

## Jahresleistungsermittlung von Solarsystemen mit der Concise Cycle Test (CCT) Methode

### Einleitung

Zur Zeit gibt es kein international genormtes Prüfverfahren für solare Kombisysteme. Die im Bereich der solaren Warmwassersystemen bekannten Prüfverfahren sind nicht oder nur in unbefriedigender Weise auf solare Kombisysteme übertragbar.

Aus diesem Grund wurde am SPF eine Methode entwickelt mit der solare Kombisysteme ausreichend einfach und ausreichend genau untersucht werden können: die CCT oder Concise Cycle Test Methode. Dieses Verfahren basiert auf früheren und parallelen Arbeiten und Erfahrungen anderer Forschungsinstitute in Frankreich, Holland, Deutschland und besonders Schweden [Bales, 2004]. Innerhalb des IEA-Solarprogramms Task 26, Solar Combisystems [Weiss, 2003], wurde die Möglichkeit eines einfachen Prüfverfahrens untersucht und daraus schliesslich die CCT-Methode entwickelt. Sie ist ein Ergebnis dieser internationalen Forschungsarbeiten.

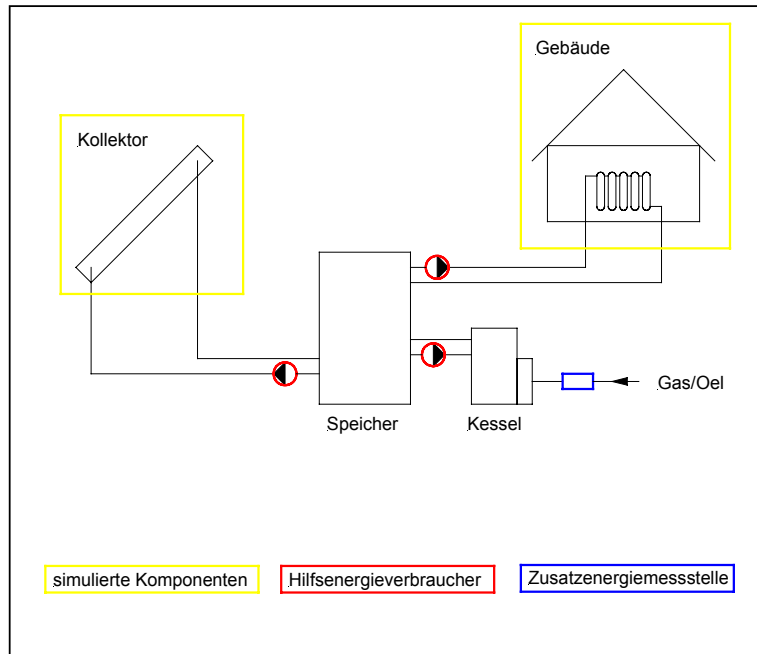


Abbildung 1 : Prinzipielles Messstellenschema CCT-Methode. Die farbig eingerahmten bzw. eingekreisten Elemente stellen Leistungs- bzw. Energiemessstellen dar. Es handelt sich im Prinzip um eine so genannte black box Methode, als innerhalb des Systems real installierter Komponenten keine Messungen ausgeführt werden müssen.

Beim CCT-Verfahren handelt es sich um eine Indoor-Prüfmethode (vgl. Abbildung 1). Es ist insofern eine Komponententestmethode, als die Kollektoren vorgängig geprüft werden müssen. Im Test werden sie durch einen Heiz- und Kühlkreis simuliert bzw. emuliert. Als weitere Komponente wird die Gebäudelast durch einen Kühlkreis simuliert, der seinerseits durch eine Gebäudesimulation gesteuert wird. Alle anderen Komponenten des Systems können installiert und direkt geprüft werden. Es sind dies in der Regel: Ein Wärmespeicher; ein Heizkessel; alle Verbindungen zwischen den Komponenten, die Solarkreisverrohrung eingeschlossen. Die Steuerung(en) werden alle komplett installiert und übernehmen die Steuer- und Regelungsfunktionen genau wie in einer Anlage in einem realen Haus. Eine

Kleinklimakammer erzeugt die Aussenlufttemperatur, die dem Zeitpunkt des Prüfablaufs entspricht. Der Aussentemperaturfühler der witterungsgeführten Heizungsregelung wird in dieser Kleinklimakammer untergebracht.

Ausser aller Regel- und Steuerungskomponenten schliesst das Prüfverfahren zur Beurteilung der Systemleistung auch die Zusatzenergiequelle (Brenner und Kessel) als real installiertes und im Zusammenspiel mit dem Rest der Anlage geprüfte Komponente mit ein. Dies ist äusserst wichtig, da der Wirkungsgrad des Gesamtsystems äusserst stark vom Nutzungsgrad der Feuerung abhängt und dieser sehr stark durch das Systemkonzept beeinflusst wird.

Da alle Komponenten der Anlage entweder real vorhanden sind und ungestört funktionieren, oder aber durch realistische Komponenten emuliert werden, kann die Funktion der Anlage unter vorteilhaften Laborbedingungen detailliert erfasst werden.

Einwandfreie Funktion ist bei den zum Teil komplexen Kombisystemen essentiell, um eine für den Erfolg dieser Anlagen unabdingbare Zufriedenheit der Anwender zu erreichen. Nach Ansicht der Entwickler des Prüfverfahrens ist das Element Funktionskontrolle ebenso wichtig wie die Ermittlung der Leistungsfähigkeit. Die folgenden Ausführungen beschränken sich jedoch auf die Ermittlung der Leistungsfähigkeit.

## Messungen

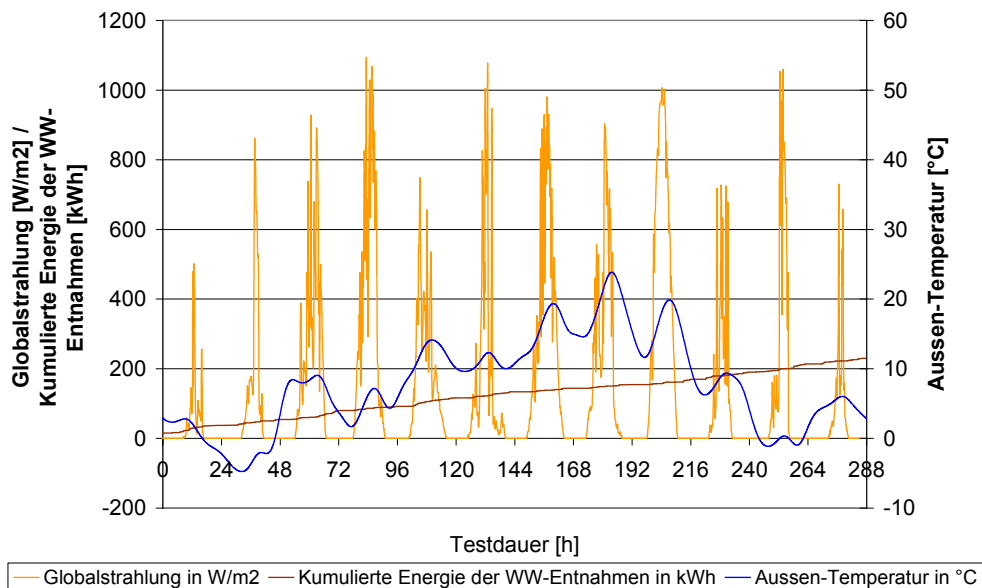


Diagramm 2: Prüfzyklus der CCT-Testmethode Die Tage der Kernphase wurde so ausgewählt, dass sie in Bezug auf Mittelwert und Fluktuation weitgehend ein typisches Jahr des interessierenden Klimas, in diesem Fall des Schweizerischen Mittellandes, repräsentieren. So sind z.B. Strahlungssumme, und Gebäudeheizlast während der 12-tägigen Kernphase um den Faktor 12/356 kleiner als beim Jahreszyklus desselben Klimas, entsprechend dem Verhältnis der Dauer der beiden verschiedenen Zyklen.

Gemessen werden insbesondere: der Verbrauch an Zusatzenergie (Brennstoff, Gas oder Öl) und der Verbrauch elektrischer Hilfsenergie. (Vgl. auch Abbildung 1). Dabei kann, sofern dies aufgrund der Systemkonzeption überhaupt möglich ist, unterschieden werden, ob die Hilfsenergie für den Solarkreis, für die Zusatzwärmeerzeugung oder für die Wärmeverteilung verwendet wird.

Das System von realen und realistischen Komponenten wird während des Tests einem Zyklus mit typischen Fluktuationen von Klima, Warmwasserlast und Raumheizungslast unterworfen. Über den ganzen Zyklus gleichen die Bedingungen dem Ablauf eines Jahres. Der Zyklus fasst also die Bedingungen eines Jahres möglichst kurz aber präzise zusammen, weswegen das Verfahren als concise cycle test bezeichnet wird (concise = kurz, bündig,

prägnant, präzise, zusammenfassend). Das Prinzip des Verfahrens beruht darauf, dass die Bedingungen während des Tests mit den Bedingungen, die für die Jahresleistungsberechnung verwendet werden, möglichst weitgehend übereinstimmen. Aus der Messung der Systemleistung während des Tests lässt sich bereits grob auf die Systemleistung während eines Jahres schließen. Wie Simulationen des Testzyklus und Jahressimulationen zeigen, ergibt die Hochrechnung des Energieverbrauchs aufgrund der verschiedenen Dauer des Testzyklus (12 Tage) und des Jahres eine gute Indikation des Jahresenergieverbrauchs. Allerdings lässt sich die Jahresleistung nur für Jahresbedingungen bestimmen, die den Bedingungen im Test nahe kommen. In wie fern sich auf Grund einer Prüfung auch auf die Systemleistungsfähigkeit bei anderen als den in der Prüfung vorgegebenen Lasten und Klimas bestimmen lässt, ist nicht geklärt. Deshalb werden zur Zeit nur Jahresleistungsdaten für ein einziges Klima und eine einzige Last bestimmt.

Vor dem Beginn des Testzyklus wird der Wärmespeicher auf eine vordefinierte Anfangstemperatur gebracht (Initialisierungsphase). Es folgt eine weitere 18-stündige Konditionierungsphase und daran anschliessend der 12-tägige Prüfzyklus, der in Diagramm 2 dargestellt ist. Die Konditionierungsphase, die dem Prüfzyklus unmittelbar vorausgeht, entspricht den letzten 18 Stunden des Prüfzyklus. Die zwölf Tage des Prüfzyklus wurden aus einer grossen Anzahl von realen Messdaten mit relativ hoher zeitlicher Auflösung (10 Minuten) ausgesucht. Die Reihenfolge der Tage entspricht in ihrer Charakteristik einem Jahresablauf, sie beginnt und endet mit kalten und strahlungsarmen Tagen.

### **Jahresleistungsberechnung**

Aus zwei Gründen führt die Multiplikation des Energieverbrauchs aus dem zwölf-tägigen Prüfzyklus mit  $365/12$  nicht zum exakten Jahresenergieverbrauch:

- Der Prüfzyklus ist kürzer als ein Jahr. Durch die Verkürzung der saisonalen Fluktuation, verstärkt sich die Wirkung der Wärmespeicherung. Dies führt zu einem höheren Solarertrag bzw. einem geringfügig kleineren Zusatzenergieverbrauch.
- Im Prüfzyklus ist der Energieverbrauch zur Raumheizung zwischen verschiedenen geprüften Anlagen verschieden. Jedes geprüfte System und besonders seine Regelung bestimmt in der Prüfung den Energieverbrauch zur Raumheizung selbst. Sowohl der Durchfluss als auch die Vorlauftemperatur werden durch das System bestimmt und geliefert. Die Rücklauftemperatur ergibt sich aus der Reaktion des Gebäudes. Soll der Verbrauch verschiedener Anlagen an Zusatzenergie (Brennstoff) und an Hilfsenergie (Elektrische Energie für Hilfsaggregate wie Pumpen, Steuerung, Gebläse, etc.) vergleichbar sein, muss der Energieverbrauch zur Raumheizung aber übereinstimmen.

Aus diesen beiden Gründen ist es erforderlich, die direkten Resultate des Tests mittels Systemsimulation zu korrigieren. Aus dem Vergleich des Energieverbrauchs bei der Simulation des Tests und der Jahressimulation lassen sich die Jahresleistungswerte zuverlässig bestimmen. Basis für die Simulationen bildet ein Simulationssystem mit Parametern, die aufgrund der vorhandenen Angaben geschätzt werden. Typisch lassen sich das Speichervolumen, die Position von Ein- und Austritten aus dem Speicher, die Leistung des Wärmeerzeugers, das Volumen des Zusatzwärmeerzeugers, dessen Leistung, die Wärmedurchgangskoeffizienten der Solarkreisleitung und ähnliche Parameter zuverlässig abschätzen, bzw. durch einfache Messungen bestimmen. Die Parameter, die den Kollektorwirkungsgrad beschreiben, wurden im Voraus ermittelt und bei der Simulation bzw. Emulation der Kollektorleistung verwendet. Die Randbedingungen für den Parameteridentifikationsprozess sind die gemessenen Werte des Raumwärmeeintrages (Leistung, Rücklauftemperatur, Durchfluss) und die Warmwasserleistung (Kaltwassertemperatur, Leistung). Im Parameteridentifikationsprozess werden die Differenzen der gemessenen zu den simulierten Tagessummen des Brennstoffverbrauchs, des Kollektorertrages und des Hilfsenergieverbrauchs minimiert. Weil nur die Tagessummen der Leistungen, und nicht die Momentanwerte in Betracht gezogen werden und weil die Charakteristik und der Mittelwert der Last während dem Prüfzyklussimulation und der Jahressimulation fast identisch sind, kann das Simulationsmodell der geprüften Anlage relativ einfach gehalten werden. Das Vorgehen beim Parameteridentifikationsprozess ist schematisch in Diagramm 3 dargestellt.

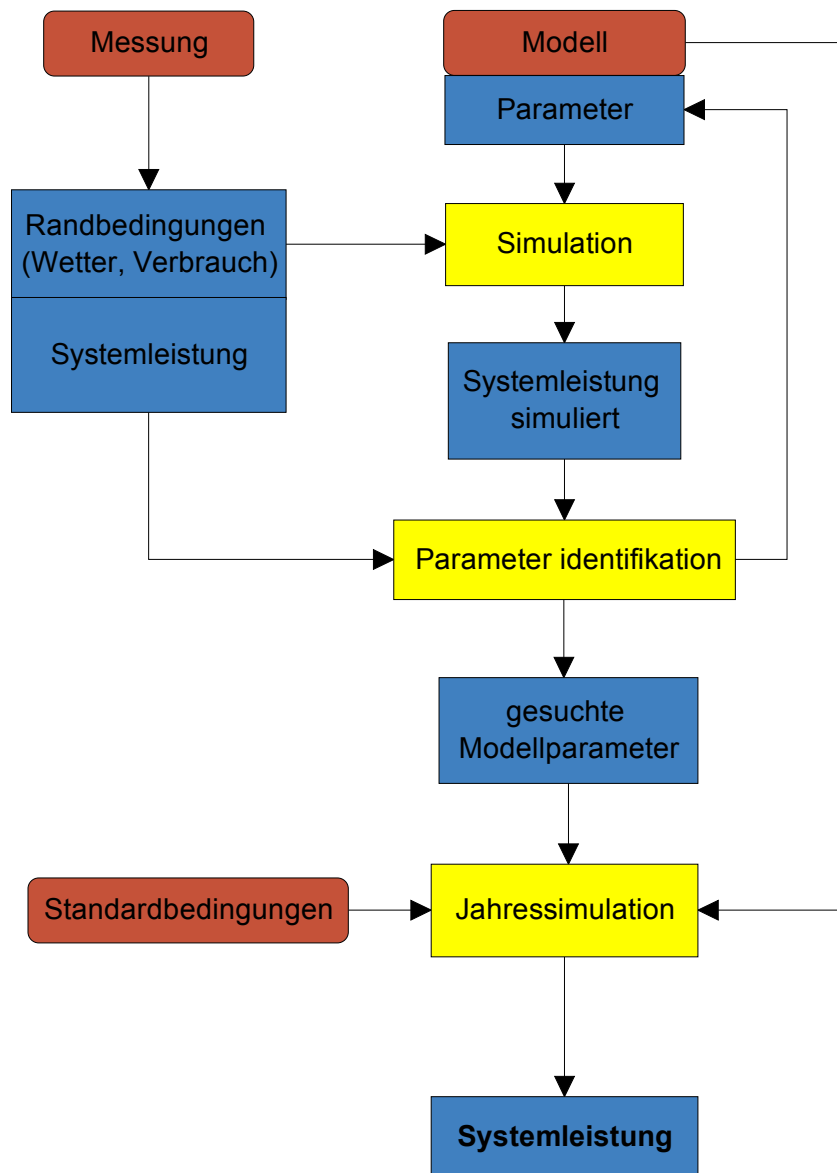


Diagramm 3: Ablauf zur Jahresleistungsberechnung.

### Fähigkeiten und Grenzen des Verfahrens

Die CCT Methode ist hervorragend geeignet, nicht nur die Leistungsfähigkeit, sondern auch die Funktion von Kombisystemen zu untersuchen. Es hat sich bestätigt, dass dies zu den wichtigsten Pflichten einer Prüfmethode von Kombisystemen gehört. (Vgl. 'Kombi-Kompakt+' bzw. *Das Pilot- und Demonstrationsprojekt Kombi-Kompakt+*). Das Verfahren kann die Leistungsfähigkeit der Kombisysteme so ermitteln, dass die Leistungswerte verschiedener Systeme aufgrund der Jahressimulationen miteinander vergleichbar sind. Voraussetzung dafür ist aber, dass für alle Systeme die gleiche Gebäudelast (derselbe Wärmeverbrauch für die Raumheizung) vorausgesetzt wird. Aus den Messungen während der Prüfzyklen geht aber hervor, dass die Systeme nicht im gleichen Ausmass Raumwärme in das (emulierte) Gebäude einbringen. Dies ist immer sowohl eine Folge des Systemkonzepts und insbesondere der Regelung, als auch der gewählten Einstellungen (Heizkurve, Freigabezeiten). Ein übermässig hoher oder abnormal über die Zeit verteilter

Raumwärmeeintrag ist ein wichtiger Hinweis, der zu einer Korrektur des geprüften Systems führen muss. Ist die Ursachen eine unkorrekte Einstellung, muss diese korrigiert und der Testzyklus erneut durchgeführt werden. Handelt es sich um ein Fehlverhalten des Systems muss der Test abgebrochen werden. Ein geringfügig vom Erwartungswert abweichender Verbrauch ist aber normal: Auch bei systematischem und gewissenhaftem Vorgehen können die idealen Einstellungen im Voraus nicht perfekt angenommen werden. Um trotz dieser Abweichungen vergleichbare Jahresleistungswerte zu bestimmen, wird für die Jahressimulationen die Gebäudeheizlast exakt vorgegeben.

Da das Modell zur Jahresleistungsberechnung, wie oben erwähnt, nicht extrem detailliert sein muss um die Leistungsfähigkeit für den gewählten Fall von Randbedingungen (Wetter, Haus, Warmwasserverbrauch) abzubilden, kann es (vermutlich) nicht für Jahressimulationen von beliebigen Standorten herangezogen werden. Aus diesem Grund werden in den Prüfberichten nur Jahresleistungswerte für eine einzige Anwendung ausgewiesen.

### **Referenzen**

Bales 2004: Bales C, Combitec, A new test method for thermal stores used in solar combisystems. Chalmers, Göteborg, Schweden, 2004.

Weiss, 2003: Weiss W (ed.): Solar heating systems for houses, A design handbook for solar combisystems. James&James, London, 2003.

22. September 2004

SPF, Institut für Solartechnik Prüfung Forschung  
Hochschule für Technik Rapperswil  
Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil, Schweiz  
systems@solarenergy.ch