Published in Proceedings of the 11th Symposium Thermal Solar Energy, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut (OTTI), Staffelstein, Germany, May 2001.

Bauteilkennwerte und thermische Energiegewinne gebäudeintegrierter Photovoltaik

U.Eicker, V.Fux, J.Schumacher*

Fachhochschule Stuttgart, Schellingstr.24, 70174 Stuttgart, Tel. 0711 121 2831, Fax 0711 121 2698, email: eicker.fbp@fht-stuttgart.de

Universität Oldenburg, Fachbereich Physik, Carl-von Ossietzkystr.9-11, 26129 Oldenburg, email: juergen.schumacher@uni-oldenburg.de

Die Substitution klassischer Baumaterialien durch Photovoltaikmodule stellt eine besonders interessante multifunktionale Nutzung von Solartechnik im Gebäude dar. Neben der Produktion von Strom oder an ein Fluid übertragene Wärme treten bei der Gebäudeintegration Wärmeströme auf, die durch Wärmedurchgangskoeffizienten und Gesamtenergiedurchlaßgrade zu beschreiben sind. Um die effektiven Transmissionswärmeverluste von den nutzbaren Ventilationswärmeströmen in einem Hinterlüftungsspalt zu trennen, werden die U- und g-Werte in je zwei Komponenten aufgespalten: U_{trans} charakterisiert die gesamten Wärmeverluste vom Innenraum aus, U_{vent} den Anteil der Wärmeverluste von innen an den Luftspalt, der durch die Hinterlüftung zurückgewonnen werden kann, g_{trans} die direkt in den Innenraum transmittierten Solarstrahlungsgewinne und g_{vent} die am PV-Modul absorbierten Strahlungsgewinne, die zur Erwärmung des Luftvolumenstroms beitragen. Sind die vier Kennwerte U_{trans}, U_{vent}, g_{trans} und g_{vent} für ein gebäudeintegriertes Solarelement gegeben, reicht die Kenntnis der Lufttemperaturen innen und außen sowie der solaren Einstrahlung aus, um die thermische Verlust- und Nutzleistung zu bestimmen. Der Gebäudeplaner kann dann den Einfluß des Solarelementes auf den Heizwärme- und Kühlbedarf des Gebäudes ermitteln. Die Kennwerte werden über eine Berechnung des kompletten Temperaturprofils der Fassade erhalten.

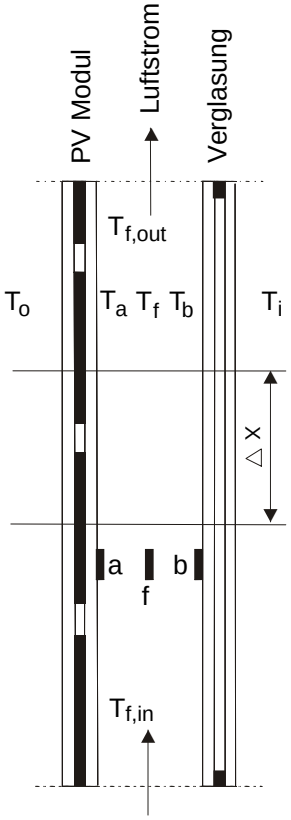
Temperaturprofile von gebäudeintegrierten PV-Elementen:

Stationäres Energiebilanzmodell:

- Temperaturknoten PV-Modul T_a
- Fluidtemperatur im Luftspalt T_f
- Spaltrückseite T_b

Temperaturrandbedingungen der integrierten Solarkomponente:

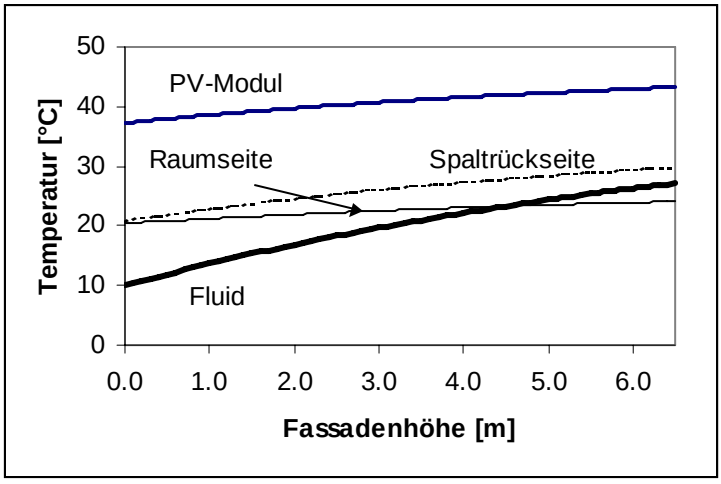
- Umgebungstemperatur T_o
- Raumtemperatur T_i



Lösung der Energiebilanzgleichungen für eine 6.5m hohe hinterlüftete PV-Fassade mit rückseitig verglastem Luftspalt von 14cm:

Fluidtemperaturerhöhung: 17°C

Oberflächentemperatur zum Raum: 21°C.



Randbedingung: 800W/m² Einstrahlung, 3m/s Windgeschwindigkeit, 10°C Außenlufttemperatur und 20°C Raumlufttemperatur.

Bauteilkennwerte gebäudeintegrierter Solarkomponenten

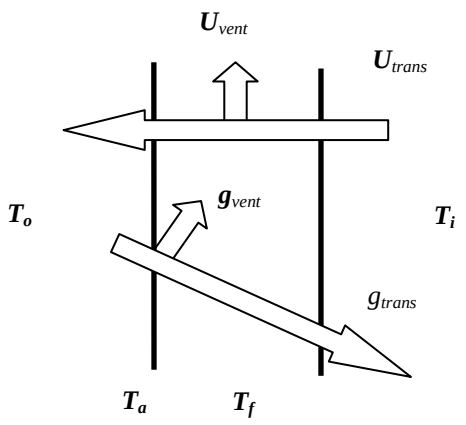


Abbildung 1: Kennwerte für die thermische Charakterisierung einer hinterlüfteten Fassade.

$$\dot{Q}_{trans} = U_{trans}\left(T_i - T_o\right) - g_{trans}G \qquad (1)$$

$$\dot{Q}_{vent} = U_{vent}\left(T_i - T_o\right) + g_{vent}G \qquad (2)$$

Bei bekannten Knotentemperaturen des Solarelementes können aus den mittleren Temperaturen die erforderlichen Wärmeströme und Bauteilkoeffizienten berechnet werden.

Mit obigem Verfahren wurden monatliche Bauteilkennwerte für eine hinterlüftete PV-Fassade für ein mediterranes (Barcelona) sowie ein deutsches (Stuttgart) Klima berechnet.

Monat	Einstrah-lung [kWh/m²]	T_0 [°C]	$g_{vent}=\eta_{th}$ [-]	$U_{vent}(T_i-T_0)n_h$ [kWh/m²]	$U_{trans}(T_i-T_0)n_h$ [kWh/m²]	Q_{trans} [kWh/m²]	Q_{vent} [kWh/m²]
Januar	**82**	**9.8**	**0.142**	**8.05**	**11.00**	**2.16**	**19.67**
Februar	**88**	**9.9**	**0.130**	**7.03**	**9.30**	**-0.20**	**18.50**
März	**106**	**11.3**	**0.128**	**6.98**	**8.08**	**-3.37**	**20.58**
April	**94**	**12.9**	**0.124**	**5.18**	**5.78**	**-4.32**	**16.80**
Mai	**80**	**16.2**	**0.126**	**2.91**	**1.80**	**-6.88**	**13.02**
Juni	**80**	**20.1**	**0.122**	**0.17**	**-3.69**	**-12.32**	**9.90**
Juli	**88**	**23.7**	**0.118**	**-2.29**	**-9.06**	**-18.61**	**8.15**
August	**100**	**23.5**	**0.129**	**-2.20**	**-9.60**	**-20.36**	**10.64**
September	**108**	**21.3**	**0.134**	**-0.71**	**-6.84**	**-18.48**	**13.75**
Oktober	**107**	**17.0**	**0.130**	**2.26**	**-0.52**	**-12.12**	**16.25**
November	**90**	**12.7**	**0.137**	**5.42**	**6.16**	**-3.57**	**17.73**
Dezember	**84**	**10.8**	**0.146**	**7.10**	**9.25**	**0.12**	**19.45**
Gesamt	**1107**	**15.7**	**0.13**	**40**	**22**	**-98**	**184**

Tabelle 1: Klimatische Randbedingungen (Einstrahlung G, Umgebungstemperatur T_o), rückgewonnene und gesamte Transmissionswärmeverluste sowie effektive Transmissions- und Ventilationswärmemenge.

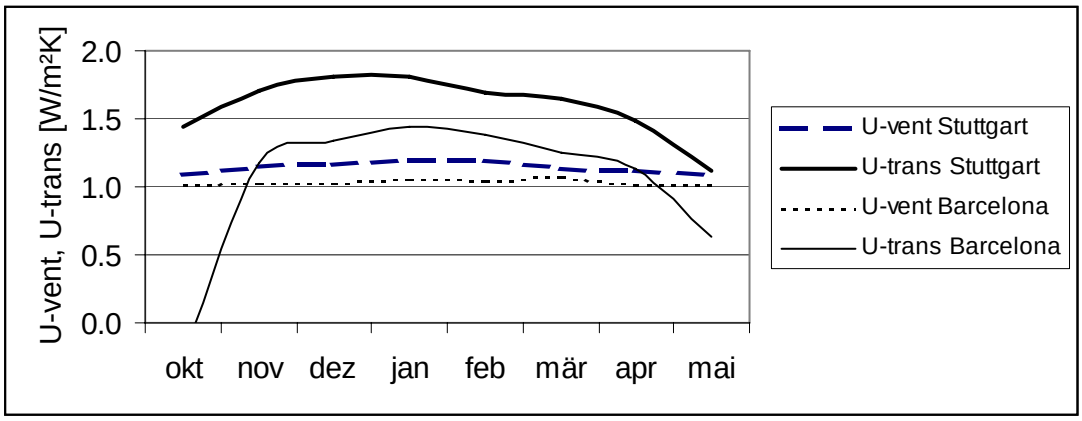


Abbildung 2: Mittlere monatliche Bauteilkennwerte der hinterlüfteten Photovoltaikfassade mit einer Verglasung als Spaltrückseite (U=4W/m²K) am Standort Stuttgart und Barcelona.

Zusammenfassung:

Mit dem beschriebenen Verfahren können monatliche Kennwerte ermittelt werden, die eine einfache Berechnung der thermischen Energieproduktion von gebäudeintegrierten Photovoltaikfassaden ermöglichen. In Barcelona liegt der thermische Wirkungsgrad g_{vent} bei der geringen Strömungsgeschwindigkeit von 0.3m/s im Mittel bei 13%. Von den gesamten Transmissionswärmeverlusten in der Heizperiode von 50 kWh/m² können 40kWh/m² durch die Rückführung der Spaltluft zurückgewonnen werden. Am Standort Stuttgart liegt der thermische Wirkungsgrad mit 15% im Mittel etwas höher. Von den gesamten Transmissionswärmeverlusten der Heizperiode von 142 kWh/m² können 99 kWh/m² zurückgewonnen werden. Die mittleren monatlichen Wärmedurchgangskoeffizienten U_{trans} variieren deutlich stärker als die solaren Wirkungsgrade und liegen für das Fassadensystem stets unter 2W/m²K.

Durch die Hinterlüftung des PV-Moduls kann eine großer Teil der Transmissionswärmeverluste rückgewonnen werden und absorbierte Einstrahlung zur Warmlufterzeugung genutzt weren.