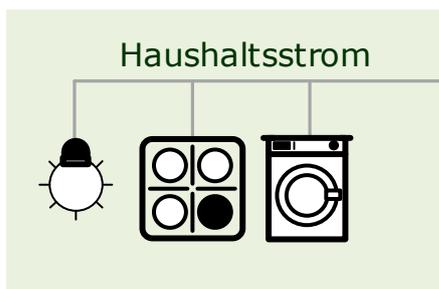


Abbildung 16: Haushaltsstrom.

Bei Verwendung von PV-Modulen im Systemtest spielt zur Bestimmung von Kennzahlen wie Eigenverbrauch, Autarkiegrad oder Netzaufwandszahl auch der Bedarf an el. Energie für Haushaltsgeräte eine Rolle. Deshalb ist dem Test ein Profil für den Verbrauch an Haushaltsstrom hinterlegt.

In Abbildung 17 ist die kumulierte Energie während des 6-Tages Test dargestellt. Wie für das Warmwasser Zapfprofil gilt auch für den Haushaltsstrom, dass die Verteilung typisch ist und nicht regelmässig für Tage oder im Tagesverlauf. Insgesamt beträgt der Bedarf für Haushaltsstrom 54.2 kWh. Der Bezug ist in Stufen aufgeteilt mit Leistungen zwischen 34 Watt (Grundlast) und 4.9 kW. Die Häufigkeit der einzelnen Stufen ist in Abbildung 18 dargestellt. Das Profil hat eine zeitliche Auflösung von 1 min.

¹⁹ SMA STP 7000TL, max. Generatorleistung (DC) 13500 Wp, Bemessungsleistung (AC) (bei 230 V, 50 Hz) 7000 W

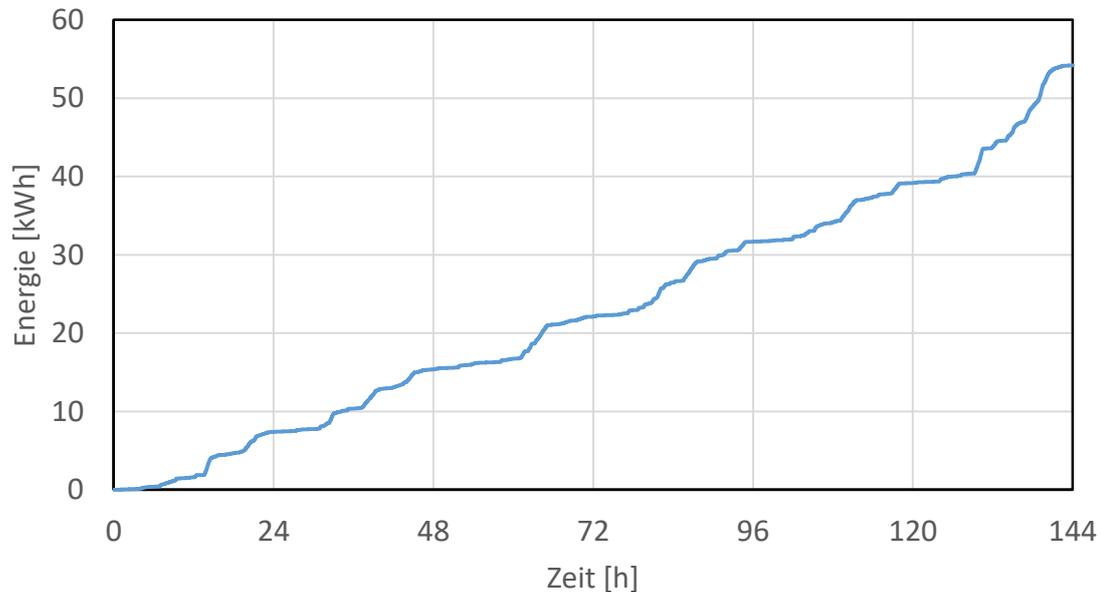


Abbildung 17: Haushaltsstromprofil im CCT. Gezeigt wird die kumulierte Energie im 6-Tages Test.

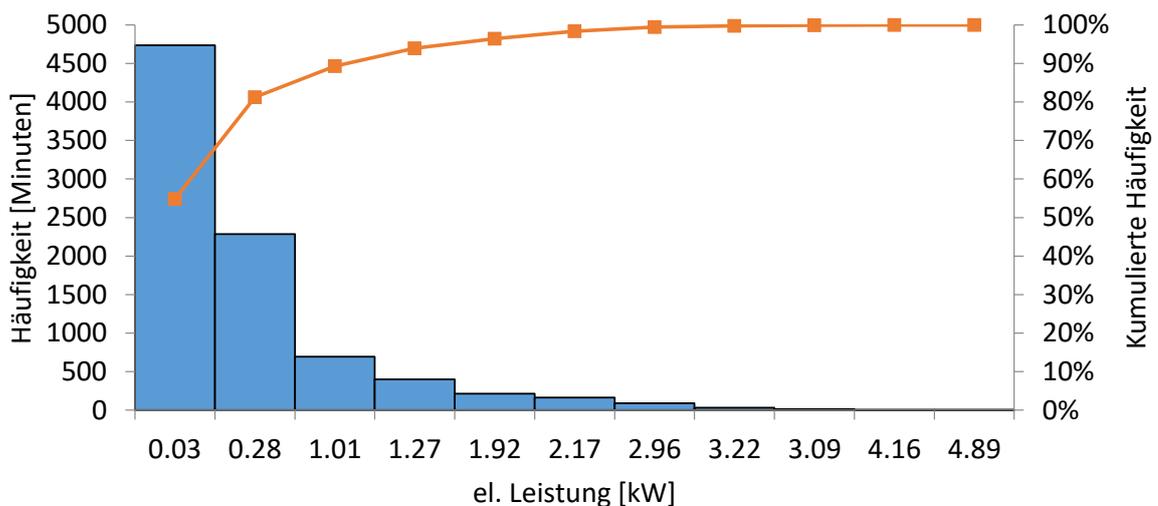


Abbildung 18: Häufigkeit der elektrischen Leistung im Haushaltsstromverbrauch nach den Leistungsstufen.

4.8 Wärmeerzeuger

4.8.1 Generell

Alle Zusatzheizungen und Notheizungen, die zum Decken des Komfortbedarfs für Heizung und Warmwasser benötigt werden, sind Teil des zu prüfenden Systems und müssen entsprechend geliefert und installiert werden. Durch den Prüfstand werden jeweils die Rahmenbedingungen geschaffen, um die Zusatzheizung nutzen und deren Bedarf an Brennstoff oder el. Energie messen zu können.

4.8.2 Wärmepumpe

Bei der Verwendung von Wärmepumpen wird die Umweltwärme entsprechend der Wetterdaten des Tests zur Verfügung gestellt.

Im Fall von **Sole/Wasser**-Wärmepumpen wird durch den Prüfstand eine Erdsonde a 123 m Länge simuliert und emuliert. In der Simulation entspricht die Temperatur des Erdreichs der Temperatur der zugehörigen Jahreszeit. Auf diese Weise werden realistische Quelltemperaturen zur Verfügung gestellt. Die installierte Wärmepumpe muss eine Pumpe mit einer genügend hohen Förderleistung verbaut haben. Der Druckverlust über die Erdsonde ist in Abbildung 19 dargestellt.

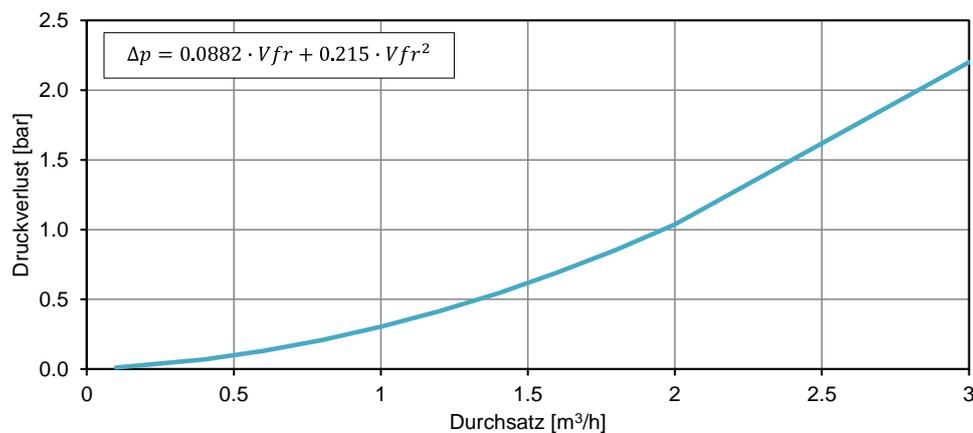


Abbildung 19: Druckverlust der Erdsonden in Abhängigkeit des Durchflusses.

Im Fall von **Luft/Wasser**-Wärmepumpen wird durch den Prüfstand die Aussenluft entsprechend der Wetterdaten zur Verfügung gestellt. Zu diesem Zweck muss die Ausseneinheit mit dem Verdampfer in der Klimakammer des Prüfstandes installiert werden. Die Verbindung zwischen der Ausseneinheit und der Installation im Technikraum ist Teil des zu prüfenden Systems und muss durch den Hersteller zur Verfügung gestellt und installiert werden. Zur Abschätzung der benötigten Leitungslänge (Kältemittel oder Glykol) kann die Skizze des Aufstellungsraums (Abbildung 2 in Kapitel 2.2) verwendet werden.

4.8.3 Heizkessel

Am Prüfstand steht ein Anschluss an einen Kamin zur Verfügung. Bei diesem Anschluss wird immer ein Unterdruck von 10 Pa gewährleistet. Neben dem Kamin steht auch ein Brennstofflager zur Verfügung. Im Fall von Pelletkesseln wird dieses Lager auf eine konstante Luftfeuchtigkeit konditioniert²⁰.

²⁰ Untersuchungen haben ergeben, dass der Feuchtegehalt von Holzpellets relativ schnell der Feuchte der Umgebungsluft folgt. Um Änderungen des Heizwertes der Pellets zu verhindern wird deshalb die Umgebungsluft konditioniert.

5 Testresultat

5.1 Messpunkte

Thermische Messstellen

Die zur Bilanzierung wichtigen thermischen Grössen werden jeweils mit eingetauchten Temperaturfühlern im Vor- und Rücklauf sowie mit einem Volumen- oder Massstrommessgerät erfasst. Aus diesen Werten wird dann sekundlich die Leistung berechnet, die wiederum zu Energien aufkumuliert wird:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot [h(\vartheta_{in,i}) - h(\vartheta_{out,i})] \quad \text{Formel 16}$$

$$Q = \sum \dot{Q} \cdot \Delta t \quad \text{Formel 17}$$

Die thermische Last (Nutzwärme) im Test besteht aus der Raumheizungslast und dem Warmwasserbedarf:

Q_{RH} In die Raumheizverteilung eingespiesene Energie.

Q_{WW} In die Warmwasserverteilung eingespiesene Energie. Die Energie wird aufgeteilt in einen Anteil „nutzbarer“ und „nicht nutzbarer“ Energie. Als nutzbar wird die Wärme nach dem Erreichen der Mindesttemperatur von 40 °C bezeichnet.

Für die Berechnung der Nutzwärme wird entsprechend nur der Anteil „nutzbarer“ Energie verwendet.

Zusätzlich zur Bestimmung der Nutzwärme können auch Messstellen innerhalb der Systemgrenzen definiert werden. Diese können zum besseren Verständnis des Systems dienen, sind aber zur Bestimmung der Kenngrössen nicht notwendig. Mögliche Messstellen sind zwischen dem Wärmeerzeuger und dem Speicher oder zwischen externen Wärmeübertragern und dem Speicher.

Standardmässig wird die Messung der Temperatur im Speicher durchgeführt. Dazu wird ein Fühlerband mit acht Anlegefühlern, die äquidistant verteilt sind, auf die Aussenwand des Speichers aufgeklebt.

Weitere Anlegefühlern können an Positionen wie z.B. dem primärseitigen Rücklauf eines Frischwassermoduls, vor und nach Umschaltventilen oder im Kältemittelkreis einer Wärmepumpe angebracht werden.

Brennstoffverbrauch

Im Fall von Systemen mit Heizkesseln wird der Verbrauch des Brennstoffes kontinuierlich gemessen. Zusammen mit der Analyse des Brennstoffes kann daraus die zugeführte Leistung bestimmt werden.

Elektrische Messstellen

Zur Messung der elektrischen Leistung stehen mehrere Messgeräte zur Verfügung, die je nach System Anwendung finden. Galvanisch eingebunden kann die Leistung in verschiedenen Stufen gemessen werden, wenn möglich auf mehrere Messstellen verteilt. Zusätzlich stehen Rogowski-Spulen zur berührungslosen Messung bereit.

Die Grösse die immer bestimmt wird, ist der Netzbezug:

W_{NB} Gesamte bezogene elektrische Arbeit ab Netz.

Einzeln gemessen werden z.B. der Verbrauch eines Reglers oder der Verbrauch von Pumpen (Solarkreis- oder Raumheizungspumpe).

Für Systeme mit PV-Anlage werden weitere Grössen ermittelt:

W_{PV} Produzierter PV-Strom. Die Messung erfolgt gleich- und wechselstromseitig, zur Bilanzierung wird die Messung des Wechselstroms verwendet.

W_{HH} Im Gebäude benötigter Haushaltsstrom.

W_{NE} Netzeinspeisung.

Zum besseren Verständnis und zur Funktionskontrolle werden Grössen bestimmt wie z.B.:

W_{BatLad} Elektrische Energie, die zur Ladung der Batterie aufgewendet wird (AC, d.h. gemessen vor dem Batteriewechselrichter).

W_{BatEnt} Elektrische Energie, die durch Entladung der Batterie zur Verfügung steht (AC, d.h. gemessen nach dem Batteriewechselrichter).

$W_{el,HSys,WP}$ Verbrauch der Wärmepumpe (Kompressor).

Der elektrische Gesamtenergieverbrauch wird als W_{ges} bezeichnet. Dieser besteht aus dem elektrischen Energiebedarf für Haushaltsstrom und dem elektrischen Verbrauch des Heizsystems (inklusive Batteriesystemverluste). Der gesamte Strom, der von der PV-Anlage geliefert aber nicht eingespiesen wurde, plus der Netzbezug, ergibt den Gesamtenergieverbrauch:

$$W_{ges} = W_{PV} - W_{NE} + W_{NB} \quad \text{Formel 18}$$

5.2 Bestimmung der Kenngrössen

Der Testzyklus des CCT ist für Systeme mit PV-Modulen oder solarthermischen Kollektoren gleichermaßen geeignet. Ziel der Methode ist eine direkte Extrapolation der Resultate auf Jahreswerte. Diese Extrapolation muss dabei die Leistung der solarthermischen Kollektoren über einen Korrekturfaktor berücksichtigen, um einer Überbewertung der Solarwärme entgegenzuwirken. Der Korrekturfaktor ist abhängig von der verwendeten Leistung des Kollektorfeldes bei 700 W/m^2 Einstrahlung und einer Temperaturdifferenz von 30 K.

Die Korrektur wird auf den Energieverbrauch des Wärmereizers angewendet. Im Fall einer Wärmepumpe also auf den Bedarf an el. Energie. Die Korrektur erfolgt nach folgenden Formeln:

P_{CC} Leistung des Kollektorfeldes bei 700 W/m² Einstrahlung und einer Temperaturdifferenz von 30 K.

$$F_C = 1 + (-0.002 * P_{CC}^2 + 0.035 * P_{CC}) \quad \text{Formel 19}$$

$$W_{NB} = \left(\frac{W_{NB,CCT} \cdot 365}{6} \right) \cdot F_C \quad \text{Formel 20}$$

$$JAZ = \frac{Q_{RH,CCT} + Q_{WW,CCT}}{W_{NB,CCT} * F_C} \quad \text{Formel 21}$$

Wie in den Kapiteln 4.3 Raumheizung und 4.4 Warmwasserbereitung beschrieben, ist die zu deckende Last im Test vordefiniert. Auf diese Weise können geprüfte Systeme direkt miteinander verglichen werden. Im Warmwasserkreis gibt es dabei eine spezielle Komponente: Im WW-Zapfprofil ist die Warmwasserenergie mit 47.6 kWh definiert. Die Wärme wird dabei erst gezählt, wenn die Temperatur als nutzbar (> 40 °C) gezapft wird. Die Energiemenge vor dem Erreichen dieser Schwelle wird als nicht nutzbar eingestuft. Erfahrungsgemäss beträgt diese Energie ca. 5 % der Gesamtenergie. Zur Berechnung der Kennzahlen wird als Warmwasserbezug mit 50 kWh gerechnet. Systeme, die sehr schnell die Solltemperatur erreichen, haben dadurch einen Vorteil gegenüber langsameren Systemen die entsprechend höhere Verluste haben.

Im Fall von Systemen, die Heizkessel für die Nachheizung verwenden, werden aus der Nutzwärme und dem Brennstoffbedarf verschiedene Nutzungsgrade berechnet. Der einfachste System-Nutzungsgrad berücksichtigt nur den Energieeintrag durch den Brennstoff in Form des oberen Heizwertes (Formel 22). Bezüglich der Ausnutzung des gesamten thermischen Energieeintrags ist auch der System-Nutzungsgrad unter Berücksichtigung des solaren Energieeintrages relevant (Formel 23). Der System-Nutzungsgrad (Formel 24) berücksichtigt die Energie-Einträge durch den Brennstoff und gewichtete elektrische Hilfsenergie, und gibt damit Auskunft über die Menge nicht-solarer Energie welche im Verhältnis zur Nutzenergie aufgewendet werden muss. Die Ausnutzung des gesamten Energieeintrags (Brennstoff + Solar + Elektrisch) wird mit (Formel 25) berechnet.

$$\zeta_{S,B} = \frac{Q_{RH} + Q_{WW}}{Q_B} \quad \text{Formel 22}$$

$$\zeta_{S,B+Sol} = \frac{Q_{RH} + Q_{WW}}{Q_B + Q_{Sol}} \quad \text{Formel 23}$$

$$\zeta_{S,B+el} = \frac{Q_{RH} + Q_{WW}}{Q_B + F_{el} \cdot W_{NB}} \quad \text{Formel 24}$$

$$\zeta_{S,B+Sol+el} = \frac{Q_{RH} + Q_{WW}}{Q_B + Q_{Sol} + F_{el} \cdot W_{NB}} \quad \text{Formel 25}$$

Im Fall von Systemen mit Wärmepumpen als Nachheizung wird die **Arbeitszahl** des Heizsystems bestimmt. Diese zeigt die Effizienz der gesamten Anlage und beinhaltet entsprechend auch die Verluste des Speichers / der Speicher und der Hydraulik (Formel 26).

$$AZ_{System} = \frac{Q_{RH} + Q_{WW}}{W_{el,HSys}}$$

Formel 26

Für Systeme, die PV-Anlagen enthalten, werden noch weitere Kennzahlen bestimmt.

Der **Gesamt-Nutzenergiebedarf** ergibt sich aus der Summe des Haushaltsstrombedarfs sowie den thermischen Energielieferungen für Raumheizung und Warmwasser:

$$E_{use} = Q_{RH} + Q_{WW} + W_{HH}$$

Formel 27

Das **Eigenverbrauchsverhältnis** gibt an, welcher Anteil des lokal produzierten PV-Stroms selbst verbraucht wird:

$$R_{eig} = \frac{W_{ges} - W_{NB}}{W_{PV}}$$

Formel 28

Die Unabhängigkeit vom externen Stromnetz wird durch den **Autarkiegrad** beschrieben:

$$R_{aut} = \frac{W_{ges} - W_{NB}}{W_{ges}}$$

Formel 29

Das Eigenverbrauchsverhältnis und der Autarkiegrad sind unter Umständen eine irreführende Kenngrösse. Durch den Einsatz einer Batterie wird zwangsläufig der elektrische Gesamtverbrauch erhöht²¹. Durch den grösseren Gesamtverbrauch, der jeweils im Zähler der Formeln zu finden ist, erhöht sich sowohl das Eigenverbrauchsverhältnis als auch der Autarkiegrad, und zwar je mehr je höher die Verluste der Batterie sind.

Deshalb wird als weitere Kennzahl die Netzaufwandszahl bestimmt. Sie beschreibt das Verhältnis der ab Netz bezogenen Energie zum Gesamt-Nutzenergiebedarf:

$$R_{net} = \frac{W_{NB}}{E_{use}}$$

Formel 30

²¹ Eine Batterie hat immer einen Wirkungsgrad < 1. Durch die Wechselrichter von AC zu DC bei der Beladung und von DC zu AC bei der Entladung sowie durch die Zelle selbst entstehen Verluste. Diese Verluste erhöhen den Gesamtverbrauch eines Systems.

6 Abkürzungsverzeichnis und Symbolverzeichnis

Die im vorliegenden Bericht verwendeten Abkürzungen sind hier dargestellt.

CCT	Concise Cycle Test
COP	coefficient of performance (Leistungszahl)
DN	Nennweite („diamètre nominal“)
EBF	Energiebezugsfläche
EFH	Einfamilienhaus („Single Family Home“)
FprEN	Endgültiger Entwurf einer Europäischen Norm
FWM	Frischwassermodul
PV	Photovoltaik
RH	Raumheizung
ÜSV	Überströmventil
WP	Wärmepumpe
WW	Brauchwarmwasser.

Im Folgenden sind die Symbole aufgeführt, die im vorliegenden Bericht verwendet wurden. Die Symbole sind alphabetisch sortiert, zunächst nach lateinischen Buchstaben, anschliessend nach griechischen.

Symbole:

AZ	Arbeitszahl
JAZ	Jahresarbeitszahl
COP	Leistungszahl
\dot{m}	Massenstrom
P_{cc}	Leistung des Kollektorfeldes bei 700 W/m ² Einstrahlung und einer Temperaturdifferenz von 30 K.
Q	Wärmemenge
\dot{Q}	Wärmestrom



R	Kennzahl
t	Zeit
P	Leistung
T	Temperatur
UA	Temperaturabhängiger Wärmeverlustkoeffizient
V	Ventil
W	Arbeit
Δ	Differenz
η	Wirkungsgrad

Indizes:

amb	Umgebung („Ambient“)
annual	Jährlich
aut	Autarkie
axial	Axial
bat	Batterie
C	Collector
eig	Eigenverbrauch
el	Elektrisch
ges	gesamt
HH	Haushaltsstrom
HSys	Heizsystem
in	Eintritt
net	Netz
MAX	Maximum
MIN	Minimum

NB	Netzbezug
NE	Netzeinspeisung
out	Austritt
rad	Strahlung („Radiation“)
RH	Raumheizung
RL	Rücklauf
VL	Vorlauf
WW	Warmwasser
6d	6 Tage

7 Referenzen

Energieeffizienz von Gebäuden — Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung (ISO 13790:2008), 2008.

Solarenergie - Thermische Sonnenkollektoren - Prüfverfahren (ISO 9806:2017), 2017.

R. Bründlinger, B. M. Burger und F. P. Baumgartner, «prEN 50530 - the new European standard for performance characterisation of PV inverters, » 23 May 2016. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/228652218>.