

Forschungsprogramm "Rationelle Energienutzung in Gebäuden"

Wärmelasten transparenter Bauteile und Sonnenschutzsysteme



H. Simmler, B. Binder, R. Vonbank
EMPA Dübendorf, Abt. Bauphysik

im Auftrag des
Bundesamtes für Energie

Dezember 2000

Inhalt

1	Zusammenfassung.....	4
2	Einführung.....	5
3	Beschreibung der Anlage	6
3.1	Konstruktion und Aufbau.....	6
3.1.1	Gesamtanlage	6
3.1.2	Testzelle	7
3.1.3	Südwand / Prüfrahmen	7
3.2	Heiz-/Kühlsystem.....	8
3.3	Instrumentierung.....	9
3.3.1	Temperaturmessung.....	9
3.3.2	Strahlungsmessung	9
3.3.3	Kühl-/Heizleistungsmessung.....	10
3.4	Datenerfassung	10
4	Datenauswertung	12
4.1	Modelle	12
4.2	Datenanalyse.....	13
4.3	Messunsicherheit.....	13
5	Durchführung von Messungen	14
5.1	Prüfung der Luftdichtheit.....	14
5.2	Kalibration der Anlage	15
5.3	Einbau von Prüfelementen.....	15
6	Messungen an Sonnenschutzsystemen	16
6.1	Ausgangslage und Zielsetzung	16
6.2	Auswahl und Einbau der Systeme	16
6.2.1	2-fach Isolierverglasungen mit integrierten Flachlamellen.....	16
6.2.2	2-fach Isolierverglasung mit aussenliegenden Profillamellen	18
6.2.3	2-fach Isolierverglasung mit aussenliegenden Stoffstoren	20
6.2.4	2-fach Isolierverglasung mit innenliegendem Blendschutz	21
6.3	Auswertung.....	21
6.4	Resultate	22
7	Rückblick und Ausblick.....	24
8	Referenzen.....	25
Anhang 1:	Konstruktion und Aufbau.....	26
A1.1	Einzelheiten zum Gebäude	26
A1.2	Testzelle.....	27
A1.3	Südwand / Prüfrahmen.....	29
Anhang 2:	Messung und Kalibration der Kühlleistung	30
Anhang 3:	Messunsicherheit.....	32
A3.1	Mittelwertbildung	32
A3.2	Nicht-stationäre Auswertung	33
Anhang 4:	Auswertungen der Messungen	36
A4.1	Pilkington K-Glass, weisse Lamellen, Winkel 0° (zu).....	36
A4.2	Pilkington K-Glass, weisse Lamellen, Winkel 45°	37
A4.3	Pilkington K-Glass, weisse Lamellen, Winkel 90°	38
A4.4	Pilkington K-Glass, weisse Lamellen, Lamellen oben.....	39
A4.5	Pilkington K-Glass, silberne Lamellen, Winkel 0° (zu)	40
A4.6	Pilkington K-Glass, silberne Lamellen, Winkel 45°	41
A4.7	Pilkington K-Glass, silberne Lamellen, Winkel 90°	42
A4.8	Pilkington K-Glass, silberne Lamellen, Lamellen oben	43
A4.9	Pilkington Suncool brillant, weisse Lamellen, Winkel 0° (zu)	44
A4.10	Pilkington Suncool brillant, weisse Lamellen, Winkel 45°	45
A4.11	Pilkington Suncool brillant, weisse Lamellen, Winkel 90°	46
A4.12	Pilkington Suncool brillant, silberne Lamellen, Winkel 0° (zu)	47
A4.13	Pilkington Suncool brillant, silberne Lamellen, Winkel 45°	48

A4.14	Pilkington Suncool brillant, silberne Lamellen, Winkel 90°	49
A4.15	Pilkington Suncool brillant, Lamelle silber, Winkel 60°	50
A4.16	Schenker VR 90, weiss, 90°	51
A4.17	Schenker VR 90, weiss, 60°	52
A4.18	Schenker VR 90, weiss, 45°	53
A4.19	Schenker VR 90, weiss, 30°	54
A4.20	Schenker VR 90, braun, 90°	55
A4.21	Schenker VR 90, braun, 60°	56
A4.22	Schenker VR 90, braun, 45°	57
A4.23	Schenker VR 90, braun, 30°	58
A4.24	Schenker VR 90, weiss perforiert, 90°	59
A4.25	Schenker VR 90, weiss perforiert, 60°	60
A4.26	Schenker VR 90, weiss perforiert, 45°	61
A4.27	Schenker VR 90, weiss perforiert, 30°	62
A4.28	Schenker VR 90-LO, weiss, 90°	63
A4.29	Schenker VSK-Rollo, aussen, grau, unten, Ti-Fit	64
A4.30	Schenker VSK-Rollo, aussen, grau, unten, HC-Fit	65
A4.31	Schenker VSK-Rollo grau, aufgerollt, Heiz-Kühlleistungsfit	66
A4.32	Schenker VSK-Rollo, aussen, Farbe beige 320 325, unten	67
A4.33	Stosa-Rollo (Blendschutz)	68
A4.34	Messung ohne Stosa-Rollo (leer)	69

1 Zusammenfassung

Der zunehmende Anteil transparenter Flächen in der Gebäudehülle hat zur Folge, dass die einfallende Solarstrahlung sowohl für den Energiehaushalt als auch für die Komforteigenschaften von Gebäuden an Bedeutung gewinnt. Gebäude mit minimierten Wärmeverlusten und passiven Solargewinnssystemen können heute praktisch ohne zusätzliche Heizenergie betrieben werden. Andererseits treten in modernen Bürobauten, die immer mehr mit vollverglasten Gebäudehülle ausgeführt werden, oft grosse solare Wärmelasten mit entsprechendem Kühlleistungsbedarf und unakzeptablen thermischen Komfortbedingungen für die Benutzer auf. Für die Berücksichtigung von Solargewinnssystemen wie auch zur Beurteilung von Überhitzungs- und Komfortproblemen in der Planung sind genaue Kenntnisse der Eigenschaften von Fassadenbauteilen und Sonnenschutzsystemen notwendig, die oft nicht vorhanden sind.

Aus diesen Gründen wurde die Planung einer Anlage für die kalorimetrische Messung des Wärme- und Strahlungsdurchgangs an solaren Fassadenbauteilen im realen Klima an die Hand genommen. Mit Unterstützung des Bundesamtes für Energie (BFE) konnte die Anlage in den Jahren 1998 bis 2000 gebaut werden. Entstanden ist ein Holzelementbau auf dem EMPA-Areal mit zwei unabhängigen, schwebend eingebauten hochisolierten Testzellen, die bis auf die südorientierten Testflächen (ca. 2.9 m x 2.4 m) vollständig von temperaturgeregelter Luft umgeben sind. Die Energiebilanz der Testzelle kann messtechnisch mit guter Genauigkeit bestimmt und daraus der Energiefluss durch eine Testfläche berechnet werden. Das Anlagekonzept, die Instrumentierung und die Datenerfassung wurden durch die EMPA realisiert. Für die Datenanalyse wird ein dynamisches Parameter-Identifikationswerkzeug eingesetzt, das innerhalb der europäischen PASLINK-Gruppe von Betreibern vergleichbarer Anlagen [1] entwickelt worden ist.

Im Anschluss an eine Test- und Optimierungsphase wurde eine Messreihe an verschiedenen Sonnenschutz-Produkten durchgeführt, um Aussagen über den Gesamtenergiedurchlassgrad von unterschiedlichen Arten von Beschattungssystemen unter realen Bedingungen zu erhalten. Die Messungen führen zur Schlussfolgerung, dass der Gesamtenergiedurchlassgrad von Verglasungen ohne aussenliegende Beschattung zu kritischen Wärmelasten im Sommer führen kann, mit denen die thermischen Komfortbedingungen nicht eingehalten werden können.

Es ist vorgesehen, weitere Messungen an Beschattungssystemen in Zusammenarbeit mit Herstellern und Verbänden durchzuführen und die Resultate in Form eines Leitfadens zu veröffentlichen. Geplant sind Projekte zur messtechnischen und numerischen Untersuchung von intelligenten Fassadenkonstruktionen mit integralen Sonnenschutz-, Tageslicht- und Lüftungsfunktionen, die in Bauprojekten mit hohem Glasanteil in Zukunft eine wichtige Rolle spielen werden. Mittelfristig ist eine Integration von verifizierten Kenngrössen und Rechenverfahren in bestehende Gebäudesimulationsprogramme geplant. Zur Sicherung der Qualität ist die EMPA an einem thematischen Netzwerk der EU mit anderen europäischen Betreibern vergleichbarer Anlagen beteiligt. Im Projekt werden Mess- und Datenauswerteverfahren anhand von identischen Referenzobjekten validiert.

Nicht zuletzt steht der EMPA-Solarprüfstand auch für Messungen an vorhandenen Bauprodukten und laufenden Entwicklungen von Fassadenherstellern zur Verfügung. Die Unterstützung des BFE sei an dieser Stelle herzlich verdankt.

Im November 2000
EMPA Bauphysik
Der Projektleiter:

Dr. Hans Simmler

2 Einführung

Die zukünftige Gebäudehülle soll einerseits der optimalen Bewirtschaftung der anfallenden Solar-energie dienen, aber auch dem thermischen Komfort, der Minimierung von Wärmeverlusten, der Tageslichtnutzung usw. Rechnung tragen. Der zunehmende Anteil von transparenten oder transluzenten Flächen in der Gebäudehülle hat eine stärkere Kopplung zwischen der Strahlungsumgebung und dem Gebäude zur Folge, die nicht nur in der Energiebilanz eine wichtige Rolle spielt, sondern auch zu bedeutend grösseren Schwankungen des Innenklimas führt. Die ungenaue Abstimmung zwischen architektonischen, bauphysikalischen und gebäudetechnischen Aspekten führt oft zu unbefriedigenden Ergebnissen, seien es Komfortprobleme, ein ungünstiges Aufwand-/Nutzenverhältnis, übermässiger Energiebedarf oder gar kostenintensive Sanierungen.

Es wird deshalb immer wichtiger werden, die Eigenschaften von solaren Bauteilen und Kontrollsystemen in der Planungsphase realitätsnah zu berücksichtigen. Abgesehen von herkömmlichen Fenstern und statischen Beschattungen fehlen jedoch zuverlässige Daten und Algorithmen in heutigen Rechenverfahren noch weitgehend [2]. Dies gilt beispielsweise schon für eine einfache Kombination von Lamellenbeschattung und Verglasung, deren Gesamtenergiedurchlassgrad stark von der Position der Lamellenebene, der Lamellenneigung und der Sonnenhöhe abhängt. Die EMPA hat sich deshalb zum Ziel gesetzt, eine Anlage zur Messung der gesamtenergetischen Eigenschaften von Fassadenbauteilen und Beschattungssystemen unter realen Bedingungen aufzubauen.

Zur Bestimmung optischer und thermischer Eigenschaften von Gläsern und anderen Materialien stehen heute verschiedene Labormethoden zur Verfügung [3],[4]. Grossflächige, komplexe Bauteile wie Fassadenelemente mit Verglasung, Beschattungssystem und Belüftungsfunktionen können jedoch nicht unter realen Bedingungen im Labor untersucht werden. Die Modellierung solcher Systeme ist aufwendig und kaum überprüfbar [5]. Aus diesem Grund wurde entschieden, die EMPA-Anlage für Messungen an einer ganzen Testfassade auszulegen, die südseitig an eine hochisolierte, abgeschirmte Testzelle angebaut und dem Aussenklima ausgesetzt wird. Der Energiestrom durch die Testfassade wird aus der Energiebilanz der Testzelle bestimmt (Abbildung 1).

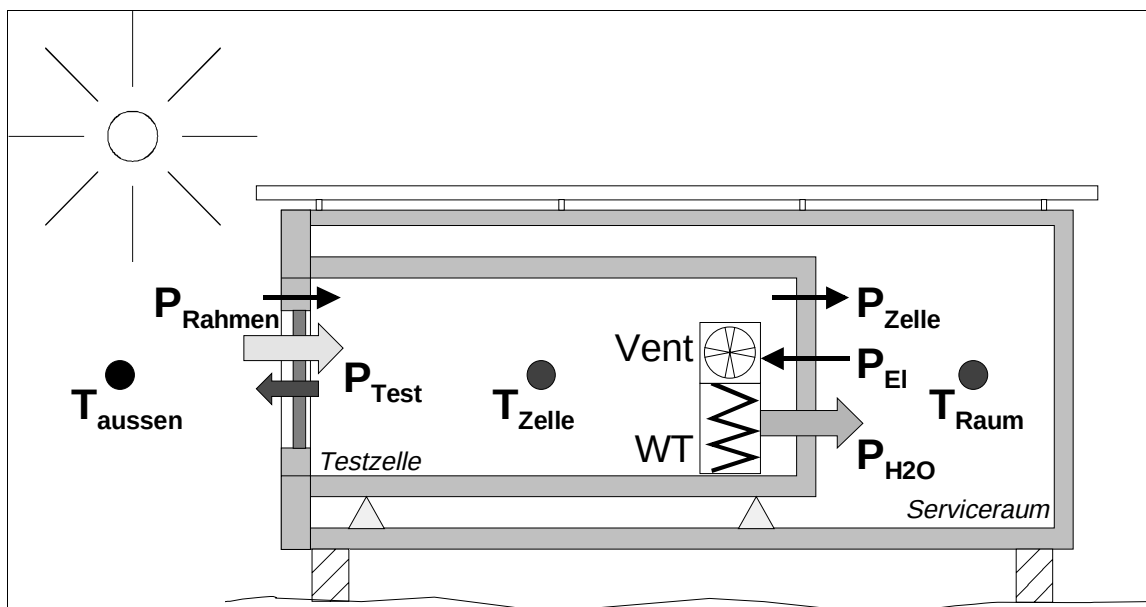


Abbildung 1: Messprinzip Solarprüfstand für Fassadenbauteile mit den wesentlichen Beiträgen zur Leistungsbilanz. Im Betrieb bei gleicher, konstant gehaltener Zellen- und Raumtemperatur entspricht die technische Heiz-/Kühlleistung $P_{EL} + P_{H_2O}$ bis auf kleine Korrekturen dem Wärmestrom durch die Testfläche P_{Test} .

Die Heiz-/Kühlleistung wird direkt gemessen, die (geringen) Transmissionsverluste/-gewinne durch die übrigen Flächen sind durch Kalibrationsmessungen bekannt. Unter Einbezug der Strahlungs- und Temperaturmessdaten lassen sich Kenngrößen der Testfassade wie der Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) und der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) auswerten.

3 Beschreibung der Anlage

3.1 Konstruktion und Aufbau

3.1.1 Gesamtanlage



Abbildung 2: Der EMPA-Solarprüfstand besteht aus zwei symmetrischen, räumlich getrennten Testzellen, links ohne Südwand, rechts mit angebautem hochisolierendem Prüfrahmen und eingesetzter Verglasung. Dazwischen befindet sich die Aussenklimadatenerfassung mit dem Nachführsystem für die Direktstrahlungsmessung.

Die Anlage ist in einem gut isolierten Holzelementbau untergebracht, der durch eine Trennwand in zwei Räume unterteilt ist (Abbildung 2, Grundriss und weitere Einzelheiten im Anhang 1). Pro Raum ist eine Testzelle 'schwebend' eingebaut. Sie ist als 'Isolierbox' mit sehr geringen Wärmeverlusten ausgebildet, die durch eine Kühl-/Heizanlage auf konstante Temperatur geregelt wird. An der Gebäudesüdseite kann je eine Testfläche angeflanscht werden (Abbildung 2). Die übrigen Testzellenoberflächen sind von temperaturgeregelter Raumluft umgeben. Im üblichen Betrieb werden die Lufttemperaturen der Testzelle und des umgebenden Raums auf den gleichen konstanten Wert gesetzt, wodurch störende Wärmeströme durch die Zellwände sehr klein gehalten werden können. Die Anlage weist damit bedeutende Vorteile gegenüber anderen Anlagen im europäischen Raum auf [6]. Für Untersuchungen an Fassadenelementen kann eine Öffnung von $2.85 \times 2.36 \text{ m}^2$ (Breite x Höhe) genutzt werden. Hochisolierende Standard-Prüfrahmen stehen für transparente Komponenten mit Abmessungen von $1.50 \times 1.25 \text{ m}^2$ und $1.50 \times 2.00 \text{ m}^2$ (Breite x Höhe) zur Verfügung.

Eine modular aufgebaute Instrumentierung und Datenerfassung (Eigenentwicklung der EMPA) zeichnet Temperaturen, Wärmeflüsse, Heiz-/Kühlleistung und Klimadaten auf. Die Messung der Direkt- und Diffusstrahlung mit Hilfe eines elektronischen Nachführsystems erlaubt die Untersuchung winkelabhängiger Eigenschaften.

Die technischen Komponenten, die Kalibration und der Betrieb der Anlage sind verschiedenen Dokumenten innerhalb des Qualitätsmanagementsystems der EMPA beschrieben [7].

3.1.2 Testzelle

Die Testzelle ist aus PU-Sandwichelementen ($U=0.17 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) mit beidseitiger Blechkaschierung wärmebrückenfrei zusammengesetzt und luftdicht verfugt. Sie steht auf dünnwandigen Hut-Blechprofilen mit einer zusätzlichen thermischen Trennschicht. Die ganze Zelle ist somit praktisch von Raumluft umgeben (Decke und Boden: ca. 10 cm) und weist keine nennenswerten Wärmebrücken auf. Die Stirnfläche weist ebenfalls keine Verbindung zum Gebäude auf (Abbildung 3).



Abbildung 3: Testzelle (Isolierzelle) mit geöffneter Südwand. Gut erkennbar sind die Luftauslassschläuche sowie die dünnen Tragprofile der Zelle und der rundum laufende Luftzwischenraum im Stirnbereich, der die Zelle von den Wänden des Gebäudes entkoppelt.

Durch die Montage der Südwand werden gleichzeitig die Testzelle und die Gebäudehülle geschlossen (Abbildung 4). Um eine lokale Erwärmung von Innenoberflächen durch Absorption von Direktstrahlung zu vermeiden, wird hinter transparenten Bauteilen eine dunkle, gut belüftete Lamellenstore als passives Absorberelement aufgehängt.

3.1.3 Südwand / Prüfraumen

Für Messungen stehen Prüfraumen mit Öffnungsflächen von $1.50 \times 1.25 \text{ m}^2$ und $1.50 \times 2.00 \text{ m}^2$ (Breite x Höhe) zur Verfügung. Sie sind vollständig aus extrudiertem Polystyrol-Hartschaumplatten ohne tragende Elemente verklebt und mit weissen PVC-Hartschaum-Platten verkleidet. Die Schichtkonstruktion weist einen Wärmedurchlasswiderstand $R = 8.8 \text{ m}^2\text{K/W}$ auf. Es treten somit nur kleine Wärmeströme durch den Rahmen auf, die auf Grund der innen und aussen gemessenen Oberflächentemperaturen dynamisch berücksichtigt werden können.



Abbildung 4: Einbau eines hochisolierenden Prüfrahmens. Durch den Anschluss wird die Gebäudehülle und gleichzeitig die Testzelle verschlossen.

3.2 Heiz-/Kühlsystem

Die Kühlung in der Testzelle geschieht über einen Luft-Wasser-Wärmetauscher mit grossflächigen Diffus-Luftauslassschläuchen. Durch zwei Umluftventilatoren (Gesamtleistung ca. 160 W) wird das Luftvolumen der Testzelle rund 100 mal pro Stunde durch den Wärmetauscher geführt. Damit ist ein rascher Eingriff bei Laständerungen in der Testzelle und eine gute Homogenität der Lufttemperatur gewährleistet. Im Normalbetrieb bei konstanter Solltemperatur ist die Temperaturstabilität besser als 0.2 K, auch unter Einstrahlung. Die Kühlung des speicherlosen Reinwasser-Kreises übernimmt eine Kompressor-Kälteanlage mit stetiger Verdampfungsmengensteuerung, die im Normalbetrieb den Mittelwert der Zu- und Ablufttemperatur im Luft-Wasser-Wärmetauscher auf einen Sollwert regelt. Im Serviceraum ausserhalb der Testzelle wird die Temperatur durch ein Standard-Umluft-Klimagerät mit aussenliegendem Kondensator geregelt. Im Serviceraum ist ebenfalls eine Umluftanlage installiert, mit der die Temperaturdifferenzen zwischen Decken- und Bodenluftschicht klein gehalten werden können (Abbildung 5). Die Abweichung zwischen den mittleren Lufttemperaturen in der Testzelle und im Serviceraum ist kleiner als 0.3 K.



Abbildung 5: Umluftanlage im Serviceraum (Bild Deckenbereich) zur Vermeidung einer Temperaturschichtung.

3.3 Instrumentierung

Die Instrumentierung umfasst alle wesentlichen Grössen zur Erfassung des thermischen Zustands der Testzelle. Detailliert erfasst wird auch das Aussenklima mit Solar- und Infrarotstrahlung (Abbildung 6). Tabelle 1 enthält eine Übersicht über die vorhandenen Sensoren.

Messgrösse	Art	Anzahl
Oberflächentemperatur Testzelle (innen und aussen)	Thermoelement Typ T	80 pro Zone
Oberflächentemperatur Testelement (innen und aussen)	Thermoelement Typ T (beweglich)	20 pro Zone
Lufttemperatur Testzelle	Thermoelement Typ T, strahlungsgeschützt	7 pro Zone
Lufttemperatur Serviceraum	Thermoelement Typ T, strahlungsgeschützt	2 pro Raum
Lufttemperatur Aussenklima	Thermoelement Typ T, strahlungsgeschützt, ventiliert	2
Differenztemperatur Kühlwasser	Eigenkonstruktion 2 PT1000, 1 PT100 in Messfühler	2 pro Zone
Volumenstrom Kühlwasser	Magnetisch-induktives System	1 pro Zone
Globalstrahlung vertikal	Pyranometer	1
Globalstrahlung horizontal	Pyranometer	1
Direktstrahlung normal	Pyrheliometer	1
Diffusstrahlung vertikal	Pyranometer	1
IR-Strahlung vertikal	IR-Radiometer	1
Relative Luftfeuchte	Kapazitiv-Element	2
Elektrische Leistung	Elektronisches Wattmeter	1 pro Zone
Luftgeschwindigkeit	Flügelrad-Anemometer	1
Wärmefluss	Kalibrierte TE-Kette (frei positionierbar)	4 pro Zone

Tabelle 1: Übersicht über die installierten Sensoren.

Neben diesen Sensoren sind weitere Signale einfach konfigurierbar. Die folgenden Abschnitte enthalten einige Zusatzinformationen zu den wichtigsten Messgrössen und deren Kalibration.

3.3.1 Temperaturmessung

Zur Oberflächen- und Lufttemperaturmessung werden zertifizierte Thermoelemente Typ T (Kupfer-Konstantan) eingesetzt. Alle Messstellen pro Testzelle werden über einen einzigen Thermoblock mit mehreren gekoppelten PT100-Referenzsensoren geführt. Die Umrechnung erfolgt über typspezifische Standardkoeffizienten, die stichprobenweise mit einer Temperaturreferenz getestet wurden. Die Temperaturmessstellen werden periodisch stichprobenweise überprüft. Eine periodische Gesamtkalibration aller Messstellen ist nicht sinnvoll und für die eingebauten Messstellen auch nicht möglich.

3.3.2 Strahlungsmessung

Für die Solarstrahlungsmessung werden verschiedene Pyranometer, ein IR-Radiometer und ein Pyrhemometer eingesetzt. Die Sensoren sind Standard-Präzisionsinstrumente, die extern kalibriert werden. Das Pyrhemometer zur Messung der Direktstrahlung wird durch einen computergesteuerten Tracker mit einer Winkelabweichung weniger als 0.5° dem Sonnengang nachgeführt.

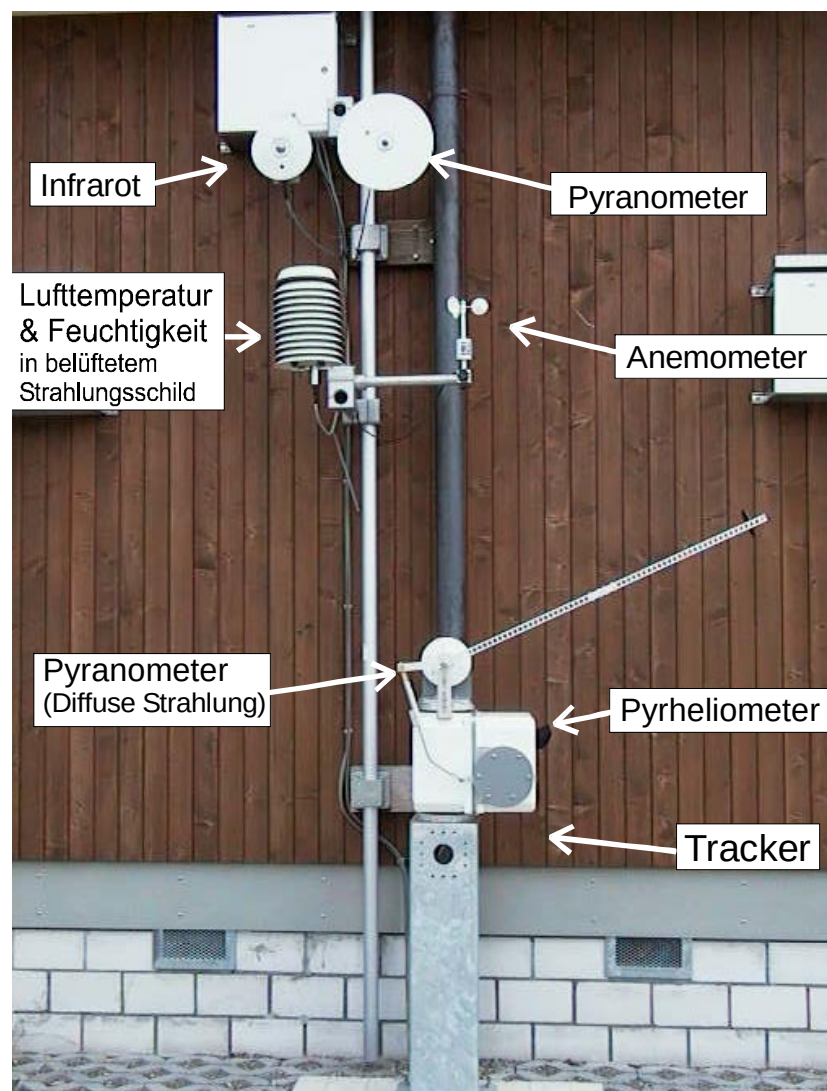


Abbildung 6: Anordnung der Klimasensoren zwischen den beiden Testflächen.

3.3.3 Kühl-/Heizleistungsmessung

Die Messung der Kühlleistung erfolgt über die Messung des Volumenstroms V und der Temperaturdifferenz ΔT (Vorlauf-Rücklauf) im Kühlwasserkreis. Da eine Temperaturdifferenz $\Delta T = 1 \text{ mK}$ bereits einer Kühlleistung von rund 1 W entspricht, wird eine Präzisionsmessung durch eine eigenentwickelte PT1000-Vollbrücke durchgeführt (siehe Anhang 2). Der Volumenstrom wird durch ein Standard-Präzisionsgerät (magnetisch-induktives Messprinzip) mit einer relativen Unsicherheit von unter 1% bestimmt, ebenso die elektrische Heizleistung. Beide Geräte werden durch die Hersteller kalibriert.

3.4 Datenerfassung

Zur Datenerfassung wurde ein modulares System mit Präzisions-Digitalvoltmeter und einer variablen Anzahl von Multiplexkarten aufgebaut. Die Software zur Datenerfassung basiert auf MS-Access / MS-BASIC for Applications und ist ebenfalls eine Eigenentwicklung. Module für Gerätetreiber und interne Berechnungen können spezifisch angepasst oder neu programmiert werden. Das System kann somit sehr flexibel auf eine besondere Messaufgabe angepasst werden. Vor dem Start einer Messung lässt sich die Konfiguration der Datenerfassung auf die Messaufgabe einstellen und testen (Abbildung 7).

Konfiguration

init Konfiguration ☒

Index	Anzeigereihenfolge	Gruppen	Messereihenfolge	Geräte	Einheit	Skala	Ch	ChTip	ang	Größe	Gerät
Wert	Bezeichnung	Typ	Einheit	Skala	Ch	ChTip	ang	Größe	Gerät	Größe	Gerät
10	ASL_A	ASL Referenz	PC	1	ASL	1	ASL	1	ASL	1	ASL
12	Laufzeit	Laufzeit	PC	2	ASL	2	ASL	2	ASL	2	ASL
30	Wk_V	Brücke Paar Nr.2	H20	PT100	PC	3	3	55	5	5	5
31	Wk_R	Brücke Paar Nr.2	H20	PT100	PC	3	3	55	5	5	5
32	Wk_D	Differenztemperatur	H20	100	PC	3	3	55	5	5	5
33	Wk_D2	Temperaturdiff V/R	H20	100	PC	3	3	55	5	5	5
34	Wk_F1	Durchfluss	H20	Play	PC	3	3	55	5	5	5
35	Q_H2O	Energie H2O	Q_Zelle	100	PC	3	3	55	5	5	5
36	Q_H2O2	Energie H2O (T Diff V-R)	Q_Zelle	100	PC	3	3	55	5	5	5
40	P	Leistung	PC	1	PC	1	PC	1	PC	1	PC
43	E	Energie	PC	1	PC	1	PC	1	PC	1	PC
50.1	OW_Ra2	Q Rahmen	Q_Wand	Q_Ra2	PC	1	PC	1	PC	1	PC
50.2	OW_Ra	Q Rahmen	Q_Wand	Q_Ra2	PC	1	PC	1	PC	1	PC
51	OW_G1	Q Glas	Q_Wand	Q_G1	PC	1	PC	1	PC	1	PC
52	OW_M	Q Mauerwand	Q_Wand	Q_M	PC	1	PC	1	PC	1	PC
53.1	OW_Tu	Q Türe	Q_Wand	Q_Tu	PC	1	PC	1	PC	1	PC
53.2	OW_O	Q Ostwand	Q_Wand	Q_O	PC	1	PC	1	PC	1	PC

Differenztemperatur: MZZeit 15:36:04, gelte: ja, Volt: 8.234328, Wert: -1.136144, Status: 0, err: 0, Tonnen

Bemerkung: Widerstands Brücke für Solarprufstand, Vorlauf=Wk_V, Rücklauf=Wk_R

01 F1 02 F2
-0.1200 0.00017 3.9185 -0.0015
 $T = (OWM \cdot Tm \cdot F1 + 01) / (Tm \cdot F2 + 02)$

Abbildung 7: Konfigurationstabelle der Datenerfassung. Die einzelnen Signale können sofort getestet werden. Berechnungsfunktionen und Werte von Berechnungskonstanten sind direkt einsehbar.

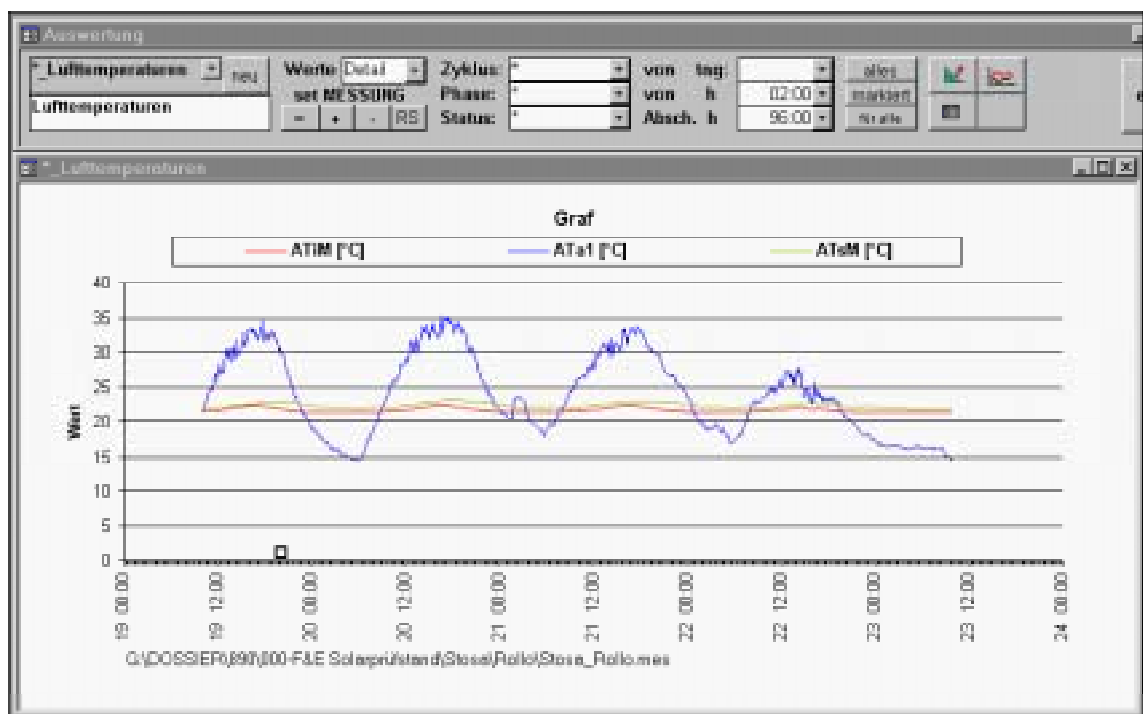


Abbildung 8: Graphische Darstellung der Lufttemperaturen während der Messphase. Die angezeigten Daten sind Mittelwerte über mehrere Sensoren.

Während der Messphase sind alle Rohdaten und berechneten Größen in Tabellen einsehbar und können grafisch dargestellt werden (Abbildung 8). Auf der Basis von vorbestimmten Eigenschaften der Testzelle wird ein Richtwert für die Energiebilanz während der Messung erstellt. Spezielle Berechnungen und Abfragen können auf einfache Weise innerhalb der ACCESS-

Umgebung definiert werden. Die Datenbank, die für jede Messung erzeugt wird, enthält sämtliche Informationen wie Rohdaten und physikalische Daten, Konfigurationsdaten, Berechnungsgrundlagen, Abfragen, projektspezifische Informationen usw.

4 Datenauswertung

4.1 Modelle

In der folgenden Skizze (Abbildung 9) ist eine Momentaufnahme der Beiträge zur Energiebilanz der Testzelle dargestellt. Alle Wärmeströme sind allgemein zeitabhängig.

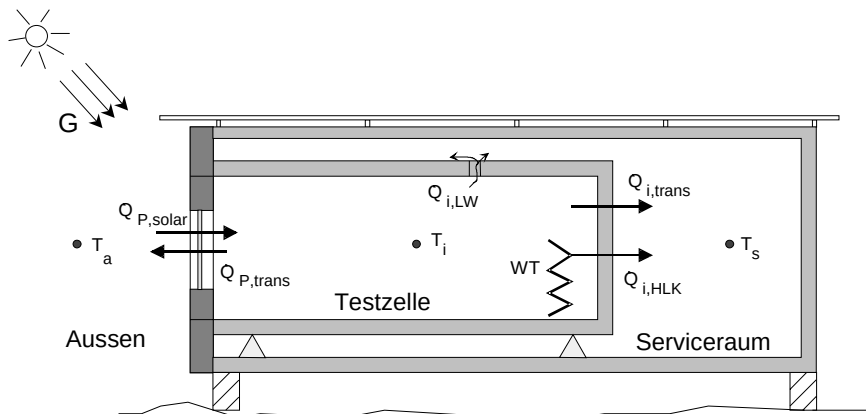


Abbildung 9: Schematischer Querschnitt durch den Solarprüfstand mit verschiedenen Beiträgen zur Energiebilanz.

Die momentane Energiebilanz für die Testzelle lautet:

$$\dot{Q}_{P,total} = \dot{Q}_{P,solar} - \dot{Q}_{P,trans} = \dot{Q}_{i,trans} + \dot{Q}_{i,LW} + \dot{Q}_{i,HLK} \quad (\text{Gl. 1})$$

- mit:
- $\dot{Q}_{P,solar}$ durch den Prüfkörper eindringende Strahlungsleistung (inkl. Sekundärwärme)
 - $\dot{Q}_{P,trans}$ durch den Prüfkörper nach aussen gehender Transmissionsverlust
 - $\dot{Q}_{i,trans}$ durch die Testzellenwände zum Serviceraum gehender Transmissionsverlust
 - $\dot{Q}_{i,LW}$ durch die Testzellenwände infolge Luftundichtigkeit abgeführte Leistung
 - $\dot{Q}_{i,HLK}$ durch den Wärmetauscher aus der Testzelle abgeführte Leistung

Ein "exaktes" Modell zur Bestimmung des gesuchten Wärmestroms $\dot{Q}_{P,total}$ durch die Testfassade würde eine zeitabhängige dreidimensionale Wärmeflussberechnung aller Zellwände, eine Strömungsberechnung für das Luftvolumen inklusive Wärmetauscher und die Berücksichtigung der Kühl-/Heizleistung und der Luftwechselverluste beinhalten. Ein effizientes vollständiges Berechnungsverfahren dieser Art existiert nicht. Auf der anderen Seite besteht die einfachste Alternative in der Mittelwertbildung über einen genügend langen Zeitraum. Dieses Verfahren hat neben langer Messzeiten jedoch verschiedene Nachteile: Aus einem mittleren Wärmestrom können nicht mehrere Parameter (z.B. g- und U-Wert) bestimmt werden, und die Unsicherheit eines g-Wertes ist auch bei bekanntem U-Wert relativ gross (siehe Anhang 3).

Im Normalbetrieb des EMPA-Prüfstands wird die Lufttemperatur der Testzelle und der umgebenden Raumluft auf einen möglichst gleichen Wert geregelt (Minimierung der Transmissions- und Luftaustauschwärmeströme). Der Energiestrom durch die Testfassade entspricht somit im Wesentlichen der technisch ab- oder zugeführten Wärmeleistung. Diese relativ einfache halb-

stationäre Situation kann gut durch ein dynamisches Knotenmodell dargestellt werden, welches die (geringen) Temperaturschwankungen und Speichereffekte berücksichtigt und die Dynamik der Aussentemperatur und der Solarstrahlung für die Identifikation von Parametern wie g und U ausnutzt. In der Auswertung wird die Abweichung zwischen gemessener und berechneter Kühl-/Heizleistung durch optimale Wahl der Kennwerte g_{eff} und U_{eff} nach der Methode der kleinsten Quadrate minimiert.

4.2 Datenanalyse

Zur Auswertung wird Parameter-Identifikationssoftware LORD [8] verwendet, die spezifisch für die Analyse von einfachen thermischen Systemen dieser Art entwickelt wurde. Sie erlaubt eine einfache Definition eines Knoten-Netzes mit zugehöriger Kapazität C , die durch Leitwerte H untereinander verbunden sind. Das Programm basiert auf der "Downhill Simplex"-Methode (für die ersten Iterationen) und einer "Monte-Carlo"-Methode (für die späteren Iterationen). Für Leichtbauelemente ist folgendes Modell geeignet (Abbildung 10).

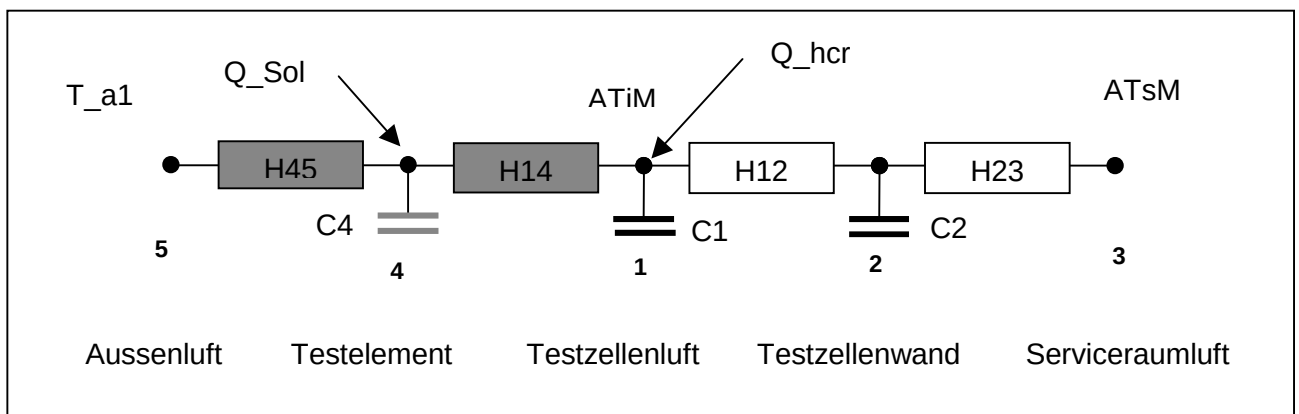


Abbildung 10: Knoten-Modell zur Bestimmung des mittleren g -Wertes von Leichtbauteilen.

Die Testzelle ohne Testfassade wird durch die Kapazitäten $C1$ und $C2$ und die Leitwerte $H12$ und $H23$ repräsentiert. Der Übergang von Knoten 1 (Zelllufttemperatur) zu Knoten 3 (Serviceräumlufttemperatur) entspricht dem Wärmestrom zwischen Zellwand und Serviceräum. Die Unterteilung der Zellwand (Knoten 2) erlaubt die Berücksichtigung einer Dämpfung bei einer kurzfristigen Temperaturänderung. Q_{hcr} ist die Summe der mittels Wärmetauscher eingebrachten Kühlleistung, der elektrischen Leistung (Ventilator) und des Wärmestroms durch den Prüfraum, der durch eine Responsefaktorberechnung bestimmt wird.

Ein Leichtbauteil, für das ein konstanter mittlerer g -Wert zu bestimmen ist, wird durch zwei Leitwerte ($H14+H45$) und eine Kapazität ($C4$) dargestellt, die mit der Aussen- und der Zelllufttemperatur gekoppelt sind. Die Solarstrahlung wird an den Knoten 4 gekoppelt. Der Anteil der an die Raumluft abgegebene Solarstrahlung wird durch den 'Spannungsteiler' $H14$ und $H45$ bestimmt. Der Wärmedurchgangskoeffizient ist $U_{\text{eff}} = (1/H14 + 1/H45)^{-1}$. Der Gesamtenergiedurchlassgrad, das Verhältnis des äusseren Widerstands $1/H45$ zum Gesamtwiderstand, ist $g_{\text{eff}} = H45^{-1} \cdot U_{\text{eff}}$.

Durch diese Auswertung wird ein mittlerer Gesamtenergiedurchlassgrad bezüglich der Globalstrahlung in der Fassadenebene im realen Klima bestimmt. Er setzt sich aus einem – über den Sonnengang gemittelten – Direktanteil und einem Diffusanteil zusammen. Für ein Bauteil mit stark sonnenstandsabhängigen Eigenschaften sind komplexere Modelle möglich.

4.3 Messunsicherheit

Die Unsicherheit der identifizierten Parameter g und U hängt von verschiedenen Einflussgrößen ab. Neben den klimatischen Randbedingungen (Solarstrahlung, Aussentemperatur) spielt vor allem ein möglicher Messfehler der Leistungsmessung eine wichtige Rolle. Im Anhang 3 wird gezeigt, dass durch die Anpassung nach kleinsten Quadraten der Einfluss eines möglichen

Messfehlers deutlich kleiner ist als bei der Auswertung von Mittelwerten. Ein Messfehler in der Strahlungsmessung geht "nur" proportional zum g-Wert ein und spielt für kleine g-Werte keine wesentliche Rolle. Basierend auf den Beziehungen im Anhang 3 wird für die Angabe der Messunsicherheit angenommen, dass die (möglichen) systematischen Abweichungen der Leistungs- und der Strahlungsmessung ungünstig kombiniert (betragsmässig addiert) sind. Zusätzlich wird ein grösser möglicher Nullpunkt-Messfehler in der Leistungsmessung (Anhang 2) und eine kleine Temperaturdifferenz über die Testfassade angenommen, was mögliche Messfehler vergrössert.

Die resultierende Unsicherheit für den mittleren g-Wert ist in Abbildung 11 grafisch dargestellt und beruht auf dem folgenden Parametersatz: $P_0 = 8 \text{ W}$, $r_k = 0.02$, $P_{\text{elektr}} = 160 \text{ W}$, $A = 1.8 \text{ m}^2$, $I_0 = 3 \text{ W/m}^2$, $r_l = 0.03$, $U = 1.5 \text{ W/m}^2$, $I_{\text{solar,mittel}} = 140 \text{ W/m}^2$, $\Delta T_{\text{mittel}} < 1 \text{ K}$.

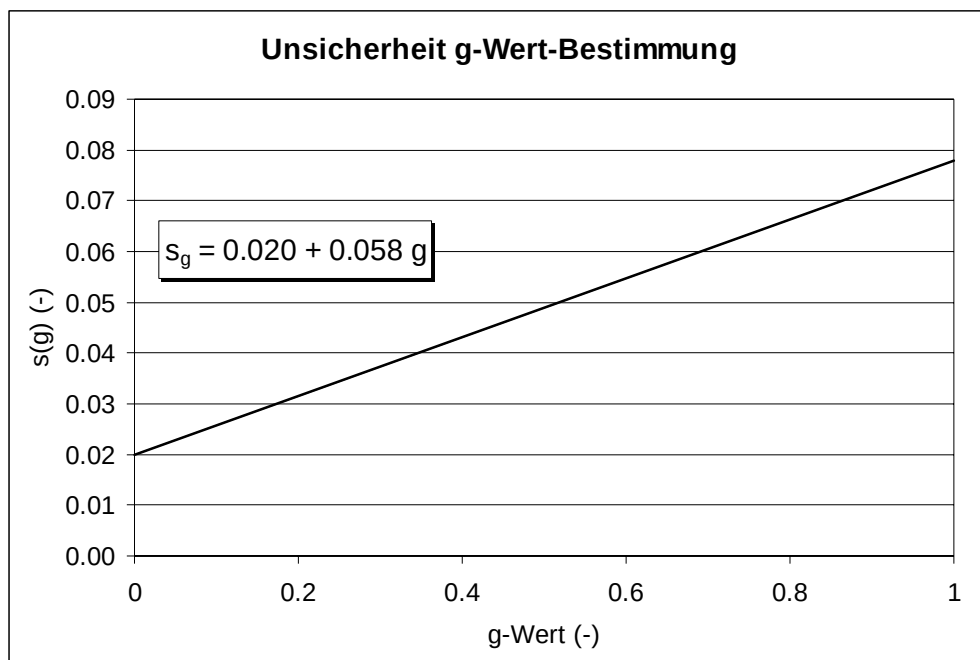


Abbildung 11: Für übliche Bedingungen geltende Unsicherheit der g-Wert-Bestimmung.

5 Durchführung von Messungen

5.1 Prüfung der Luftdichtheit

Eine Abschätzung ergibt, dass bei einer Luftwechselzahl $n_L = 0.1 \text{ h}^{-1}$ und dem Innenvolumen von ca. 31 m^3 der Wärmeverlust durch Luftaustausch bei rund 1 W/K liegt. Eine mittlere Temperaturdifferenz von wenigen Grad führt somit bereits zu einer Abweichung in der Energiebilanz von mehreren Watt, die messtechnisch nicht erfasst werden kann. Dies ist ein weiterer Grund dafür, Messungen bei möglichst konstanter Temperatur und kleinen Temperaturdifferenzen zum Serviceraum durchzuführen.

Vor einer Messung wird die Luftdichtheit der Testzelle mit angebauter Südwand mit einer Kleinanlage nach dem Differenzdruckverfahren überprüft. Nach (möglichst) luftdichtem Anschluss der Südfassade wird bei einer Druckdifferenz von 50 Pa der Wert $n_{L50} < 0.25 \text{ h}^{-1}$ erreicht. Damit dürfte während einer ungestörten Messung an einem weitgehend luftdicht im Prüfraum eingebauten Testelement eine Luftwechselzahl von unter 0.05 h^{-1} vorliegen.

5.2 Kalibration der Anlage

Bevor Messungen an einer unbekannten Testfassade durchgeführt werden können, ist es für die spätere Auswertung notwendig, das thermische Verhalten der gesamten Testzelle zu bestimmen. Diese Systemkalibration erfolgt z.B. anhand von stufenförmigen Lastwechseln und wird ohne Kühlleistung durchgeführt. Die Testöffnung im hochisolierenden Prüfrahmen wird dabei durch ein Element mit dem gleichen Schichtaufbau verschlossen. Aus dem Temperaturverhalten bei wechselnden Wärmelasten können Wärmekapazitäten und thermische Leitwerte eines vereinfachten R/C-Modells bestimmt werden (siehe Kapitel 4.2).

Bei optimaler Wahl der Leitwerte und Kapazitäten ist die Abweichung zwischen gemessener und berechneter Lufttemperatur in der Testzelle kleiner als 0.1 K (Abbildung 12). Die so bestimmten Systemgrößen werden für die Analyse der Messungen mit dem eigentlichen Testelement konstant gehalten.

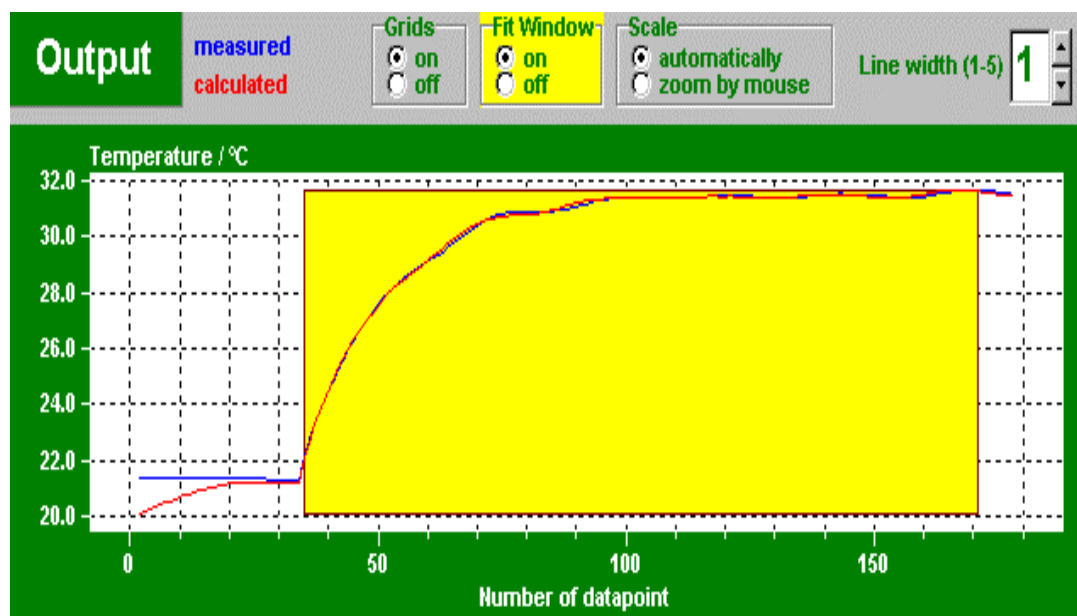


Abbildung 12: Gemessener und berechneter Temperaturverlauf der geschlossenen Testzelle nach einer stufenförmigen Erhöhung der internen Wärmelast.

5.3 Einbau von Prüfelementen

Beim Einbau eines Prüfelements sind verschiedene Aspekte zu beachten. Die Position (aussen-seitig oder raumseitig) kann sich auf die Ergebnisse auswirken, da die Bilanzgrenze durch die Innenseite der Verglasung definiert wird. Die raumseitige Montage hat eine Eigenbeschattung durch die Leibungen zur Folge, die sowohl den Diffus- als auch den Direktstrahlungsgewinn reduziert. Falls dieser Effekt nicht in die Messung eingehen soll, kann er näherungsweise durch die Berücksichtigung einer effektiv bestrahlten Fläche korrigiert werden. Für die Direktstrahlung hängt die Berechnung vom mittleren Sonnenstand, d.h. von der Jahreszeit, ab.

Die Einbausituation hat auch einen Einfluss auf den konvektiven Wärmetransport nach innen und aussen. Dieser Einfluss lässt sich nicht allgemein abschätzen. Es ist deshalb sinnvoll, die Einbausituation der realen Anwendungssituation anzupassen. In den Auswertungen wird die Einbausituation immer detailliert angegeben.

Selbstverständlich ist beim Einbau ebenfalls darauf zu achten, dass das Prüfelement luftdicht eingebaut wird und keine Wärmebrücken im Stirnbereich der Testzelle auftreten.

6 Messungen an Sonnenschutzsystemen

6.1 Ausgangslage und Zielsetzung

Vor allem bei hochverglasten Gebäuden stellt sich die Frage, wie effektiv geplante Sonnenschutzmassnahmen tatsächlich sind. Es sind zwar Labormesswerte und Literaturwerte der Gesamtenergiedurchlässigkeit von Verglasung mit Sonnenschutz vorhanden. Sie werden für vorgegebene Positionen einer Strahlungsquelle an einer verkleinerten Prüffläche gemessen und üblicherweise für senkrechten Lichteinfall und eine Lamellenstellung von 45° bekannt gegeben. Wie stark diese in der Planung verwendeten (Normal-)g-Werte von effektiven g-Werten abweichen, ist unklar, da verlässliche Messergebnisse von heute angebotenen Systemen im eingebauten Zustand und unter realen Klimabedingungen kaum vorhanden sind. Aufgrund dieser Ausgangslage wurden in einer ersten Messreihe effektive g-Werte verschiedener Kombinationen von Isolierverglasungen (IV) und Sonnenschutzelementen bestimmt [9],[10].

6.2 Auswahl und Einbau der Systeme

Messungen wurden an folgenden Kombinationen durchgeführt:

- 2-fach Isolierverglasungen mit integrierten Flachlamellen
- Isolierverglasung mit aussenliegenden Profillamellen
- Isolierverglasung mit aussenliegenden Stoffstoren
- Isolierverglasung mit innenliegendem Blendschutz

In den folgenden Abschnitten werden die Komponenten und die Einbausituationen beschrieben.

6.2.1 2-fach Isolierverglasungen mit integrierten Flachlamellen

Es wurden vier verschiedene 2-fach-Isolierverglasungen aus Kombinationen von ESG, Sonnenschutz- und Wärmeschutzglas mit integriertem Sonnenschutz (Lamellen-Rollo weiss oder silberner Farbe), d.h. im Scheibenzwischenraum (SZR) der Isolierverglasung montierten Lamellen-Rollos, gemessen.

Der Scheibenaufbau der einzelnen Typen ist wie folgt:

- | | | |
|----|-----------------------|--|
| a) | aussen: | 6 mm Einscheibensicherheitsglas (ESG) |
| | Scheibenzwischenraum: | 27 mm mit Argonfüllung (90%) und Infrastop Abstandhalter |
| | Lamelle: | ScreenLine (SL 27C); Farbe weiss (S102) |
| | innen: | 6 mm ESG K-Glass ($\tau_e=0.67$, $\rho_e=0.10$, $\epsilon=0.18$ Richtung SZR) |
| b) | aussen: | 6 mm ESG, unbeschichtet |
| | Scheibenzwischenraum: | 27 mm mit Argonfüllung (90%) und Infrastop Abstandhalter |
| | Lamelle: | ScreenLine (SL 27C); Farbe silbern (S724) |
| | innen: | 6 mm ESG K-Glass |
| c) | aussen: | 6 mm ESG Sonnenschutzglas "Suncool brillant 66/33" ($\tau_e=0.34$, $\rho_e=0.33$, $\epsilon = 0.02$ Richtung SZR) |
| | Scheibenzwischenraum: | 27 mm mit Argonfüllung (90%) und Infrastop Abstandhalter |
| | Lamelle: | ScreenLine (SL 27C); Farbe weiss (S102) |
| | innen: | 6 mm ESG, unbeschichtet |
| d) | aussen: | 6 mm ESG Sonnenschutzglas "Suncool brillant 66/33" |
| | Scheibenzwischenraum: | 27 mm mit Argonfüllung (90%) und Infrastop Abstandhalter |
| | Lamelle: | ScreenLine (SL 27C); Farbe silbern(S724) |
| | innen: | 6 mm ESG, unbeschichtet |

Abmessungen

Die Abmessungen aller vier Isolierverglasungen betrugen:

Aussenmasse: 1.500 m (Breite) x 1.250 m (Höhe) = 1.875 m²

Prüföffnung aussen: 1.480 m (Breite) x 1.230 m (Höhe) = 1.820 m² (Nut 10 mm)

transparenter Anteil: 1.462m (Breite) x 1.185m (Höhe) = 1.732m² (Schienenführung)

Die Ränder der Verglasungen wiesen folgende Abmessungen auf:

	aussen [mm]	innen [mm]
Rand oben (Spacer und Kopfprofil)	45	40
Rand seitlich (Spacer und Seitenprofile)	12.5	19
Rand unten (Spacer und Fussprofil)	20	20

Einbausituation

Die Isolierverglasungen wurden jeweils 1 cm tief rundum in einer zusätzlich zum Prüfraumen angefügten 3 cm hohen Blende aus Polystyrol eingenutet und 2 cm von der Aussenseite der Testzelle nach innen zurückversetzt. Auf den Isolierverglasungen wurden jeweils pro Seite 9 Thermoelemente in quadratischer Anordnung befestigt, wobei der Abstand vom oberen Rand 140 mm und von den drei andern Rändern je 100 mm beträgt (Abbildung 13, Abbildung 14).

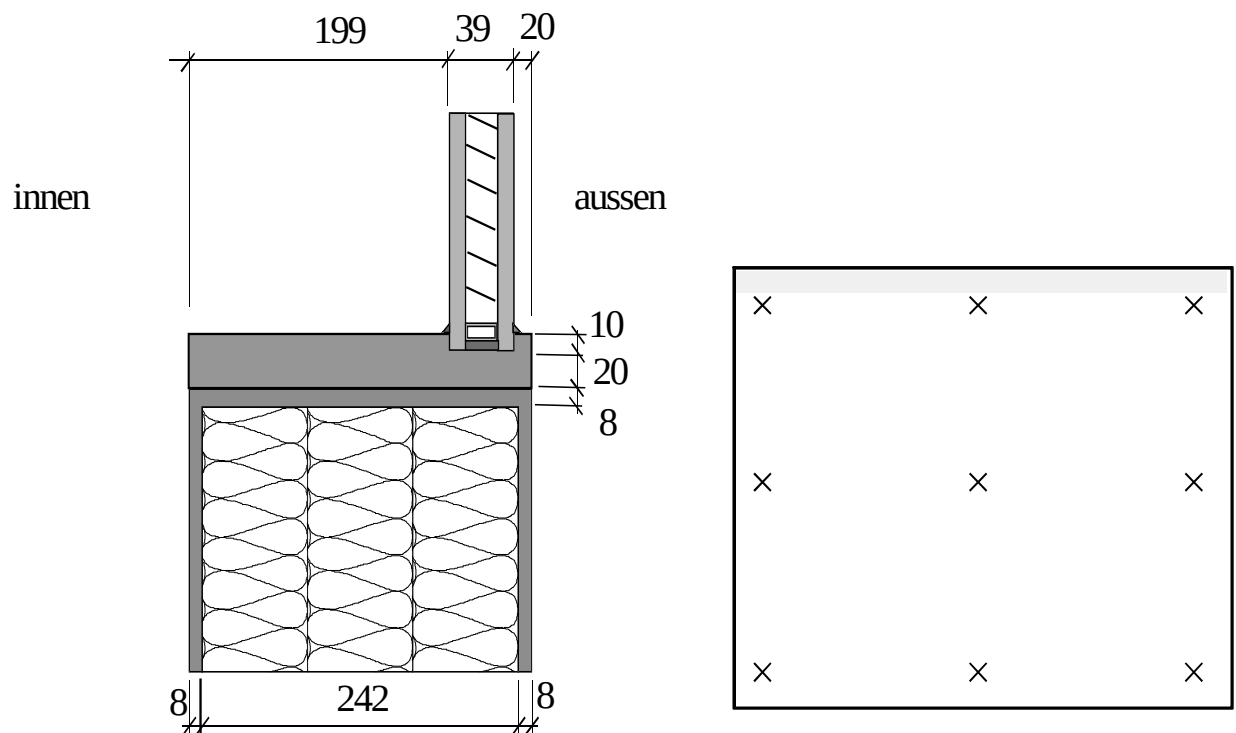


Abbildung 13: Einbausituation 2-IV mit integrierter Flach-Lamellenstrome (links) und Position der Thermoelemente (rechts).



Abbildung 14: Oben: K-Glass mit silberner ScreenLine-Lamelle und 9 transparent aufgeklebten Thermoelementen auf der Scheibenoberfläche. Unten: Einbaudetail der gleichen Verglasung, die Scheibe ist 2 cm nach hinten versetzt.

6.2.2 2-fach Isolierverglasung mit aussenliegenden Profillamellen

Es wurden vier verschiedene aussenliegende Profillamellen gemessen. Diese Profillamellen waren in Prüföffnung des Rahmens vor einer als Referenzglas dienendem 2-fach-Isolierverglasung montiert.

Die vier Elemente entstammen alle der "Verbund-Raffstore VR 90"-Serie und haben die Bezeichnung:

- a) VR 90 Lamellenfarbe crème-weiss (905)
- b) VR 90 Lamellenfarbe braun (071)
- c) VR 90 Lamellen perforiert, Farbe crème-weiss (905)
- d) VR 90-LO Lamellenfarbe crème-weiss (905), variable Lamellenstellung, von geschlossen (unten) zu horizontal (oben) übergehend

Der Scheibenaufbau der 2-fach Isolierverglasung ($U = 1.3 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) ist wie folgt:

- aussen: 4 mm Floatglas
- Scheibenzwischenraum: 16 mit Argonfüllung (90%) und Infrastop Abstandhalter
- innen: 4 mm Silverstar

Abmessungen

Scheibe:	1.500 m (Breite) x 1.250 m (Höhe)	= 1.875 m ²
Prüföffnung aussen:	1.450 m (Breite) x 1.230 m (Höhe)	= 1.784 m ²
Blende:	1.450 m (Breite) x 0.230 m (Höhe)	= 0.334 m ²
Lichtöffnung:	1.450 m (Breite) x 1.000 m (Höhe)	= 1.450 m ²

Einbausituation

Die Isolierverglasungen wurden oben und unten 1 cm tief und seitlich 2.5 cm tief in einer zusätzlich zum Prüfrahm angefügten 3 cm hohen Blende aus Polystyrol eingenetet und 3 cm von der Innenseite des Testrahmens nach aussen zurückversetzt. Auf den Isolierverglasungen wurden jeweils pro Seite 9 Thermoelemente in quadratischer Anordnung befestigt, wobei der Abstand vom den Ränder 100 mm beträgt (Abbildung 15, Abbildung 16).

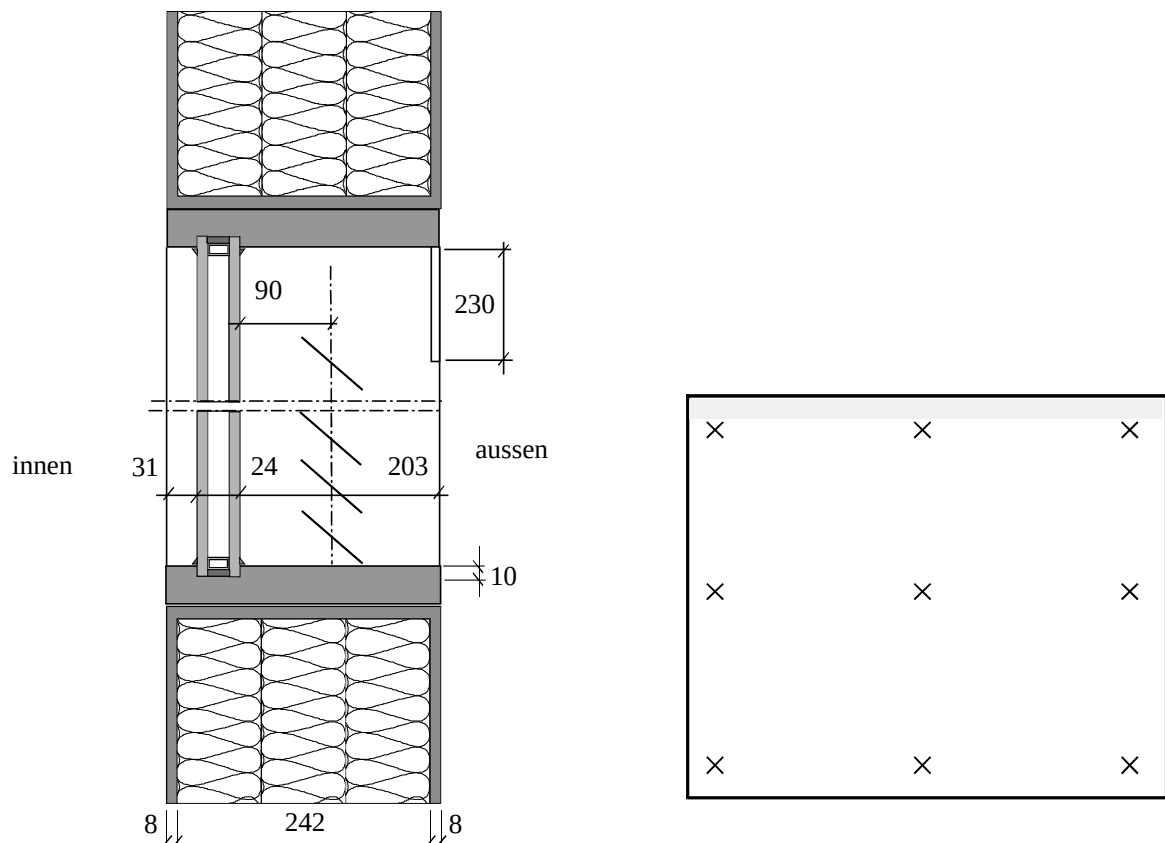


Abbildung 15: Einbausituation der 2-IV mit aussenliegender Rafflamellenstore (links) und Position der Thermoelemente (rechts).



Abbildung 16: Foto der eingebauten crème-weissen aussenliegenden Verbundraffstore

6.2.3 2-fach Isolierverglasung mit aussenliegenden Stoffstoren

um einen Typ Vertikalstoren (VSK) der Firma Schenker. Die Messungen wurden an zwei verschiedenen Vertikal-Stoffstoren durchgeführt, die sich durch ihre Farbe unterscheiden (silbergrau und beige). Montiert wurden diese VSK in die Prüföffnung des Rahmens. Für die Messung wurde die selbe Isolierverglasung verwendet wie in Abschnitt 6.2.2. Ein Aluminium-Schutzdach aus der Schenker-Produktpalette überdeckte die Stoffrolle in der Fensterleibung.

Einbausituation

Die beiden seitlichen Schienen trugen die Stoffrollenachse mit dem halbkreisförmigem Schutzdach. Der Abstand zwischen der Schienenachse und der Scheibe betrug 71 mm (Abbildung 17).

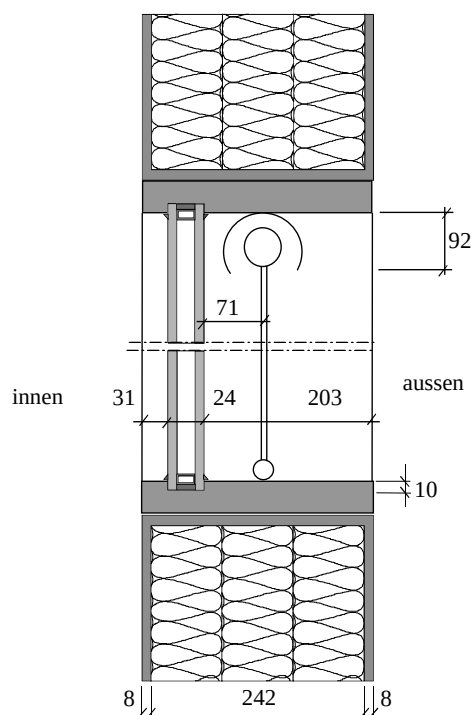


Abbildung 17: Einbausituation der 2-IV mit aussenliegender Stoffstore in der Leibung.

6.2.4 2-fach Isolierverglasung mit innenliegendem Blendschutz

Als raumseitiger Blendschutz wurde ein Kettzugrollo (STOSA-Produkt 875 FR) aus grau glänzendem Stoff mit hohem Reflexionsgrad ($\tau_e = 0.74$) gewählt. Diese Messung erfolgte ebenfalls mit der Isolierverglasung wie in Abschnitt 6.2.2.

Einbausituation

Die Kettzugrollo-Mechanik wurde über der Prüföffnung auf der Zellinnenseite befestigt. Er bewirkt, dass der Stoff 25 mm hinter dem Rahmen, d.h. 56 mm hinter der Scheibe steht (Abbildung 18).

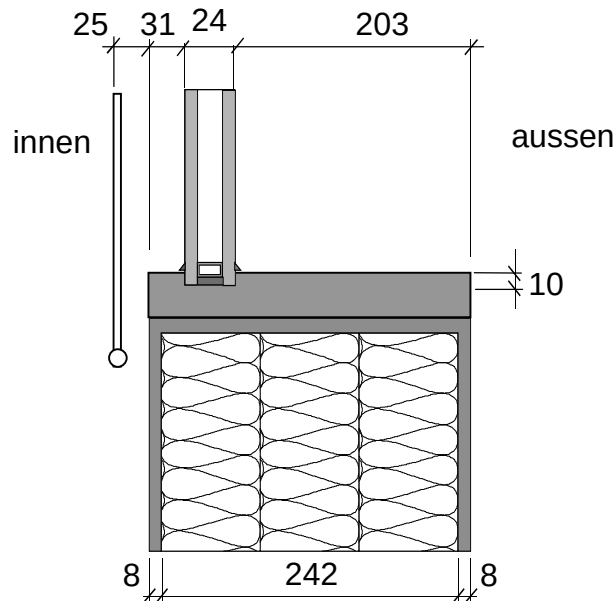


Abbildung 18: Einbausituation des raumseitigen Blendschutzes. Der offene Luftspalt bewirkt eine konvektive Wärmeabgabe an den Raum, die im g-Wert berücksichtigt wird.

6.3 Auswertung

Für die Auswertung wurde das im Kapitel 4.2 beschriebene Modell verwendet. Als Beispiel ist in Abbildung 19 der zeitliche Verlauf der Kühlleistung in der Testzelle während einer Messphase mit zwei unterschiedlichen g-Werten (Lamellenstellungen) grafisch dargestellt.

Der ausgewertete effektive g-Wert entspricht dem mittleren Gesamtenergiedurchlassgrad bezogen auf die Messphase und die jeweilige Lamellenstellung. Literaturwerte und Herstellerangaben von Sonnenschutz-g-Werten beziehen sich normalerweise auf senkrechten Strahlungseinfall und einen Lamellenwinkel von 45° . Es ist deshalb klar, dass sich diese Standardwerte von den im realen Klima bei unterschiedlichen Lamellenstellungen gemessenen Werten unterscheiden.

In der Datenanalyse wurden auch Modelle getestet mit unterschiedlicher Diffus- und Direktkomponente des Gesamtenergiedurchlassgrads. Es zeigte sich, dass damit keine wesentliche Verbesserung gegenüber der Anpassung eines globalen Wertes erreicht wird. Denkbar ist die Auswertung einer Kombination von konstanter und tageszeitabhängiger Komponente. Da die Auswertesoftware LORD nicht dafür vorbereitet ist, müssen die Daten aufwendig von Hand aufbereitet werden. Zusätzlich ist für die Zeit- bzw. Winkelabhängigkeit ein analytisches Modell erforderlich, da (wenn überhaupt) nur 1-2 Parameter eindeutig identifizierbar sind. Die Möglichkeiten und Grenzen komplexer Modelle werden in Zukunft weiter untersucht.

Bei allen Messungen ist zu beachten, dass als Bezugsfläche immer die transparente Glasfläche eingesetzt wurde. Die Eigenbeschattung durch Montageschienen, Rolladenabdeckung, Leibungen usw. wurde nicht wegkorrigiert, da sie auch in der echten Einbausituation auftritt.

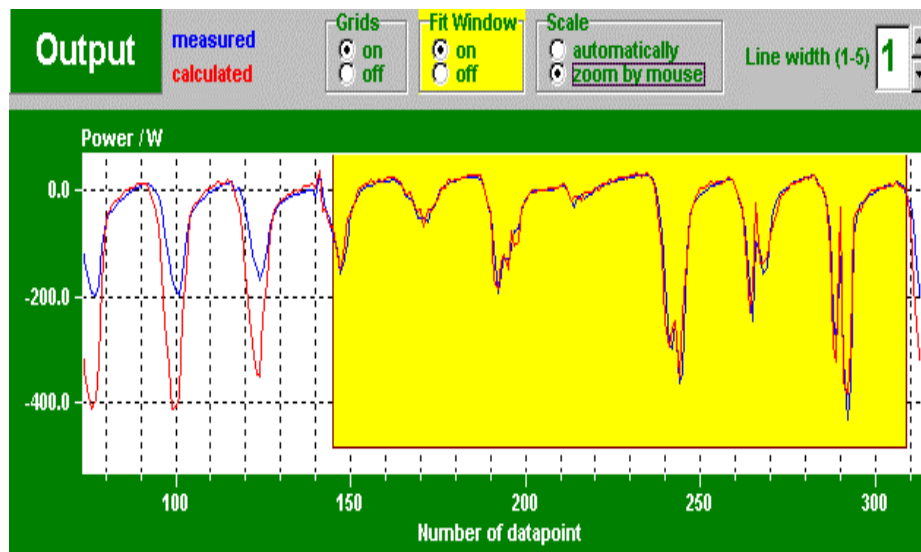


Abbildung 19: Gemessene und berechnete Kühlleistung in der Testzelle bei konstanter Temperatur mit einer eingebauten 2-fach-IV mit integrierter weisser Flachlamellenstore. Die Anpassung im unterlegten Berechnungs-Zeitfenster (Lamellen horizontal) ist gut. Im linken Bereich (Lamellen geschlossen, kleinerer g-Wert) sind die Messwerte der Kühlleistung deutlich kleiner.

6.4 Resultate

Die Auswertungen aller Messungen sind im Anhang 4 enthalten. In Tabelle 2 sind Ergebnisse von Messungen an 2-fach-IV mit integrierten Flachlamellen zusammengefasst. Klar ersichtlich ist die Abhängigkeit des effektiven g-Wertes von der Lamellenstellung des Sonnenschutzes. Es ist zu beobachten, dass bei geschlossenen Lamellen auch beim Einsatz eines Sonnenschutzglases nur die weisse Lamellenstore knapp die Anforderung $g \leq 0.15$ nach SIA 180 (2000) für eine Konstruktion ohne besonderen Sonnenschutznachweis erreicht. Beim Öffnungswinkel 45° liegen alle g-Werte über 0.15.

Die relativ geringe Wirkung des Sonnenschutzglases lässt sich damit erklären, dass die stark wärmereflektierende Beschichtung in Richtung Scheibenzwischenraum den Wärmetransport von der erwärmten Store nach aussen reduziert. Die Wirkung des Sonnenschutzglases zeigt sich durch einen kleineren Anstieg des g-Wertes bei grösserer Öffnung der Lamellen.

Verglasung	Sonnenschutz	Effektiver g-Wert bei Lamellenstellung		
		geschlossen	45°	horizontal
2-IV 6/27/6 Ar90% Suncool brillant / ESG	Flachlamelle silber	0.20 ± 0.03	0.24 ± 0.03	0.26 ± 0.04
2-IV 6/27/6 Ar90% Suncool brillant / ESG	Flachlamelle weiss	0.14 ± 0.03	0.18 ± 0.03	0.28 ± 0.04
2-IV 6/27/6 Ar90% ESG / k-Glas	Flachlamelle silber	0.20 ± 0.03	0.24 ± 0.03	0.42 ± 0.04
2-IV 6/27/6 Ar90% ESG / k-Glas	Flachlamelle weiss	0.15 ± 0.03	0.21 ± 0.03	0.34 ± 0.04

Tabelle 2: Effektive g-Werte von 2-fach-Isolierverglasungen mit integrierten Flachlamellenstoren.

Die Ergebnisse der Messungen an einer raumseitig eingebauten 2-fach-IV ($U=1.3 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) mit aussenliegenden Profil-Verbunddraffstoren sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Die g-Werte mit weissen und braunen Lamellen liegen bis zum Öffnungswinkel 45° unter 0.10. Bis zum Öffnungswinkel 60° liegen die gemessenen Werte unter dem SIA-"Grenzwert" 0.15.

Interessanterweise liefert in der gewählten Messphase und Einbausituation die Kombination mit brauner Lamellenfarbe kleinere g-Werte als die weisse Lamellenfarbe. Obwohl die Messunsicherheit bei kleinen g-Werten relativ gross ist, scheint ein systematischer Effekt vorzuliegen. Die Messphasen etwa für die 30° -Werte liegen nur etwa drei Wochen auseinander (weisse Store Anfang April, braune Store Mitte März). Der unterschiedliche mittlere Einfallswinkel kann also nicht die Ursache für den relativ grossen Unterschied sein. Ausserdem war der Einfallswinkel bei der Messung mit der braunen Store flacher (tendenziell grösserer g-Wert). Wenn die Windverhältnisse einen so grossen Einfluss hätten, wäre zu erwarten, dass die Resultate für die verschiedenen Lamellenwinkel stark von der Auswertephase abhängen. Dies ist nicht der Fall. Eine reale Ursache könnte der höhere Reflexionsgrad der weissen Lamelle sei, der einen höheren Transmissionsgrad für Streustrahlung (direkt und diffus) zur Folge hat.

Die Auswertung eines konstanten mittleren g-Wertes bei der 90° -Lamellenstellung ist problematisch (siehe Anhang 4), da durch Direkttransmission bei tiefem Sonnenstand (braune Store: Anfang Februar) eine bedeutende zeitabhängige Komponente überlagert ist. Diese Daten sind durch komplexere Modelle auszuwerten und mit anderen Lamellenstellungen nicht vergleichbar.

Die Messungen an der perforierten weissen Lamellenstore zeigen ein ähnliches Resultat: Durch die feine Perforation wird – abgesehen von einem sehr kleinen Winkelbereich senkrecht zur Fläche – der Reflexionsgrad der Lamellenfläche etwas tiefer und der Absorptionsgrad etwas höher, was zu einem etwas tieferen Transmissionsgrad führt. Die licht-optimierte Variante mit variabler Lamellenstellung ergibt einen g-Wert, der etwa einem 60° -Lamellenwinkel entspricht.

Verglasung	Sonnenschutz	Effektiver g-Wert bei Lamellenwinkel		
		30°	45°	60°
2-IV 4/16/4 Ar90% ESG / Silverstar	Profillamelle weiss	0.095 ± 0.026	0.097 ± 0.026	0.118 ± 0.027
2-IV 4/16/4 Ar90% ESG / Silverstar	Profillamelle braun	0.039 ± 0.022	0.043 ± 0.022	0.074 ± 0.024
2-IV 4/16/4 Ar90% ESG / Silverstar	Profillamelle weiss, perforiert	0.075 ± 0.024	0.099 ± 0.026	0.108 ± 0.026
2-IV 4/16/4 Ar90% ESG / Silverstar	Profillamelle weiss, licht-opti- miert ($0-90^\circ$)	0.108 ± 0.026		

Tabelle 3: Effektive g-Werte einer 2-fach-Isolierverglasung mit aussenliegenden Verbunddraffstoren (Profillamellen).

Ergebnisse der Messungen mit textilen Sonnen- und Blendschutzkomponenten sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Die relativ dichten aussenliegenden Stoffstoren, die innerhalb der Leibungen montiert wurden, ergeben g-Werte von unter 0.10, liegen also in einem für viele Anwendungen unkritischen Bereich. Falls aussenliegende Stoffstoren relativ weit vorgehängt und / oder ausgeschwenkt werden, ist allerdings mit deutlich höheren g-Werten zu rechnen.

Auch mit metallisch reflektierender Beschichtung bewirkt der raumseitige Blendschutz nur eine Reduktion des g-Wertes der Verglasung um etwa 25 Prozent. Bei den g-Werten ohne Sonnenschutz handelt es sich um effektive Werte für diese Einbausituation einschliesslich Beschattung durch Leibungen und Montagevorrichtungen.

Verglasung	Sonnenschutz	Effektiver g-Wert	
		mit Sonnenschutz	ohne Sonnenschutz
2-IV 4/16/4 Ar90% ESG / Silverstar	Stoff-Rollo aussen grau	0.072 ± 0.024	0.438 ± 0.045
2-IV 4/16/4 Ar90% ESG / Silverstar	Stoff-Rollo aussen beige	0.079 ± 0.025	
2-IV 4/16/4 Ar90% ESG / Silverstar	Blendschutz innen silber-reflektierend	0.304 ± 0.038	0.404 ± 0.043

Tabelle 4: Effektive g-Werte von Stoffstoren (Rollo aussenliegend) und Blendschutz (raumseitig).

7 Rückblick und Ausblick

Der Aufbau der Anlage, der Datenerfassung und der Auswertung war eine interessante Aufgabe, die trotz vorhandener Erfahrungen anderer Betreiber einige Lern- und Optimierungsprozesse erforderte, insbesondere was die kritische Regelung und Messung der Kühlleistung betrifft. Es hat sich auch gezeigt, dass die Analyse von Daten und die Beurteilung der Genauigkeit von identifizierten Kennwerten aus dynamischen Messungen nicht zu unterschätzende Bereiche sind, in denen einige Erfahrungen gesammelt werden mussten. Der Erfahrungszuwachs wird auch in Zukunft ein wichtiges Element sein. Wie die beschriebenen Messungen und Ergebnisse zeigen, hat sich das Grundkonzept der Anlage – Leistungsregelung eines thermisch weitgehend dichten, stationären Testraumes mit einer einzigen klimaexponierten Aussenwand – bewährt. Dem Bundesamt für Energie (BFE) danken wir für die finanzielle Unterstützung und die Geduld für den zeitlichen Mehraufwand, der zu Gunsten einer hohen Qualität erforderlich war.

Zur Sicherung der Qualität ist die EMPA an einem thematischen Netzwerk der EU [11] mit anderen europäischen Betreibern vergleichbarer Anlagen beteiligt. Im Projekt werden Mess- und Datenauswertungsverfahren anhand von identischen Referenzobjekten validiert. In laufenden Optimierungsarbeiten wird ausserdem die Messgenauigkeit der Anlage weiter verbessert.

Die im Rahmen des Aufbauprojekts laufenden Messungen an Sonnenschutzsystemen werden in nächster Zeit abgeschlossen. Es ist vorgesehen, zusätzliche Messungen in Zusammenarbeit mit Herstellern und Verbänden durchzuführen und die Resultate in Form eines Leitfadens zu veröffentlichen. Dabei stehen neuere Systeme mit tageslicht-optimierten bzw. licht-lenkenden Eigenschaften und Fassadenbauteile mit integriertem Sonnenschutzsystem im Vordergrund.

In den nächsten Jahren ist die EMPA am IEA Task 27 [12] beteiligt, in dem unter anderem detaillierte und vereinfachte numerische Modelle von Beschattungssystemen [13] mit Labor- und Aussenklimamessungen überprüft werden. Mittelfristig ist eine Integration von verifizierten Kenngrössen und Rechenverfahren in bestehende Gebäudesimulationsprogramme wie HELIOS und TRNSYS geplant. In Vorbereitung sind Projekte zur messtechnischen und numerischen Untersuchung von "intelligenten" Fassadenkonstruktionen mit integralen Sonnenschutz-, Tageslicht- und Lüftungsfunktionen, die in grösseren Bauprojekten mit hohem Glasanteil in Zukunft eine wichtige Rolle spielen werden.

Schliesslich soll nicht unerwähnt bleiben, dass der EMPA-Solarprüfstand auch für Messungen an vorhandenen Bauprodukten und laufenden Entwicklungen von Herstellern zur Verfügung steht.

8 Referenzen

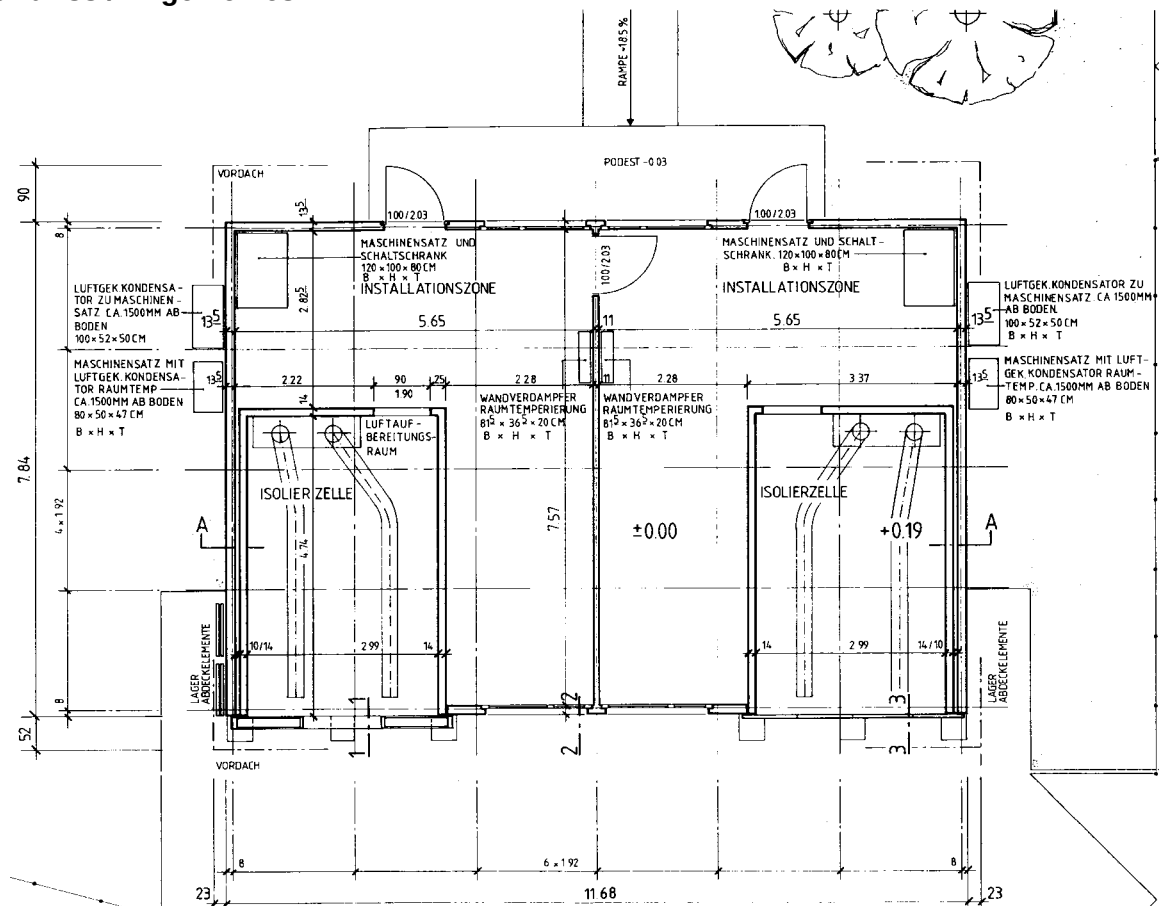
- [1] PASLINK EEIG, c/o Belgian Buliding Research Institute (BBRI), Violetstraat 21-23, B-1000 Brüssel.
- [2] *Measurement and Modeling of Solar Façade Components and Shading Systems*, H. Simmler and H. Manz, Proceedings CISBAT'99, Lausanne (1999).
- [3] *The ALTSET-Project, Measurement of angular properties for complex glazings*, W.J. Platzer, Proceedings EUROSUN 2000, Copenhagen (2000).
- [4] IEA-SHC Task 18 "Advanced glazings and associated materials for solar and building applications": Final project report B12 "Measurement of the total solar energy transmittance", W.J. Platzer, ISE Freiburg i.Br. (1996).
- [5] *Optimierung von Doppelfassaden mit Hinterlüftung – Planungshilfe mit numerischer Strömungsberechnung*, A. Schälín, Tagungsband 11. Status-Seminar Energie- und Umweltforschung, BFE/EMPA ZEN (2000).
- [6] *The PASSYS Services, Summary Report*. Herausgeber P. Wouters, L. Vandaele, BBRI, EC DG XII, Brüssel (1994).
- [7] EMPA SOP 176.020: Betrieb der Anlage, Datenerfassung, Datenauswertung.
Zusatzdokumente:
 - Anlagehandbuch (Detailbeschreibungen von Komponenten, Sensoren usw.)
 - Kalibrationshandbuch (Beschreibung der Kalibrationsverfahren)
 - LOG-Nr. 6.3.01 / 6.1.02: Logbücher (Konfiguration, Unterhalts-, Kalibrationsarbeiten)
- [8] *LORD 2000 FB*, Entwickler O. Gutschker, Technische Universität Cottbus (2000).
- [9] *Prüfung von solaren Fassadenbauteilen*, H. Simmler, FASSADE 4/98, Verlag SZFF, Dietikon (1998).
- [10] *Wärmelasten transparenter Bauteile und Sonnenschutzsysteme*, H. Simmler, tec 21 Nr. 47, Verlags-AG der akademischen technischen Vereine, Zürich (2000).
- [11] EU Thematic Network "IQ-Test", EC ERK6-CT-1999-20003, c/o P. Wouters, BBRI, Brüssel (2000).
- [12] IEA-SHC Task 27 "Performance, durability and sustainability of advanced windows and solar components for building envelopes" (2000-2003).
- [13] Siehe z.B. *Evaluation of overheating protection with sun-shading devices*, T.E. Kuhn, Proceedings EUROSUN 2000, Copenhagen (2000).

Vereinfachte Berechnungsmethode: ISO/DIS 15099 "Thermal performance of windows, doors and shading devices – Detailed calculations" (2000).

Anhang 1: Konstruktion und Aufbau

A1.1 Einzelheiten zum Gebäude

Grundriss / Allgemeines



Position

CH1903 Länge Ost Y: 688'630 m / Breite Nord X: 250'935 m

WGS84 Länge L 8°36'55" / Breite B 47°24'12"

Prüfwandausrichtung

Die Südwand ca. 29° nach Westen gedreht.

Konstruktion

- Gebäude: Holzrahmenkonstruktion mit Kerndämmung
- Je zwei Temperaturregelzonen (Prüfzelle und Serviceraum)

Abmessungen

Beschreibung	Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Fläche [m ²]	Volumen [m ³]
Gebäude 1 Prüfteil über alles	7.84	5.84	2.84*	45.79	130.0
Prüfzelle innen	4.626	2.85	2.36	13.18	31.1
Serviceraum innen	7.57	5.65	2.78	28.78**	80.0**

*ohne Deckenverkleidung, **ohne Prüfzelle

Bodenkonstruktion

- Balkenlage, Randbalken und Unterzüge auf Sockelmauerwerk verlegt
- Blindboden 18 mm zwischen Balkenlage
- Dämmung 120 mm (Isover Uniroll) zwischen Balkenlage
- Unterlagsboden Spanplatten 25 mm (CH 10 auf Balken
- Linoleum
- Randbalken aussen mit ETERPLAN plus verklebt
- U-Wert = 0.3 W/m²K

Aussenwandelemente

- Rahmenelemente 135 mm
- Kerndämmung 100 mm (Isover Uniroll), aussen mit Holzfaserplatten 3,2 mm als Winddichtung abgedeckt
- Äussere Verkleidung Tannenschalung vertikal 20 mm
- Innere Verkleidung Spanplatten 13 mm
- U-Wert = 0.3 W/m²K

Trennwand

- Rahmenelement 110 mm
- Beidseitige Verkleidung Spanplatte 13 mm

Deckenkonstruktion

- Traglatten unter Dachbinder
- Dämmung 120 mm (Isover Uniroll)
- Dampfsperre vollflächig über Dämmung gezogen
- Deckenverkleidung über Zelle: Hartpavatexplatte 4 mm
- Deckenverkleidung sonst: Mineralfaserplatte
- U-Wert = 0.3 W/m²K

Bedachung Flachdach

- Flachdachkonstruktion mit Kunststoffdichtungsbahn SARNAFIL 1.2 mm An- und Abschlüsse an Dachrändern.
- Kiesschutzschicht 50 mm

A1.2 Testzelle

Volumen	2.85 x 2.36 x 4.626 m ³ = 31.11 m ³ (inkl. Dichtung Prüfrahmen-Zelle)
Abmessungen aussen	3.13 x 2.64 x 4.606 m ³
Fussboden	Stahlnoppenblech
Fussbodenbelastung	10'000 N/m ²
Lackierung	RAL 9002 grauweiss

Aufbau

ROMA-Dämmplatten bilden die Zelle. Diese Platten bestehen aus einem PU-Schaumkern mit 0.7 mm dicken Stahlblechoberflächen, die grauweiss lackiert sind. Die Plattendicke ist 14 cm und der U-Wert ist 0.17 W/m²K. Die Zellelementplatten sind wärmebrückenfrei miteinander verbunden. Die obersten 18 mm der Bodenplatten bestehen aus hartem PU-Schaum, die von einem Noppenblech überdeckt sind. Der Boden liegt auf 10 cm hohen Hutprofilen (verschraubt von oben, Löcher mit PU-Schaum gefüllt).



Abbildung 20: Zellecke wärmebrückenfrei zusammengesetzt aus PU-Sandwichelementen mit beidseitiger Blechkaschierung ($U = 0.17 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$).

Zellelement-Durchbrüche

Boden:	dünnes Rohr für die 10 Bodenthermoelemente
Seitenwand :	4 Röhrchen (Thermoelemente, HFS, Reserve)
Nordwand :	Vorlauf + Rücklauf WT
	Anschluss für Luftwechsellmessung
	Reserveloch (Deckel und Isolation)

Korrektur für Berechnung des Wärmedurchgangs

Aus der Messung des Wärmedurchgangs der Referenzzellwandplatte im Zweiplattengerät wurden die Parameter für den temperaturabhängigen Leitwert bestimmt. $L = KA_0 + T_m \cdot KA_1$; $KA_0 = 0.1346$, $KA_1 = 0.00152$ (alle Werte in SI-Einheiten). Im Messprogramm werden zur (stationären) Berechnung der Beiträge zur Wärmestrombilanz folgende Korrekturen berücksichtigt:

- Fugenstoss
- Zellkante
- Anschluss Zelle-Prüfrahmen
- Zellboden
- Zelltüre

Fugenstoss

Aus der Differenz der Referenzplattenmessungen mit und ohne Stoss folgt der Zusatzverlust durch den Plattenstoss. Diese Grösse ist temperaturabhängig:

$$L_{\text{Stoss}} = \text{Stosslänge} \cdot (KS_0 + T_m \cdot KS_1), \text{ mit } KS_0 = 0.0152; KS_1 = 0.00000897$$

Zellkante

Aus der Differenz des Leitwertes durch eine Winkelplatte, deren Wärmedurchgang numerisch berechnet wurde, und einer geraden Platte mit gleicher Fläche folgt der Kantenverlust pro Länge. Die Innenfläche des Winkels wurde genommen, da immer die Innenoberfläche der Zelle in der Rechnung genommen wird. Diese Rechnung wurde mit 3 verschiedenen Wärmeleitfähigkeiten mit Kobru86 durchgeführt. Es resultiert ein temperaturabhängiger Leitwert. Bei der Berechnung des Wandverlusts wird der Kantenverlust dazugerechnet, darum wird für jede Fläche die Hälfte des berechneten Kantenverlustes berücksichtigt: $Q_{\text{Kante, Platte}} = \text{Kantenlänge} \cdot \Delta T \cdot \text{Kantenverlust} / 2$, wobei $\text{Kantenverlust} / 2 = L_{\text{Kante}} = \text{Kantenlänge} \cdot (KK_0 + T_m \cdot KK_1)$, mit $KK_0 = 0.0061$, $KK_1 = 0.00005$.

Anschluss Prüfrahmen

In der Berechnung des Wärmedurchgangs wird die Fläche eingesetzt, die sich aus der Zelllänge ohne die Dichtung ergibt. Der Wärmedurchgang durch diese Dichtungsfläche ist dem Kantenverlust des Prüfrahmens zugerechnet. Aus einer Kobru86 Rechnung ergibt sich ein Kantenverlust von 0.34 W/(m K), Kalibrationsversuche ergeben einen Kantenverlust von 0.23 W/(m K).

Zellboden

Beim Zellboden existiert keine Referenzplatte. Die obersten 18 mm bestehen aus dichterem Schaum. Der Leitwert wird wie bei der Zellwand berechnet mit $KA0 = 0.14$; $KA1 = 0.00152$.

Zell-Türe

Der Wärmedurchgang durch die Türe inklusiv der Zusatzplatte wird bestimmt durch die Temperaturdifferenz, dem 1-dimensionalen Leitwert und einem numerisch bestimmten Türtrandverlust: $Q_T = \Delta T_T \cdot (\text{Fläche} \cdot 0.1701 + \text{Rahmenumfang} \cdot \text{Randverlust})$.

A1.3 Südwand / Prüfrahmen

Die zwei Standardrahmen mit Ausschnitten für Fenster/Wandelemente sind wie folgt aufgebaut:

- Holzrahmen 8/12 cm unten und oben mit Flacheisen 80/10 mm² verstärkt, seitlich mit IPET 160 Träger (je 3 Löcher für die Schrauben)
- Füllung: Zwei 120 mm dicke PU-Schaumplatten geklebt ($\lambda=0.028$)
- Verkleidung: FOREX 8 mm ($\lambda=0.069$)
- Gesamtdicke: 256 mm
- Wärmedurchlasswiderstand: 8.8 m²K/W

Abmessungen:

Gegenstand	Breite [m]	Höhe [m]
Prüfrahmenelement	3.33	3.0
Prüfrahmenelement über alles (inkl. Stahlrahmen)	3.48	3.0
Einbauöffnung klein	1.54	1.29
Einbauöffnung gross	1.54	2.04

Anhang 2: Messung und Kalibration der Kühlleistung

Die Kühlleistung $P_{\text{kühl}} = \rho c V \Delta T$ wird durch Messung der Temperaturdifferenz ΔT (Vorlauf-Rücklauf) und des Volumenstroms V im Kühlwasserkreis bestimmt. Bei einem Volumenstrom $V = 1 \text{ m}^3/\text{h}$, der aus regeltechnischen Gründen nicht wesentlich unterschritten werden kann, gilt ungefähr $P_{\text{kühl}} = 1160 \cdot \Delta T$. Da eine Temperaturdifferenz $\Delta T = 10 \text{ mK}$ also bereits einer Kühlleistung von rund 10 W entspricht, wird die Messung mit einer Vollbrücke aus 4 PT1000-Platinwiderständen durchgeführt (Abbildung 21). Die direkte Differenzmessung erlaubt einen exakten Nullabgleich und eine weitgehend driftfreie Messung.

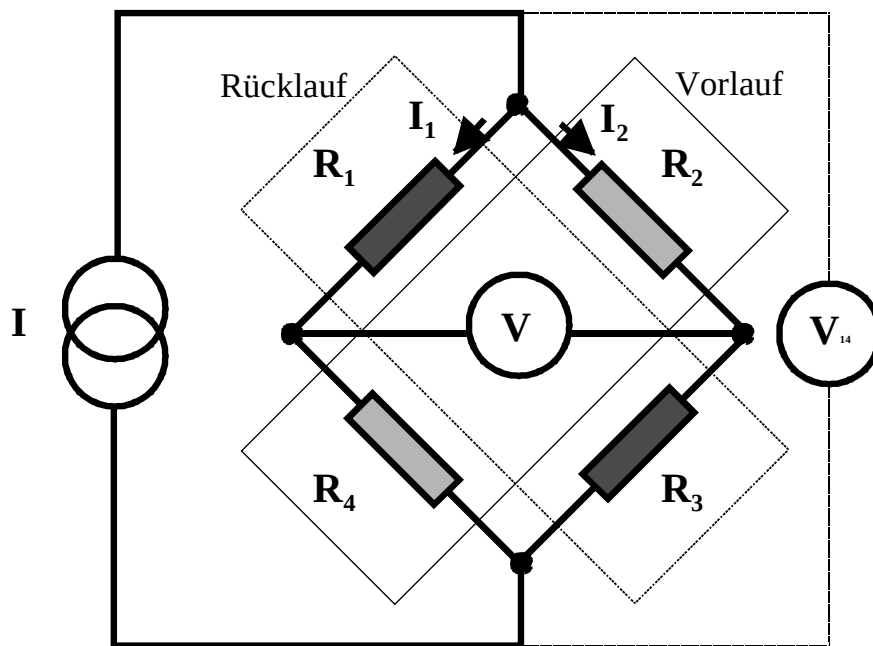


Abbildung 21: Schema der PT1000-Widerstandsvollbrücke zur Messung der Temperaturdifferenz Vorlauf-Rücklauf.

Die Widerstände R_1 und R_3 sind im Rücklauf-, R_2 und R_4 im Vorlauf-Wassertemperaturfühler eingebaut. In beiden Sensoren befindet sich zusätzlich ein sehr stabiler Class A PT100, mit dem die mittlere Sensortemperatur gemessen wird (Abbildung 22). Die Temperaturdifferenz zwischen den Fühlern wird mit einer Spannungsmessung (V) bestimmt. Der Brückenwiderstand ist wie folgt definiert:

$$R_{\text{Brü}} := \frac{V}{I} = \frac{R_1 \cdot R_3 - R_2 \cdot R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}. \quad (\text{Gl. 2})$$

Für kleine Temperaturdifferenzen gilt:

$$R_1 \approx R_3 \approx R_m + \frac{\Delta R}{2}; \quad R_2 \approx R_4 \approx R_m - \frac{\Delta R}{2}; \quad (\text{Gl. 3})$$

mit $R_m = R_{\text{PT1000}}$ bei $T_m = (T_V + T_R)/2$

$$\text{Damit wird } \Delta R = 2R_{\text{Brü}}, \text{ und } \Delta T = 2R_{\text{Brü}} \left[\frac{\Delta R}{\Delta T} \right]_{R_m}^{-1} \quad (\text{Gl. 4})$$

$R_{\text{Brü}}$ und $\Delta R/\Delta T$ sind abhängig von den eingesetzten PT1000 in der Vollbrücke und der mittleren Temperatur der beiden Sensoren. Für die Kalibration werden beide Sensoren nahe beieinander in einem Thermostatbad zusammen mit einem Referenztemperatursensor bei verschiedenen Temperaturen gemessen, wobei die ganze Messkette des Solarprüfstands verwendet wird. Aus der leicht temperaturabhängigen Abweichung des Brückenrestwiderstands (Sollwert = 0) wird eine Korrekturfunktion für den Nullpunkt bestimmt: $R_{\text{offset}} = O_1 + F_1 T_m$.

Die Temperaturabhängigkeit des mittleren Widerstands $R_m = V_{14}/I$ aller PT1000 liefert eine temperaturkorrigierte Funktion für den Temperaturkoeffizienten: $\Delta R_m/\Delta T = O_2 + F_2 T_m$. Analog werden die Funktionen für die Temperaturkoeffizienten der eingebauten PT100 bestimmt. Damit sind die praktisch auftretenden Temperaturdifferenzen bis etwa 2 K sehr genau messbar. Mit Berücksichtigung der zeitlichen Stabilität der Messkette kann eine Unsicherheit von 5 mK für die Temperaturdifferenz bzw. ca. 5 W für die Kühlleistung angenommen werden.

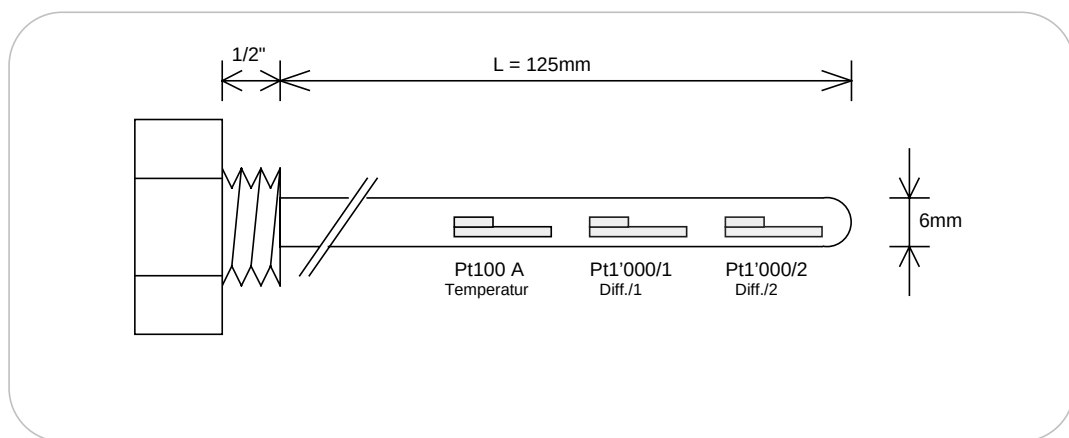


Abbildung 22: Aufbau der Sensoren zur Messung der Temperaturdifferenz Vorlauf-Rücklauf.

Anhang 3: Messunsicherheit

In diesem Anhang wird auf die Frage eingegangen, welche Genauigkeit für die wichtigsten Grössen g und U erwartet werden kann, die indirekt aus den Messdaten bestimmt werden. Es geht hier nicht um eine umfassende Analyse, sondern um eine Betrachtung der wesentlichen Einflussgrössen.

A3.1 Mittelwertbildung

Die einfachste Auswertung besteht in der Mittelwertbildung der Messwerte über eine genügend lange Zeit. Der mittlere Wärmestrom durch die Testfassade ist dann

$$P_{\text{test}} = gA \cdot I_{\text{solar}} + UA \cdot \Delta T = P_{\text{solar}} + P_{\text{trans}} \quad (\text{Gl. 5})$$

mit

- g mittlerer Gesamtenergiedurchlassgrad (-)
- A Testfläche (m^2)
- I_{solar} Mittlere Globalstrahlungsintensität in Fassadenebene (W/m^2)
- U mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)
- ΔT mittlerer Temperaturdifferenz Aussen-Testzelle (K)

Falls der U -Wert (näherungsweise) bekannt ist, kann $g = (P_{\text{test}} - P_{\text{trans}}) / (AI_{\text{solar}})$ direkt berechnet werden. Unter der Annahme, dass der (kleine) mittlere Wärmestrom zwischen Testzelle und Serviceraum durch Kalibration bestimmt und berücksichtigt ist, gilt $P_{\text{test}} = P_{\text{kühl}} - P_{\text{elektr}}$. Die kritische Grösse bezüglich Messunsicherheit ist die Kühlleistung $P_{\text{kühl}}$. Mit einem linearen Ansatz $s_{P_{\text{kühl}}} = P_0 + r_k \cdot P_{\text{kühl}}$ sowie $s_{P_{\text{trans}}} = r_t \cdot P_{\text{trans}}$ und $s_{I_{\text{solar}}} = r_i \cdot I_{\text{solar}}$ folgt aus dem allgemeinen Ansatz der Fehlerfortpflanzung für die Messunsicherheit von g :

$$s_g^2 = \left(\frac{P_0 + r_k (P_{\text{elektr}} + UA \cdot \Delta T)}{AI_{\text{solar}}} + r_k g \right)^2 + \left(r_t \frac{U \cdot \Delta T}{I_{\text{solar}}} \right)^2 + (r_i g)^2 \quad (\text{Gl. 6})$$

Wenn wir annehmen (müssen), dass der beschriebene Ansatz für $s_{P_{\text{kühl}}}$ keine statistische Messunsicherheit (mit Streuung um 0), sondern ein systematischer Messfehler ist, resultiert ein abweichender g -Wert

$$g_{\text{Mittelwert}} = (1 - r_k)g - \frac{P_0 + r_k (P_{\text{elektr}} + UA \cdot \Delta T)}{AI_{\text{solar}}} \quad (\text{Gl. 7})$$

Für die Werte $P_0 = 5 \text{ W}$, $r_k = 0.02$, $P_{\text{elektr}} = 160 \text{ W}$, $r_t = 0.10$, $r_i = 0.03$, $U = 1.5 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$, $A = 1.8 \text{ m}^2$, $\Delta T = -4 \text{ K}$, $I_{\text{solar}} = 140 \text{ W}$ (SMA DRY Süd 17.-19. August) enthält die folgende Tabelle die Resultate für einige g -Werte.

g_{wahr}	s_g	$g_{\text{Mittelwert}}$	Beitrag $s_{P_{\text{kühl}}}$	Beitrag $s_{P_{\text{trans}}}$	Beitrag $s_{I_{\text{solar}}}$
0.100	0.034	0.066	0.034	0.004	0.003
0.150	0.035	0.115	0.035	0.004	0.005
0.200	0.036	0.164	0.036	0.004	0.006
0.300	0.039	0.262	0.038	0.004	0.009
0.400	0.042	0.360	0.040	0.004	0.012
0.500	0.045	0.458	0.042	0.004	0.015
0.600	0.047	0.556	0.044	0.004	0.018
0.700	0.050	0.654	0.046	0.004	0.021
0.800	0.054	0.752	0.048	0.004	0.024

Es wird deutlich, dass bei kleinen g-Werten mit grossen relativen Messunsicherheiten bzw. Messfehlern zu rechnen ist, die weitgehend auf die Unsicherheit bzw. die systematische Abweichung der Kühlleistungsmessung zurückzuführen ist. Bei grösseren g-Werten wird die Unsicherheit der Strahlungsmessung wichtiger, jene der Kühlleistungsmessung bleibt aber dominant.

A3.2 Nicht-stationäre Auswertung

Für diesen Fall wird wieder vereinfachend angenommen, dass für jeden Zeitwert der Messreihe $j = 1, \dots, n$ der Wärmestrom durch die Testfassade durch

$$P_{\text{test},j} - gA \cdot I_j - UA \cdot \Delta T_j = 0 \quad (\text{Gl. 8})$$

beschrieben wird. Speichereffekte in der Testfassade und durch (kleine) Temperaturschwankungen in der Testzelle werden ausgeklammert. Die gemessene Leistung sei wieder durch einen systematischen Fehler $s_j = P_0 + r_k(P_{\text{test},j} + P_{\text{elektr}})$ verzerrt, also

$$P_{\text{mess},j} = P_{\text{test},j} - s_j = (1 - r_k)P_{\text{test},j} - (P_0 + r_k P_{\text{elektr}}) = (1 - r_k)P_{\text{test},j} - \Delta P \quad (\text{Gl. 9})$$

Für die Messreihe mit (statistischen) Restfehlern ε_j gilt dann

$$(P_{\text{mess},j} + \Delta P) / A - (1 - r_k)g \cdot I_j - (1 - r_k)U \cdot \Delta T_j - \varepsilon_j = 0 \quad (\text{Gl. 10})$$

In der Anpassung nach kleinsten Quadraten werden die Parameter g und U so variiert, dass

$$M = \sum \frac{\varepsilon_j^2}{s_{\text{mess},j}^2} = \min$$

Falls – wie im Parameter-Identifikationswerkzeug LORD – die Gewichte $1/s_{\text{mess},j}^2$ konstant angenommen werden, führt die Minimierung der Quadratsumme M auf

$$g_{\text{fit}} = (1 - r_k)g - \frac{\Delta P}{A} \frac{\overline{I \cdot \Delta T^2} - \overline{\Delta T} \cdot \overline{I \Delta T}}{D}; \quad s_g^2 = \frac{s_{\text{mess}}^2}{n} \frac{\overline{\Delta T^2}}{D} \quad (\text{Gl. 11})$$

$$U_{\text{fit}} = (1 - r_k)U - \frac{\Delta P}{A} \frac{\overline{\Delta T} \cdot \overline{I^2} - \overline{I} \cdot \overline{I \Delta T}}{D}; \quad s_U^2 = \frac{s_{\text{mess}}^2}{n} \frac{\overline{I^2}}{D} \quad (\text{Gl. 12})$$

$$\text{wobei } D = \overline{I^2} \cdot \overline{\Delta T^2} - \overline{I \Delta T}^2 \text{ und } \overline{x} = \sum x_j / n.$$

Interpretierbare Resultate ergibt die zumindest qualitativ brauchbare Annahme $\Delta T = \Delta T_0 + \kappa \cdot I$, d.h. dass Temperaturdifferenz und Globalstrahlungsintensität im Tagesgang gekoppelt sind:

$$g_{\text{Näherung}} = (1 - r_k)g - \frac{\Delta P}{A \overline{I}} \left(1 - \frac{\overline{\Delta T}}{\Delta T_0} \right) \quad U_{\text{Näherung}} = (1 - r_k)U - \frac{\Delta P}{A \Delta T_0} \quad (\text{Gl. 13})$$

Für einen stabilen g-Wert ist neben einer guten mittleren Einstrahlung eine grosse mittlere Temperaturdifferenz wichtig. Damit wird der Einfluss einer Nullpunktabweichung in der Leistungsmessung klein, auch bei nicht optimaler Einstrahlung. Der U-Wert wird bei kleinen Dunkel-Temperaturdifferenzen stark durch eine Nullpunktabweichung beeinflusst.

Als Beispiel wird wieder von der realen Klimasituation (SMA DRY Süd, 17.-19. August) wie bei der Mittelwert-Auswertung ausgegangen. Die Temperatur in der Testzelle ist $T_i = 22.7\text{ °C}$ gesetzt, so dass die Temperaturdifferenz $\Delta T_{\text{mittel}} = -4.0\text{ K}$ beträgt. Aus den Klimadaten erhält man $\Delta T_0 = -6.11\text{ K}$. Der U-Wert ist wieder $U = 1.5\text{ W/m}^2\text{K}$, ebenso entsprechen die übrigen Größen dem 1. Beispiel. In Abbildung 23 ist die gemessene Leistung (Messfehler $P_0 = 5\text{ W}$, $r_k = 0.02$) und die angepasste Fit-Kurve für $g = 0.10$ dargestellt, zusammen mit der Aussentemperatur.

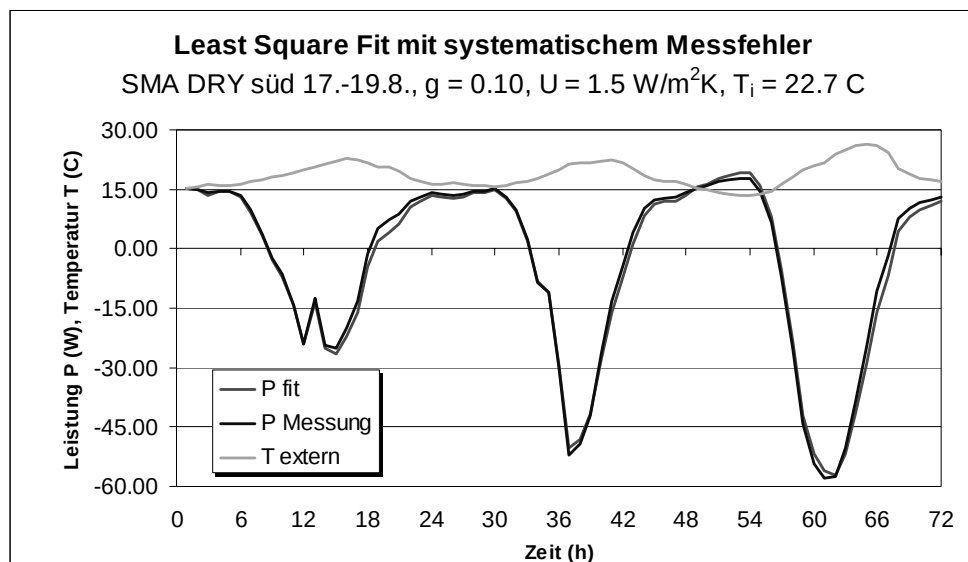


Abbildung 23: Vergleich zwischen gemessener Kühlleistung (mit Messfehler) und einer Anpassung nach kleinsten Quadraten.

Die Resultate für verschiedene g -Werte sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

g_{wahr}	g_{fit}	$g_{\text{Näherung}}$	$g_{\text{Mittelwert}}$	U_{fit} ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$)	$U_{\text{Näherung}}$ ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$)
0.050	0.040	0.038	0.017	2.10	2.22
0.100	0.089	0.087	0.066	2.10	2.22
0.150	0.138	0.136	0.115	2.10	2.22
0.200	0.187	0.185	0.164	2.10	2.22
0.300	0.285	0.283	0.262	2.10	2.22
0.400	0.383	0.381	0.360	2.10	2.22
0.500	0.481	0.479	0.458	2.10	2.22
0.600	0.579	0.577	0.556	2.10	2.22
0.700	0.677	0.675	0.654	2.10	2.22
0.800	0.775	0.773	0.752	2.10	2.22

Offensichtlich liegen die g -Werte für die exakte Anpassung und die Näherungslösung (Kopplung von Temperatur und Globalstrahlung) nahe beieinander. Klar zeigt sich, dass die Anpassung nach kleinsten Quadraten viel stabiler gegenüber Messfehlern ist als die Mittelwertbildung, was sich besonders bei kleinen g -Werten stark auswirkt. Auch die U -Werte der exakten Anpassung und der Näherung stimmen gut überein, weichen allerdings relativ stark vom wahren Wert ab. Dies ist auf die kleine Temperaturdifferenz ohne Einstrahlung zurückzuführen.

Wird ein (möglicher) Messfehler in der Strahlungsmessung mit berücksichtigt, ergeben sich etwas komplexere Korrekturen. Es wird an dieser Stelle auf eine ausführliche Darstellung verzichtet. Ist $s_{\text{Solar}} = I_0 + r_I I_{\text{Solar}}$, dann wird die maximale Abweichung im g-Wert (Betragsaddition der Abweichungen) näherungsweise:

$$\Delta g_{\text{Näherung}} = g(r_k + r_I) + (\Delta P / A + g I_0) \frac{1}{I} \left(1 - \frac{\overline{\Delta T}}{\Delta T_0} \right) \quad (\text{Gl. 14})$$

Die zusätzliche Abweichung ist näherungsweise proportional zum g-Wert und wirkt sich deshalb für kleine g-Werte nicht dramatisch aus. Sie wird ebenfalls reduziert durch eine grosse mittlere Temperaturdifferenz. Die folgende Tabelle enthält die exakten Abweichungen für das vorherige Beispiel ohne und mit Berücksichtigung der Strahlungsmessung, wobei die Messfehler $I_0 = 3 \text{ W/m}^2$ und $r_I = 0.03$ angenommen wurden.

g_{wahr}	g_{fit} ($s_{\text{P Kühl}}$)	g_{fit} ($s_{\text{P Kühl}} + s_{\text{Solar}}$)
0.050	0.040	0.038
0.100	0.089	0.086
0.150	0.138	0.133
0.200	0.187	0.180
0.300	0.285	0.275
0.400	0.383	0.369
0.500	0.481	0.464
0.600	0.579	0.559
0.700	0.677	0.653
0.800	0.775	0.748

Zusammenfassend gilt, dass ein möglicher Messfehler in der Leistungsmessung einen grossen Einfluss auf Abweichungen des identifizierten g- und U-Wertes haben kann. Günstig wirkt sich eine grosse mittlere Temperaturdifferenz und eine gute mittlere Solarstrahlung aus, deren Einfluss mit den angegebenen Beziehungen gut abzuschätzen ist. Gegenüber der Auswertung von Mittelwerten kann der Einfluss von Messfehlern durch eine Modellanpassung an die Zeitreihe nach der Methode der kleinsten Quadrate stark reduziert werden. Dies gilt vor allem für den g-Wert, wo sich die naturgemäss grosse Dynamik günstig auswirkt. Beim U-Wert können beträchtliche Abweichungen auftreten, wenn die grössten Temperaturdifferenzen nur wenige Grad erreichen. Der Auswertealgorithmus "weiss" selbstverständlich nichts über systematische Fehler. Die durch LORD ausgewiesenen Unsicherheiten beziehen sich ausschliesslich auf die Qualität der statistischen Anpassung. Sie werden bei einer Zeitreihe von einigen Tagen normalerweise sehr klein.

Der Einfluss von Speichereffekten wurde nicht betrachtet. LORD berücksichtigt diese Effekte durch kalibrierte Kapazitäten der Testzelle und eine angepasste Kapazität der Testfassade. Aufgrund der Dimensionierung dringen kurzzeitige kleine Schwankungen nicht durch die Testzellenwände und gehen in der Bilanz nicht verloren. Wie Simulationen bestätigen, haben sie im Normalbetrieb mit quasi-konstanter Lufttemperatur in der Testzelle keinen markanten Einfluss auf die identifizierten Parameter.

Anhang 4: Auswertungen der Messungen

A4.1 Pilkington K-Glass, weisse Lamellen, Winkel 0° (zu)

Messperiode

Messstart: 10.09.99 13:00

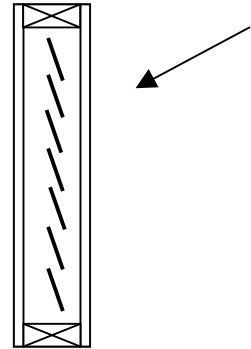
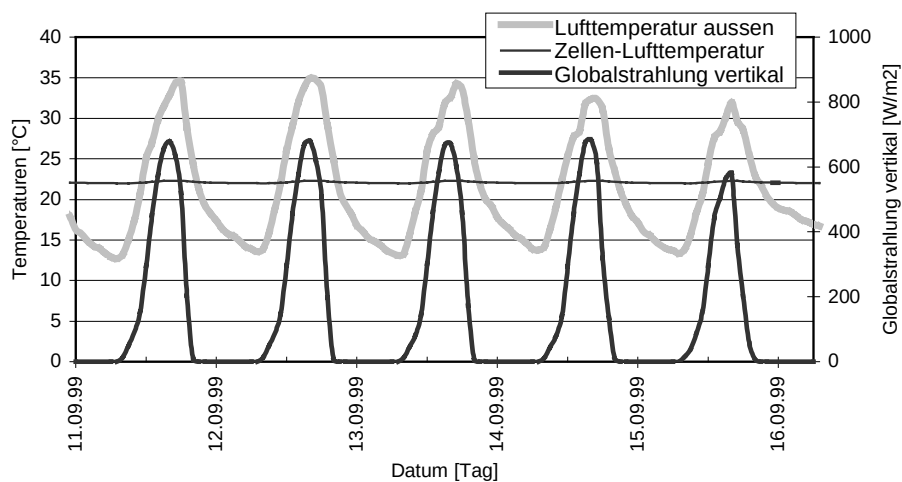
Messende: 16.09.99 07:00

Ausgewertete Messperiode:

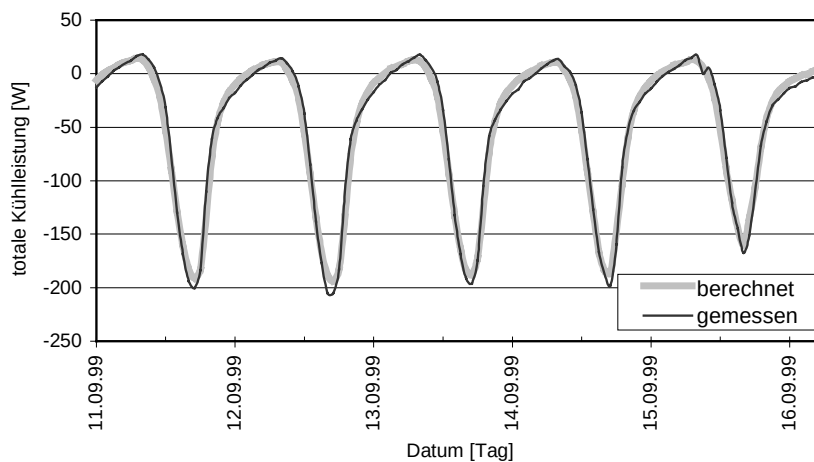
Auswertbeginn: 11.09.99 00:00

Auswertende: 16.09.99 06:00

Basisdaten während der Messperiode



Fitkurve mit der Lördauswertung



Resultate

H12 = 171.765	[W/ K] (fix)	C1 = 0.196	[MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226	[W/ K] (fix)	C2 = 0.65	[MJ/ K] (fix)
H41 = 2.090	[W/ K] (berechnet)	C4 = 0.041	[MJ/ K] (berechnet)
H45 = 11.758	[W/ K] (berechnet)		
g-Wert		0.15 ± 0.03	

A4.2 Pilkington K-Glass, weisse Lamellen, Winkel 45°Messperiode

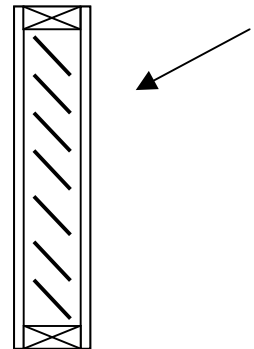
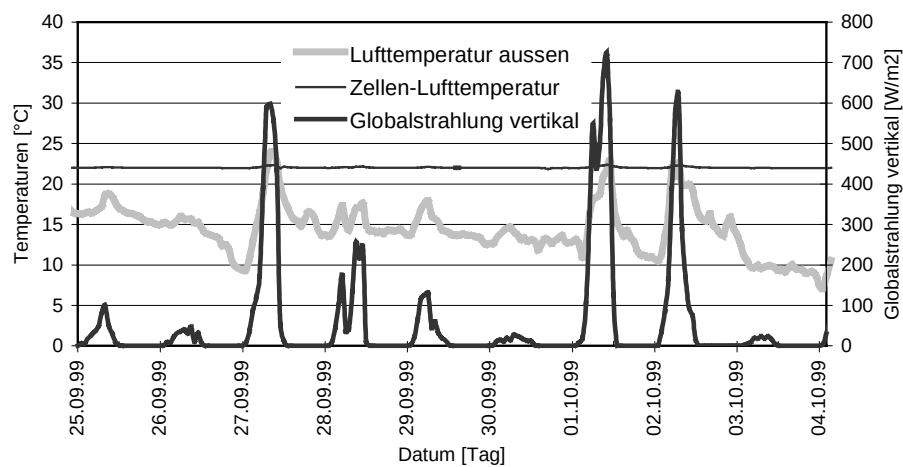
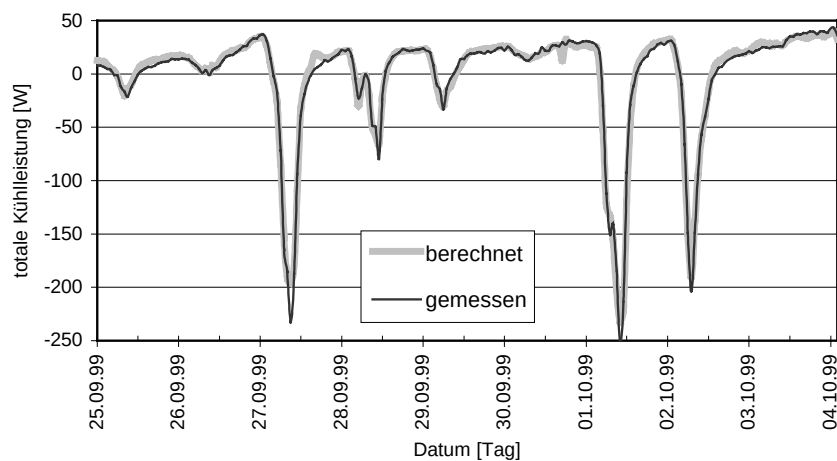
Messstart: 24.09.1999 10:30

Messende: 04.10.1999 10:20

Ausgewertete Messperiode:

Auswertbeginn: 25.10.1999 07:00

Auswertende: 04.10.1999 10:00

**Basisdaten während der Messperiode****Fitkurve mit der Lordauswertung****Resultate**

H12 = 171.765	[W/ K] (fix)	C1 = 0.196	[MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226	[W/ K] (fix)	C2 = 0.65	[MJ/ K] (fix)
H41 = 3.299	[W/ K] (berechnet)	C4 = 0.04	[MJ/ K] (berechnet)
H45 = 12.751	[W/ K] (berechnet)		
g-Wert		0.21 ± 0.03	

A4.3 Pilkington K-Glass, weisse Lamellen, Winkel 90°

Messperiode

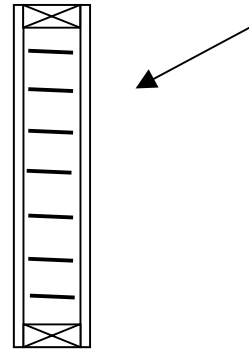
Messstart: 17.9.99 10:00

Messende: 24.9.99 10:00

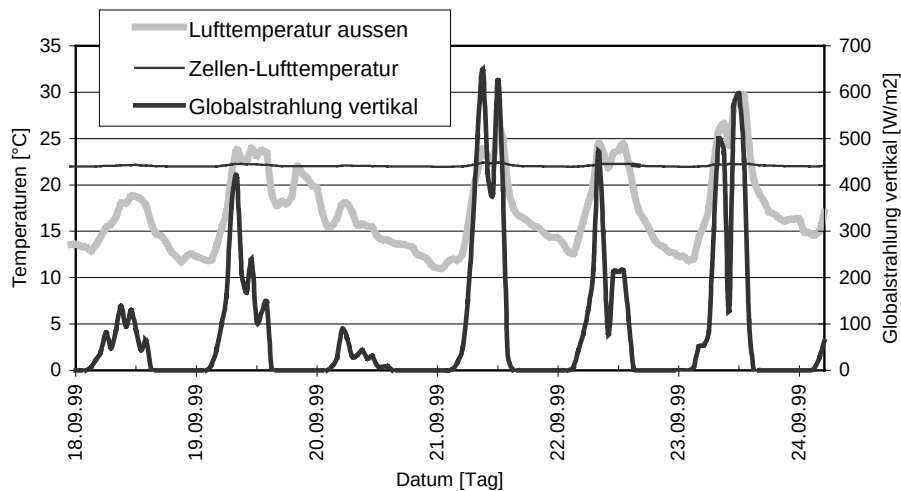
Ausgewertete Messperiode:

Auswertbeginn: 18.9.99 05:00

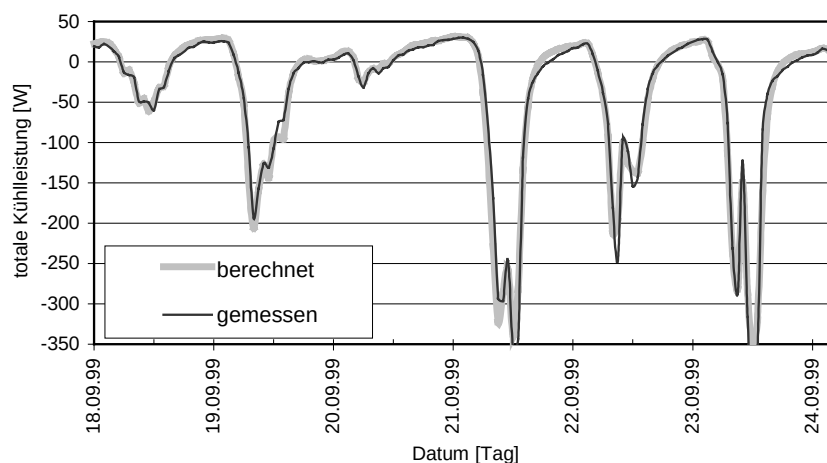
Auswertende: 24.9.99 10:00



Basisdaten während der Messperiode



Fitkurve mit der Lordauswertung



Resultate

H12 = 171.765	[W/ K] (fix)	C1 = 0.196	[MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226	[W/ K] (fix)	C2 = 0.65	[MJ/ K] (fix)
H41 = 4.120	[W/ K] (berechnet)	C4 = 0.026	[MJ/ K] (berechnet)
H45 = 8.026	[W/ K] (berechnet)		
g-Wert		0.34 ± 0.04	

A4.4 Pilkington K-Glass, weisse Lamellen, Lamellen oben

Messperiode

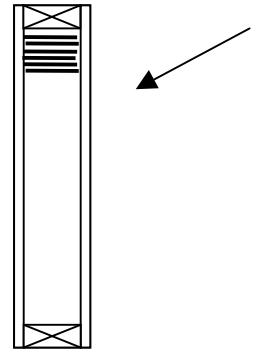
Messstart: 04.10.1999 11:00

Messende: 08.10.1999 10:00

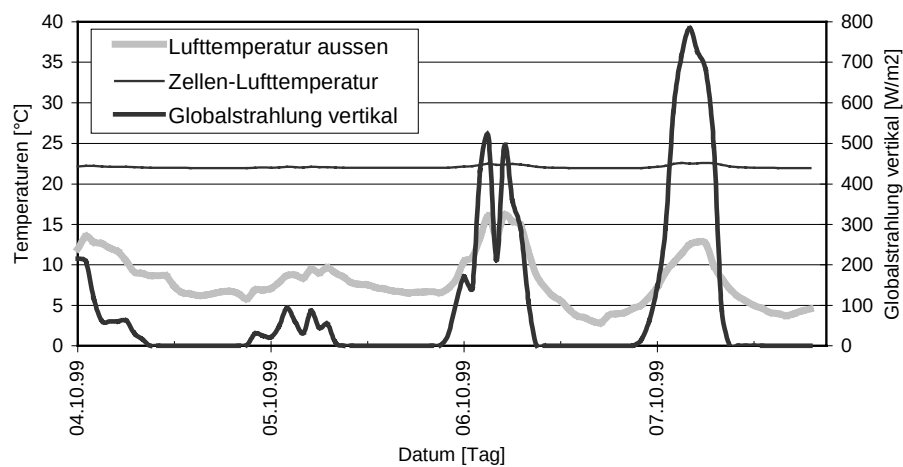
Ausgewertete Messperiode:

Auswertbeginn: 04.10.1999 11:00

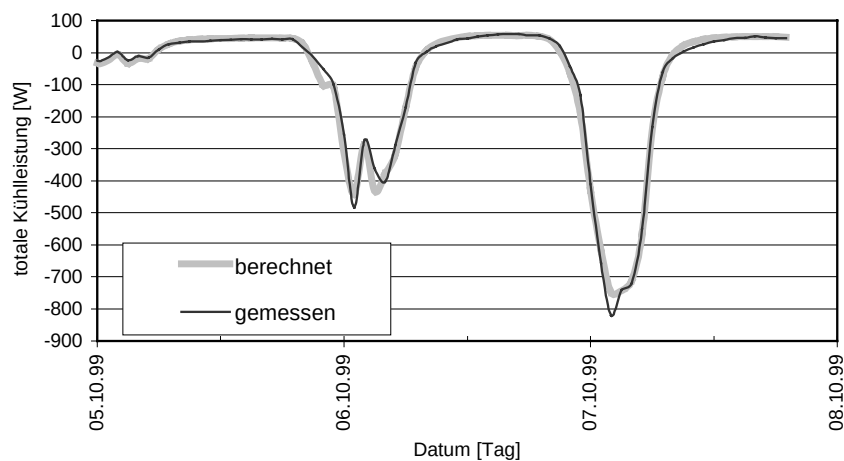
Auswertende: 08.10.1999 08:00



Basisdaten während der Messperiode



Fitkurve mit der Lordauswertung



Resultate

H12 = 171.765	[W/ K] (fix)	C1 = 0.196	[MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226	[W/ K] (fix)	C2 = 0.65	[MJ/ K] (fix)
H41 = 7.110	[W/ K] (berechnet)	C4 = 0.021	[MJ/ K] (berechnet)
H45 = 4.906	[W/ K] (berechnet)		
g-Wert		0.59 ± 0.06	

A4.5 Pilkington K-Glass, silberne Lamellen, Winkel 0° (zu)

Messperiode

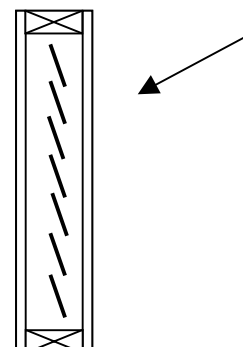
Messstart: 29.10.1999 09:00

Messende: 04.11.1999 08:00

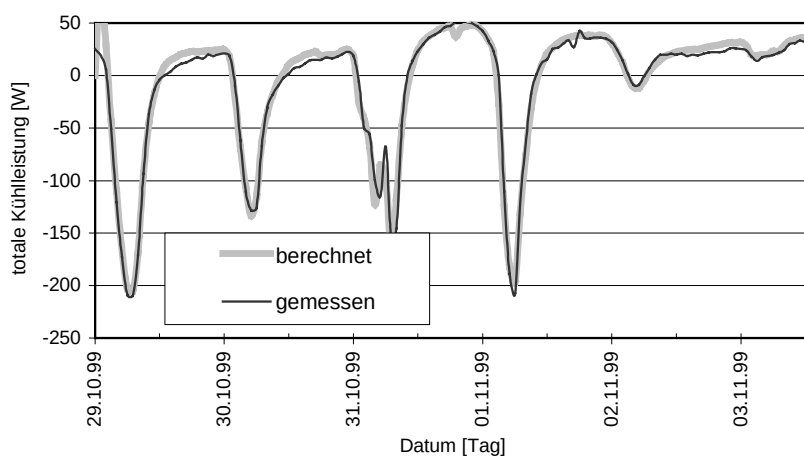
Ausgewertete Messperiode:

Auswertbeginn: 29.10.1999 10:00

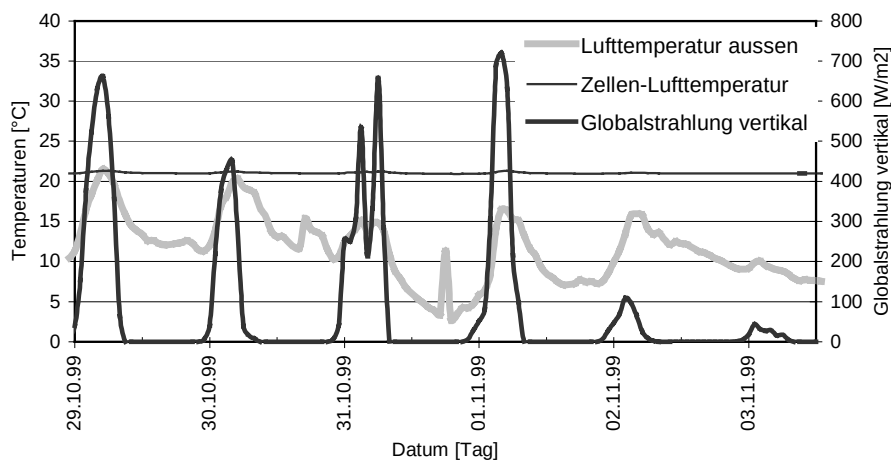
Auswertende: 03.11.1999 22:00



Fitkurve mit der Lordauswertung



Basisdaten während der Messperiode



Resultate

H12 = 171.765 [W/ K] (fix)	C1 = 0.196 [MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226 [W/ K] (fix)	C2 = 0.65 [MJ/ K] (fix)
H41 = 3.393 [W/ K] (berechnet)	C4 = 0.052. [MJ/ K] (berechnet)
H45 = 13.265 [W/ K] (berechnet)	
g-Wert	0.21 ± 0.03

A4.6 Pilkington K-Glass, silberne Lamellen, Winkel 45°

Messperiode

Messstart: 25.02.2000 17:00

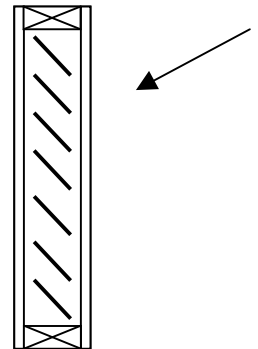
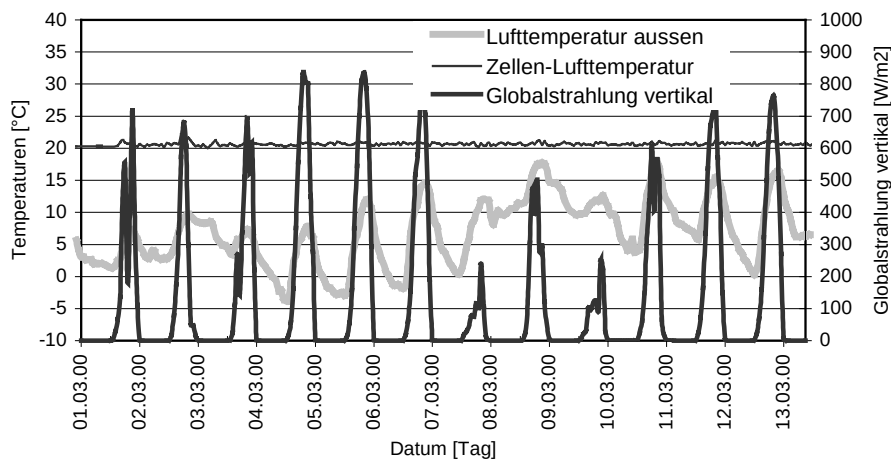
Messende: 17.03.2000 16:00

Ausgewertete Messperiode:

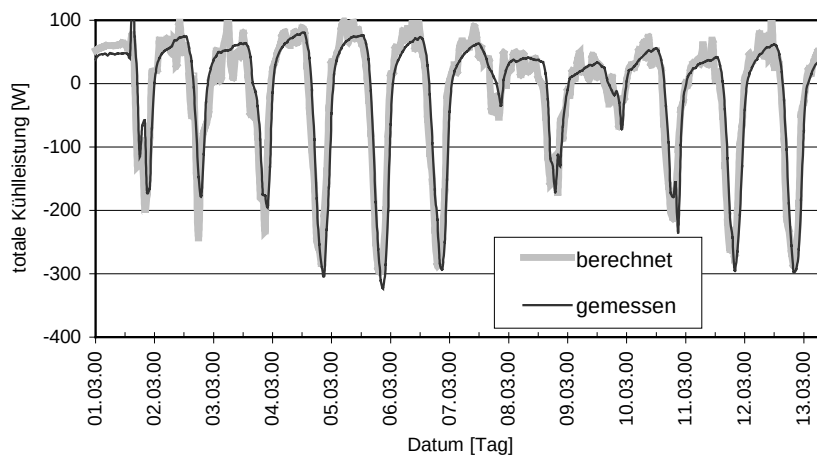
Auswertbeginn: 01.03.2000 19:00

Auswertende: 14.03.2000 04:00

Basisdaten während der Messperiode



Fitkurve mit der Lordauswertung



Resultate

H12 = 171.765 [W/ K] (fix)	C1 = 0.196 [MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226 [W/ K] (fix)	C2 = 0.65 [MJ/ K] (fix)
H41 = 5.147 [W/ K] (berechnet)	C4 = 0.066 [MJ/ K] (berechnet)
H45 = 17.178 [W/ K] (berechnet)	
g-Wert	0.23 ± 0.03

A4.7 Pilkington K-Glass, silberne Lamellen, Winkel 90°

Messperiode

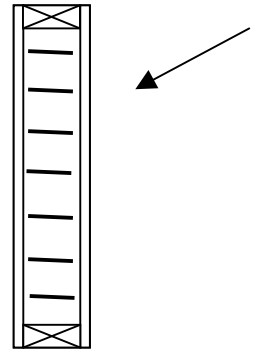
Messstart: 12.10.1999 09:00

Messende: 18.10.1999 10:00

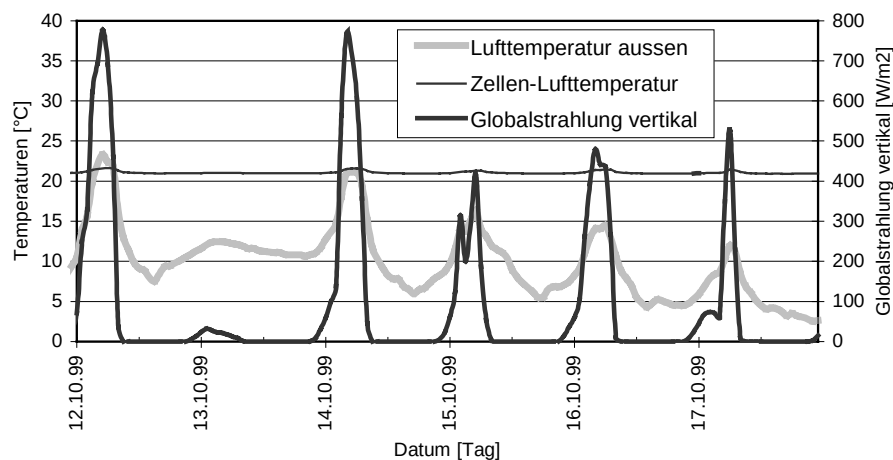
Ausgewertete Messperiode:

Auswertbeginn: 12.10.1999 12:00

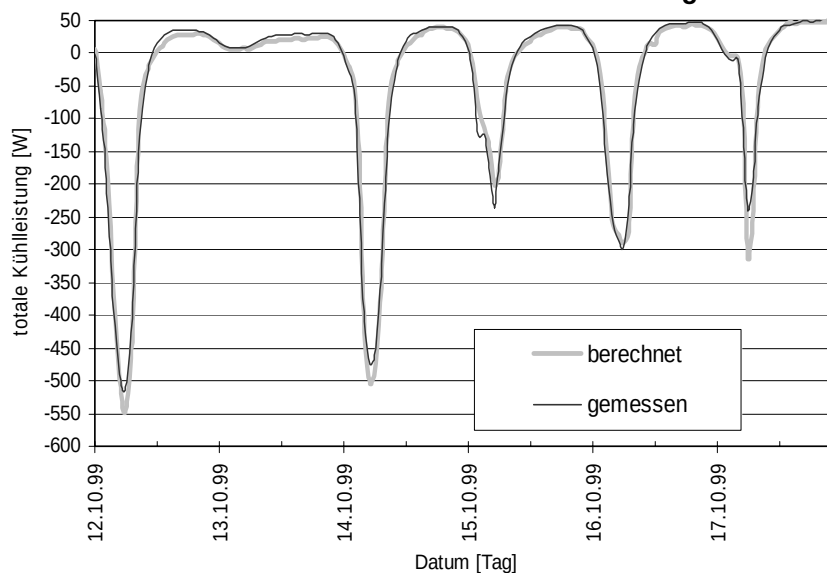
Auswertende: 18.10.1999 10:00



Basisdaten während der Messperiode



Fitkurve mit der Lordauswertung



Resultate

H12 = 171.765	[W/ K] (fix)	C1 = 0.196	[MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226	[W/ K] (fix)	C2 = 0.65	[MJ/ K] (fix)
H41 = 4.905	[W/ K] (berechnet)	C4 = 0.033.	[MJ/ K] (berechnet)
H45 = 6.781	[W/ K] (berechnet)		
g-Wert		0.42 ± 0.04	

A4.8 Pilkington K-Glass, silberne Lamellen, Lamellen oben

Messperiode

Messstart: 04.11.1999 09:00

Messende: 17.11.1999 08:00

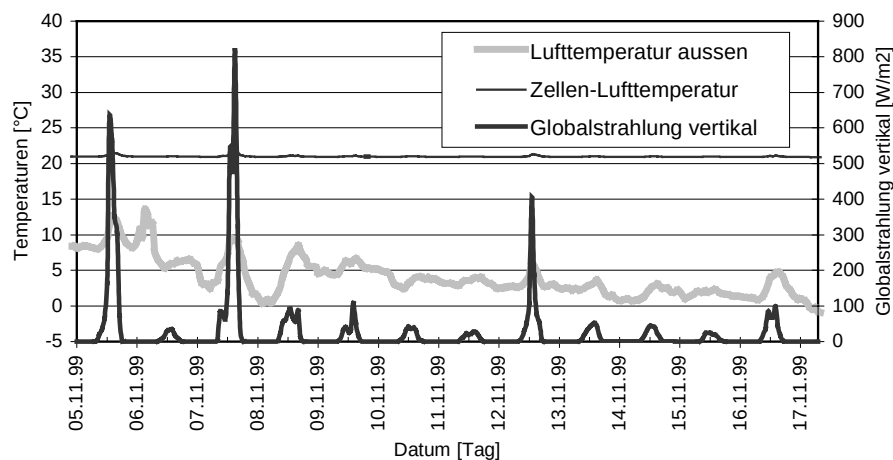
Ausgewertete Messperiode:

Auswertbeginn: 04.11.1999 24:00

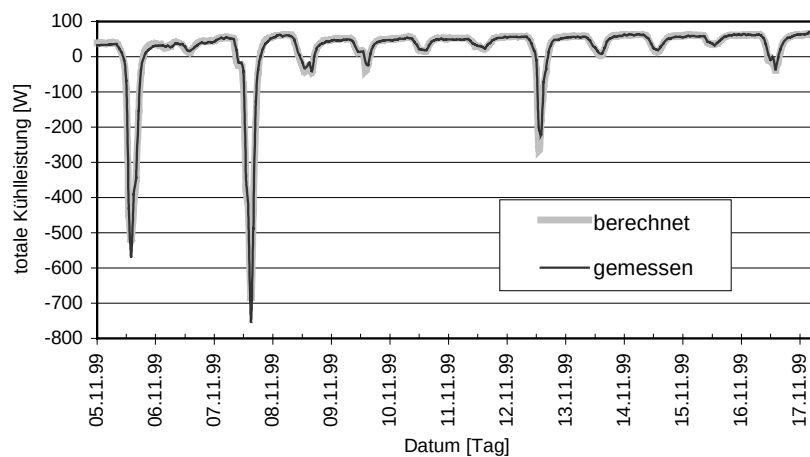
Auswertende: 16.11.1999 22:00



Basisdaten während der Messperiode



Fitkurve mit der Lordauswertung



Resultate

H12 = 171.765	[W/ K] (fix)	C1 = 0.196	[MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226	[W/ K] (fix)	C2 = 0.65	[MJ/ K] (fix)
H41 = 7.714	[W/ K] (berechnet)	C4 = 0.022	[MJ/ K] (berechnet)
H45 = 4.892	[W/ K] (berechnet)		
g-Wert		0.61 ± 0.06	

A4.9 Pilkington Suncool brilliant, weisse Lamellen, Winkel 0° (zu)

Messperiode

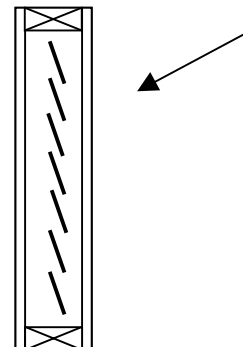
Messstart: 07.01.2000 10:00

Messende: 14.01.2000 13:00

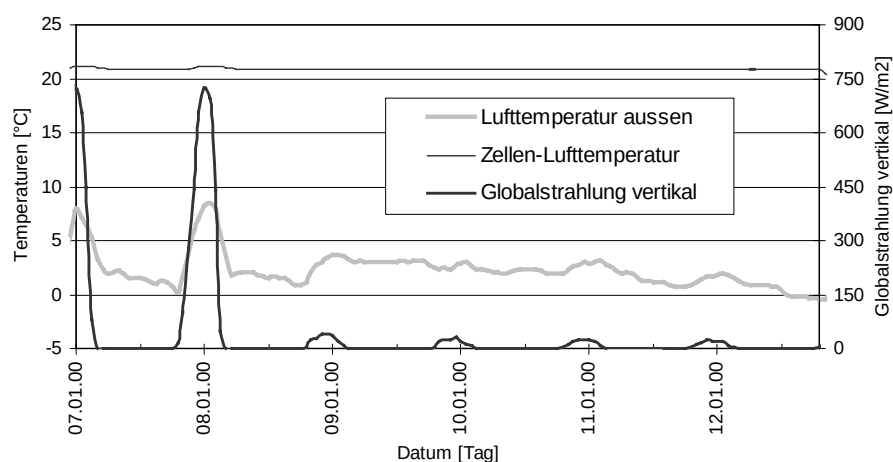
Ausgewertete Messperiode:

Auswertbeginn: 07.01.2000 14:00

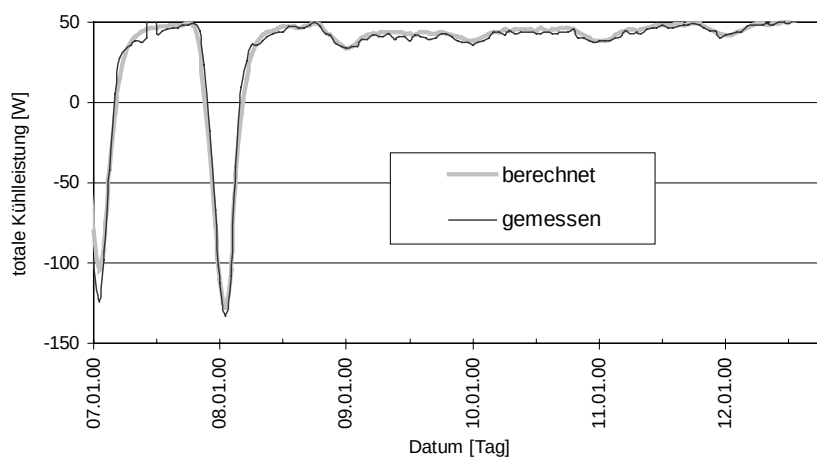
Auswertende: 13.01.2000 09:00



Basisdaten während der Messperiode



Fitkurve mit der Lordauswertung



Resultate

H12 = 171.765	[W/ K] (fix)	C1 = 0.196	[MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226	[W/ K] (fix)	C2 = 0.65	[MJ/ K] (fix)
H41 = 4.213	[W/ K] (berechnet)	C4 = 0.101	[MJ/ K] (berechnet)
H45 = 26.672	[W/ K] (berechnet)		
g-Wert		0.14 ± 0.03	

A4.10 Pilkington Suncool brilliant, weisse Lamellen, Winkel 45°Messperiode

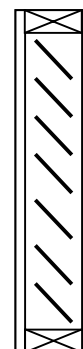
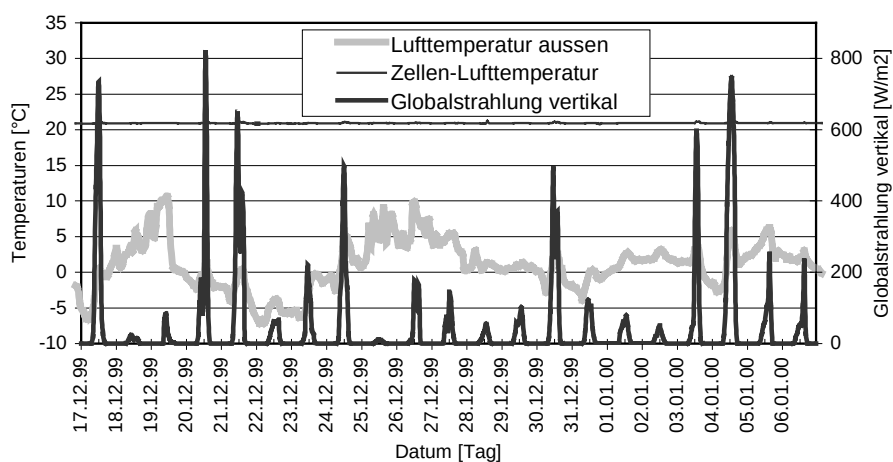
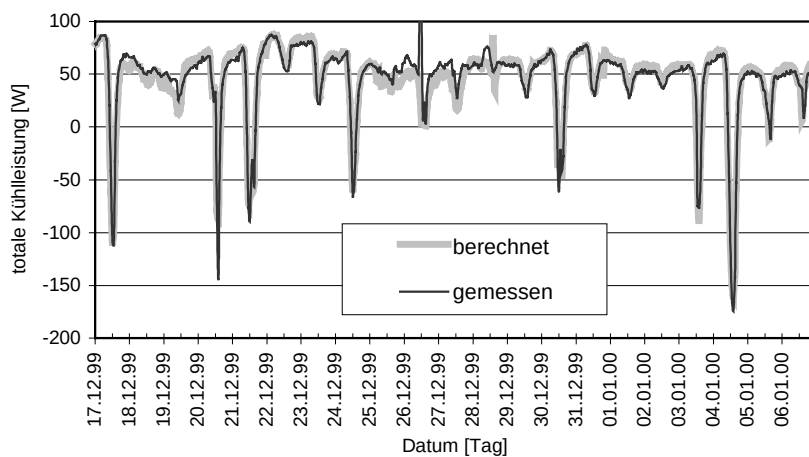
Messstart: 16.12.1999 15:00

Messende: 07.01.2000 09:00

Ausgewertete Messperiode:

Auswertbeginn: 17.12.1999 01:00

Auswertende: 07.01.2000 00:00

**Basisdaten während der Messperiode****Fitkurve mit der Lordauswertung****Resultate**

H12 = 171.765	[W/ K] (fix)	C1 = 0.196	[MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226	[W/ K] (fix)	C2 = 0.65	[MJ/ K] (fix)
H41 = 3.932	[W/ K] (berechnet)	C4 = 0.073	[MJ/ K] (berechnet)
H45 = 17.940	[W/ K] (berechnet)		
g-Wert		0.18 ± 0.03	

A4.11 Pilkington Suncool brilliant, weisse Lamellen, Winkel 90°Messperiode

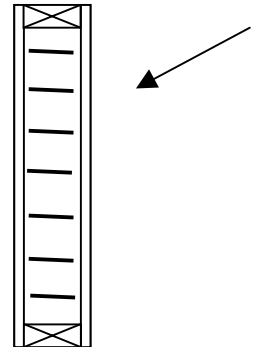
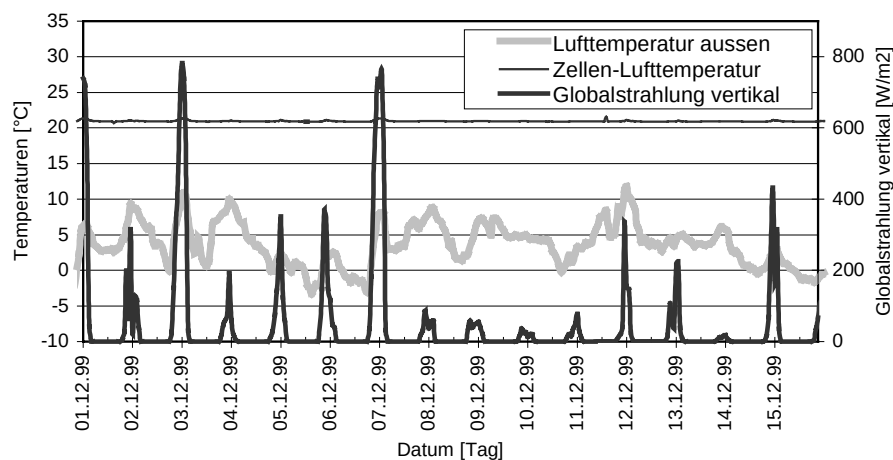
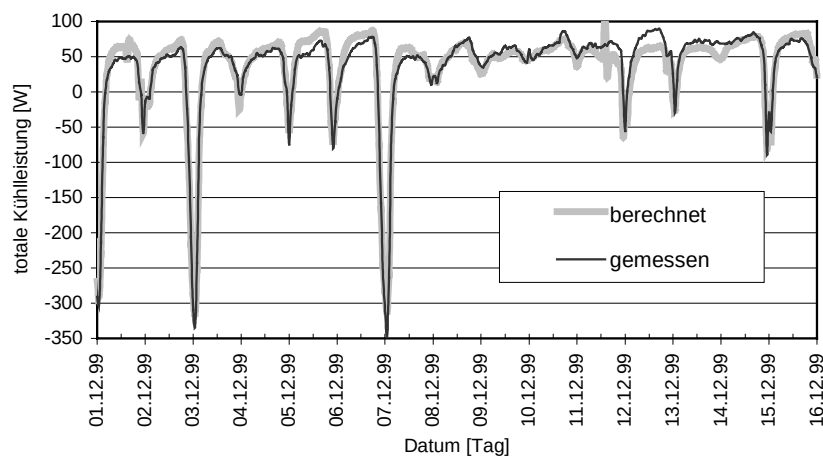
Messstart: 30.11.1999 16:00

Messende: 16.12.1999 14:00

Ausgewertete Messperiode:

Auswertbeginn: 01.12.1999 14:00

Auswertende: 16.12.1999 14:00

**Basisdaten während der Messperiode****Fitkurve mit der Lördauswertung****Resultate**

H12 = 171.765 [W/ K] (fix)	C1 = 0.196 [MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226 [W/ K] (fix)	C2 = 0.65 [MJ/ K] (fix)
H41 = 5.297 [W/ K] (berechnet)	C4 = 0.047 [MJ/ K] (berechnet)
H45 = 13.771 [W/ K] (berechnet)	
g-Wert	0.28 ± 0.04

A4.12 Pilkington Suncool brilliant, silberne Lamellen, Winkel 0° (zu)Messperiode

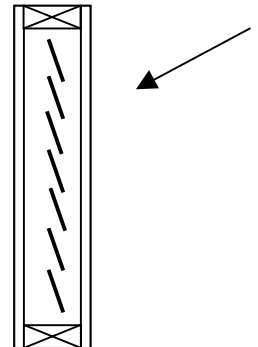
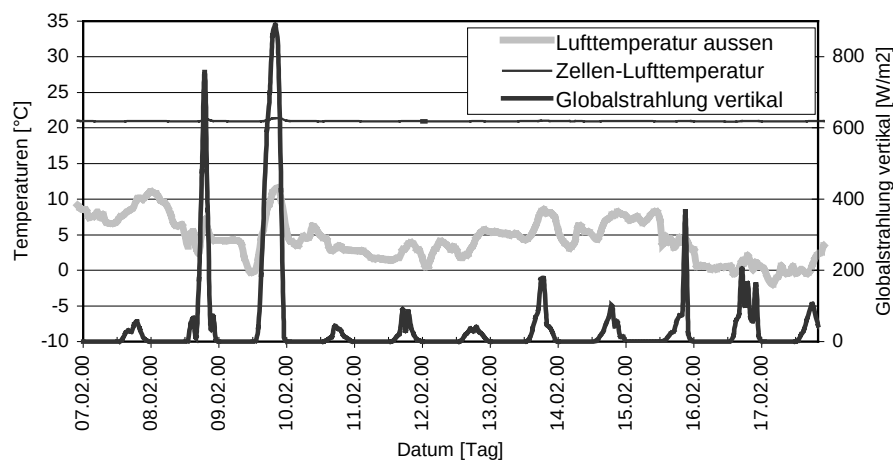
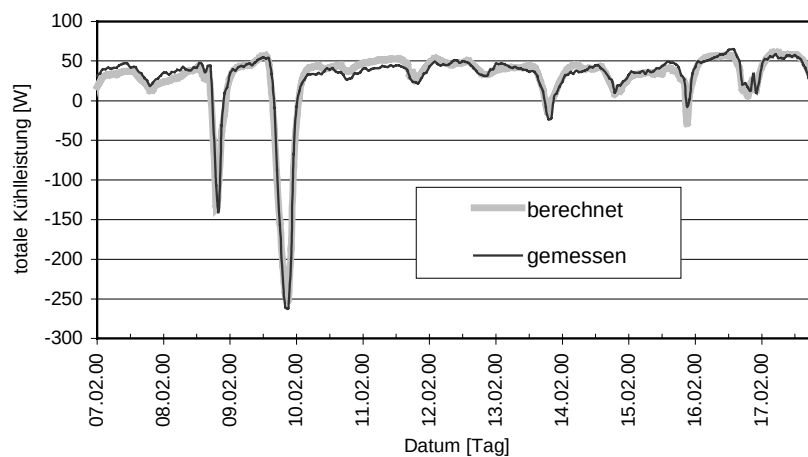
Messstart: 07.02.2000 09:00

Messende: 18.02.2000 16:00

Ausgewertete Messperiode:

Auswertbeginn: 07.02.2000 19:00

Auswertende: 18.02.2000 15:00

**Basisdaten während der Messperiode****Fitkurve mit der Lordauswertung****Resultate Lord**

H12 = 171.765	[W/ K] (fix)	C1 = 0.196	[MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226	[W/ K] (fix)	C2 = 0.65	[MJ/ K] (fix)
H41 = 3.623	[W/ K] (berechnet)	C4 = 0.059	[MJ/ K] (berechnet)
H45 = 15.168	[W/ K] (berechnet)		
g-Wert		0.19 ± 0.03	

A4.13 Pilkington Suncool brilliant, silberne Lamellen, Winkel 45°

Messperiode

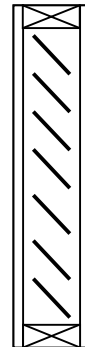
Messstart: 27.01.2000 10:00

Messende: 07.02.2000 08:00

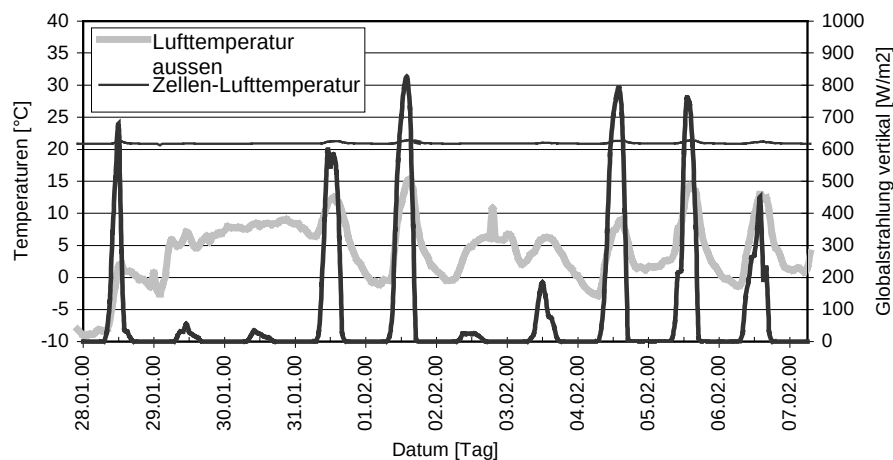
Ausgewertete Messperiode:

Auswertbeginn: 28.01.2000 01:00

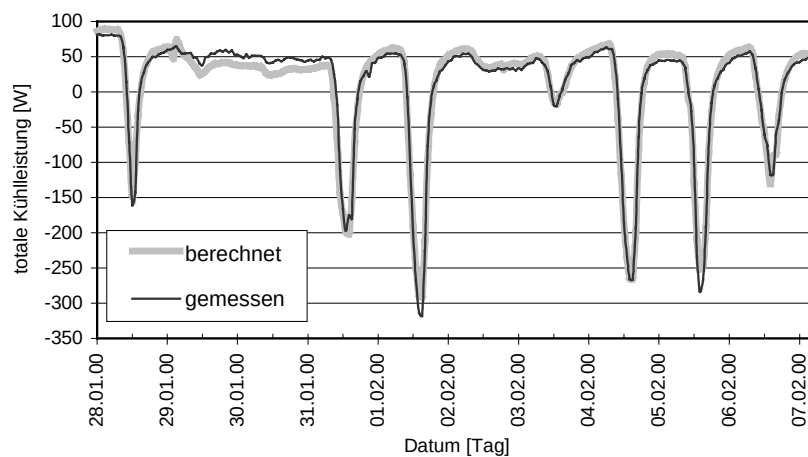
Auswertende: 07.02.2000 07:00



Basisdaten während der Messperiode



Fitkurve mit der Lordauswertung



Resultate Lord

H12 = 171.765	[W/ K] (fix)	C1 = 0.196	[MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226	[W/ K] (fix)	C2 = 0.65	[MJ/ K] (fix)
H41 = 3.965	[W/ K] (berechnet)	C4 = 0.050	[MJ/ K] (berechnet)
H45 = 12.955	[W/ K] (berechnet)		
g-Wert		0.23 ± 0.03	

A4.14 Pilkington Suncool brilliant, silberne Lamellen, Winkel 90°Messperiode

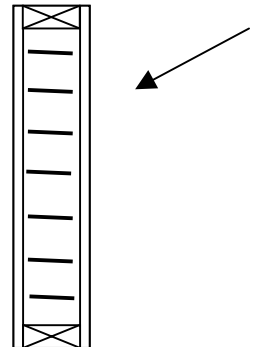
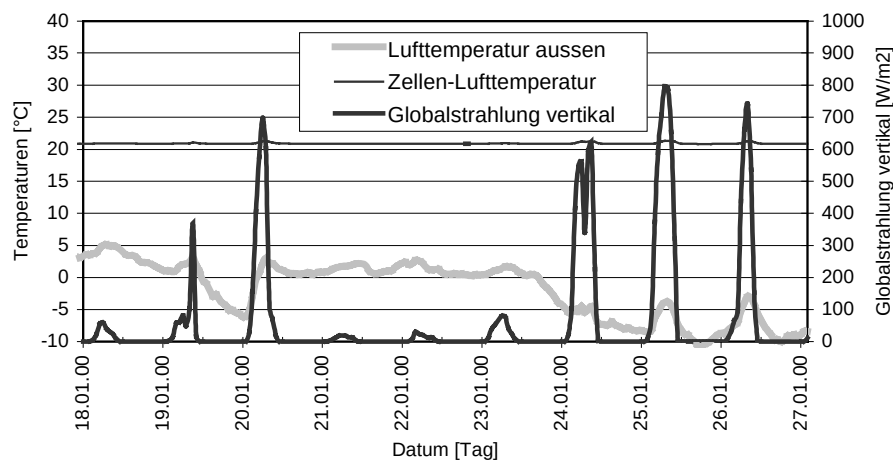
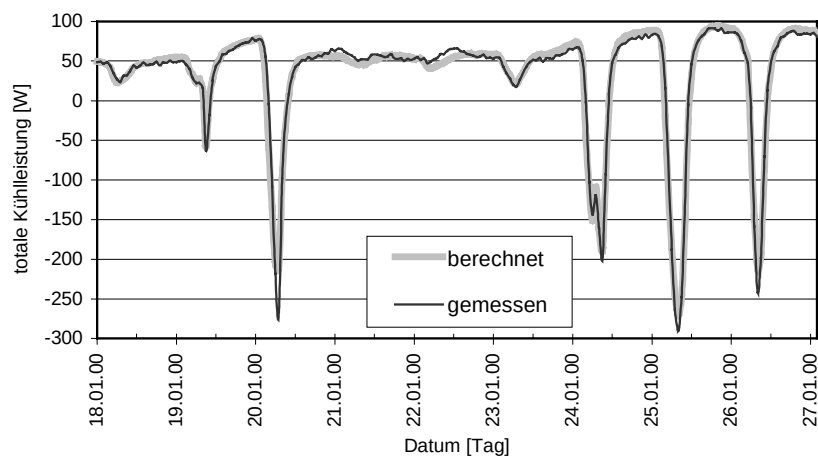
Messstart: 17.01.2000 16:00

Messende: 21.01.2000 09:00

Ausgewertete Messperiode:

Auswertbeginn: 18.01.2000 07:00

Auswertende: 21.01.2000 08:00

**Basisdaten während der Messperiode****Fitkurve mit der Lordauswertung****Resultate**

H12 = 171.765 [W/ K] (fix)	C1 = 0.196 [MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226 [W/ K] (fix)	C2 = 0.65 [MJ/ K] (fix)
H41 = 4.089 [W/ K] (berechnet)	C4 = 0.038 [MJ/ K] (berechnet)
H45 = 11.570 [W/ K] (berechnet)	
g-Wert	0.26 ± 0.04

A4.15 Pilkington Suncool brilliant, Lamelle Silber, Winkel 60°Messperiode:

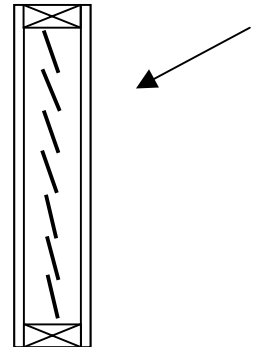
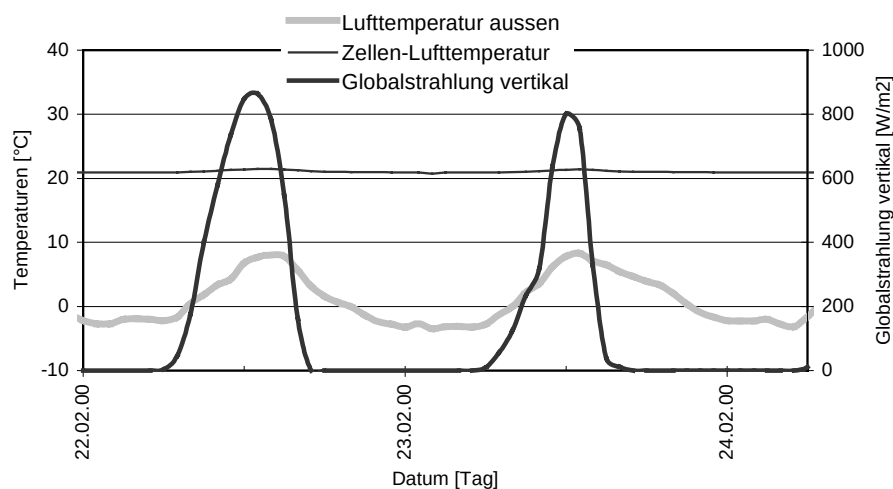
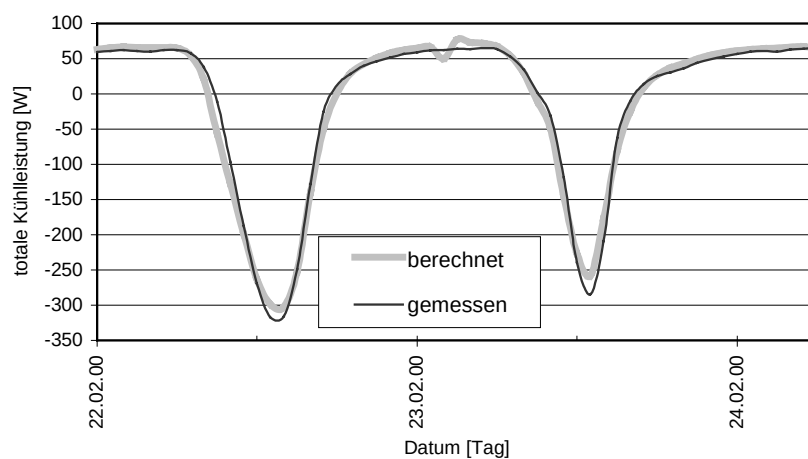
Messstart: 21.02.2000 11:00

Messende: 24.02.2000 13:00

Ausgewertete Messperiode:

Auswertbeginn: 22.02.2000 02:00

Auswertende: 24.02.2000 08:00

**Basisdaten während der Messperiode****Fitkurve mit der Lördauswertung****Resultate**

H12 = 171.765	[W/ K] (fix)	C1 = 0.196	[MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226	[W/ K] (fix)	C2 = 0.65	[MJ/ K] (fix)
H41 = 3.926	[W/ K] (berechnet)	C4 = 0.046	[MJ/ K] (berechnet)
H45 = 12.253	[W/ K] (berechnet)		
g-Wert		0.24 ± 0.03	

A4.16 Schenker VR 90, weiss, 90°Messperiode:

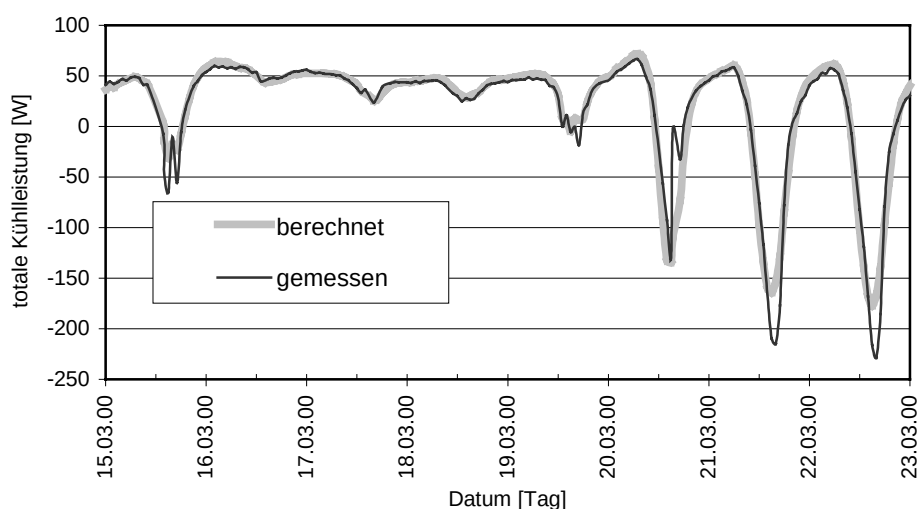
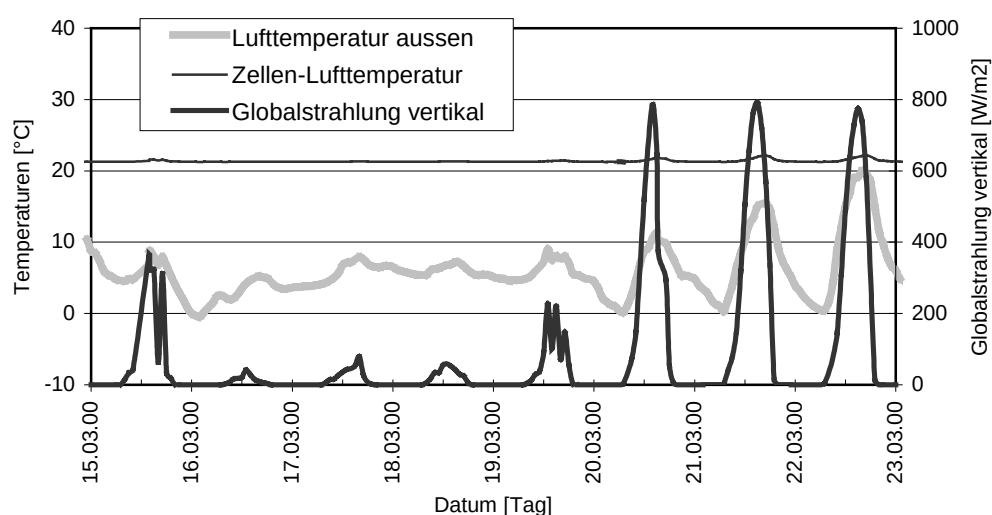
Messstart: 14.03.00 19:00

Messende: 23.03.00 09:00

Ausgewertete Messperiode:

Auswertbeginn: 19.03.00 19:00

Auswertende: 23.03.00 09:00

Fitkurve mit der Lordauswertung**Basisdaten während der Messperiode****Resultate**

H12 = 171.765 [W/ K] (fix)	C1 = 0.196 [MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226 [W/ K] (fix)	C2 = 0.65 [MJ/ K] (fix)
H41 = 3.861 [W/ K] (berechnet)	C4 = 0.093 [MJ/ K] (berechnet)
H45 = 18.962 [W/ K] (berechnet)	
g-Wert	0.169 ± 0.030

A4.17 Schenker VR 90, weiss, 60°Messperiode:

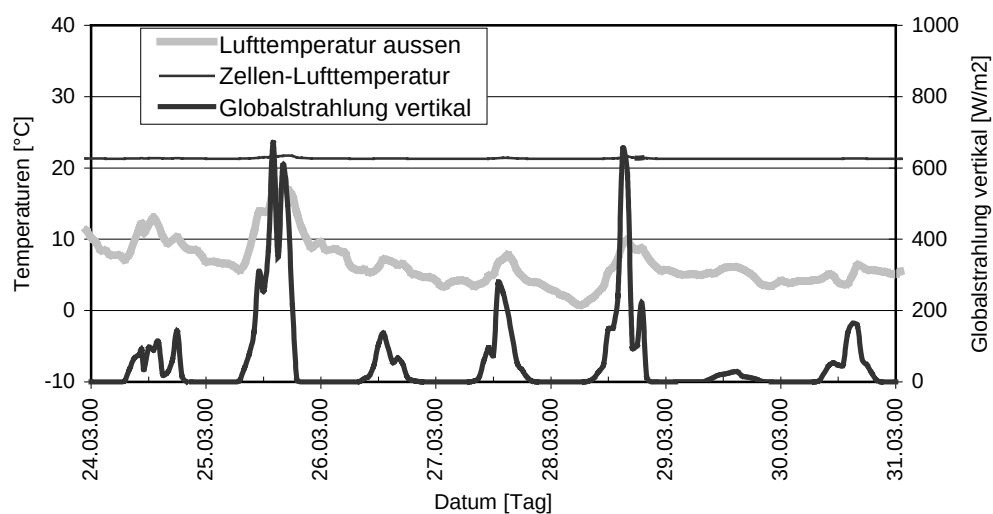
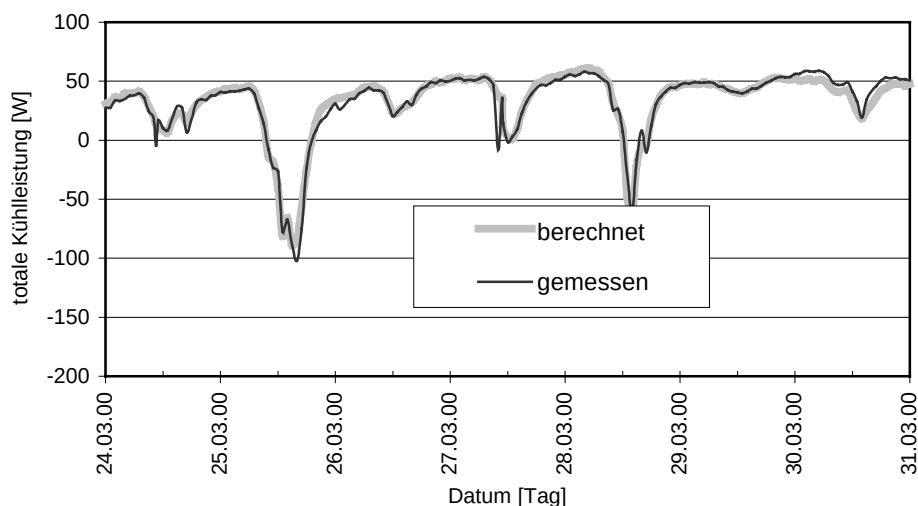
Messstart: 23.03.00 09:00

Messende: 31.03.00 09:00

Ausgewertete Messperiode:

Auswertbeginn: 24.03.00 13:00

Auswertende: 31.03.00 09:00

Basisdaten während der Messperiode**Fitkurve mit der Lordiauswertung****Resultate**

H12 = 171.765	[W/ K] (fix)	C1 = 0.196	[MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226	[W/ K] (fix)	C2 = 0.65	[MJ/ K] (fix)
H41 = 3.612	[W/ K] (berechnet)	C4 = 0.069	[MJ/ K] (berechnet)
H45 = 27.018	[W/ K] (berechnet)		
g-Wert		0.118 ± 0.027	

A4.18 Schenker VR 90, weiss, 45°Messperiode:

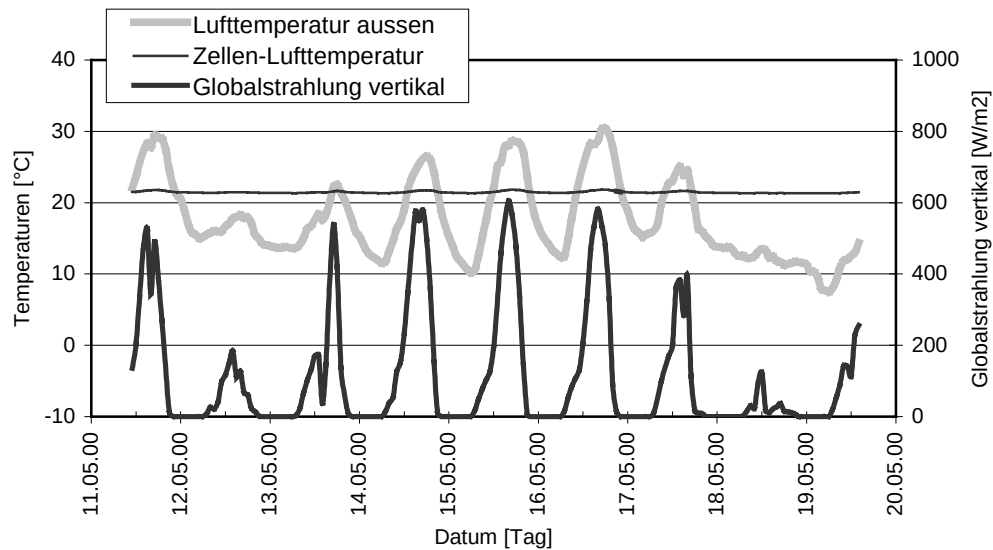
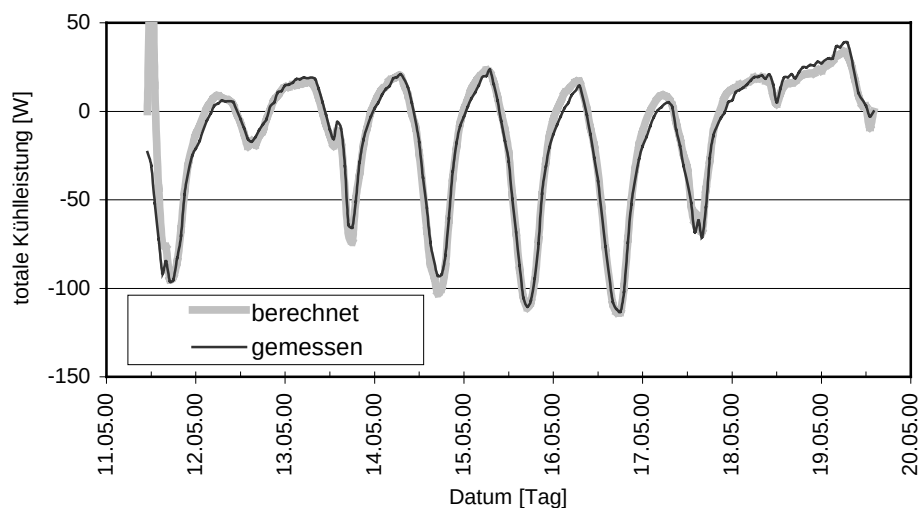
Messstart: 11.05.00 11:00

Messende: 19.05.00 14:00

Ausgewertete Messperiode:

Auswertbeginn: 11.05.00 14:00

Auswertende: 19.05.00 14:00

Basisdaten während der Messperiode**Fitkurve mit der Lordauswertung****Resultate**

H12 = 171.765	[W/ K] (fix)	C1 = 0.196	[MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226	[W/ K] (fix)	C2 = 0.65	[MJ/ K] (fix)
H41 = 2.971	[W/ K] (berechnet)	C4 = 0.063	[MJ/ K] (berechnet)
H45 = 27.659	[W/ K] (berechnet)		
g-Wert		0.097± 0.026	

A4.19 Schenker VR 90, weiss, 30°Messperiode:

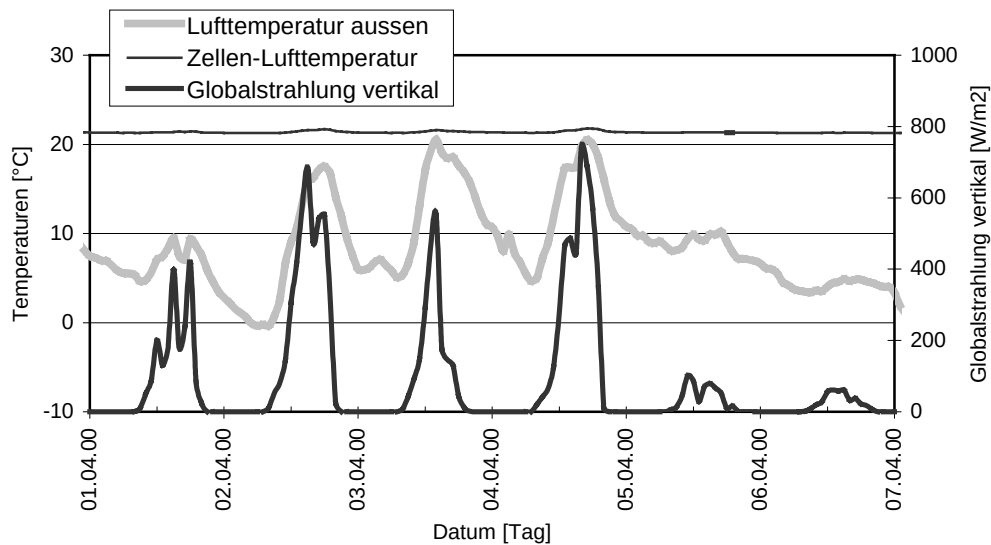
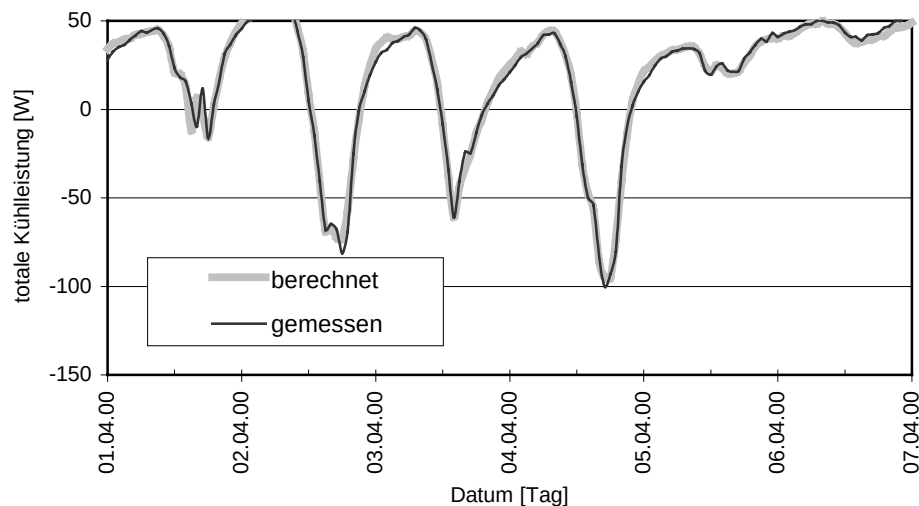
Messstart: 31.03.00 09:10

Messende: 07.04.00 09:00

Ausgewertete Messperiode:

Auswertbeginn: 01.04.00 14:00

Auswertende: 07.04.00 09:00

Basisdaten während der Messperiode**Fitkurve mit der Lordauswertung****Resultate**

H12 = 171.765	[W/ K] (fix)	C1 = 0.196	[MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226	[W/ K] (fix)	C2 = 0.65	[MJ/ K] (fix)
H41 = 3.304	[W/ K] (berechnet)	C4 = 0.087	[MJ/ K] (berechnet)
H45 = 31.432	[W/ K] (berechnet)		
g-Wert		0.095 ± 0.026	

A4.20 Schenker VR 90, braun, 90°Messperiode:

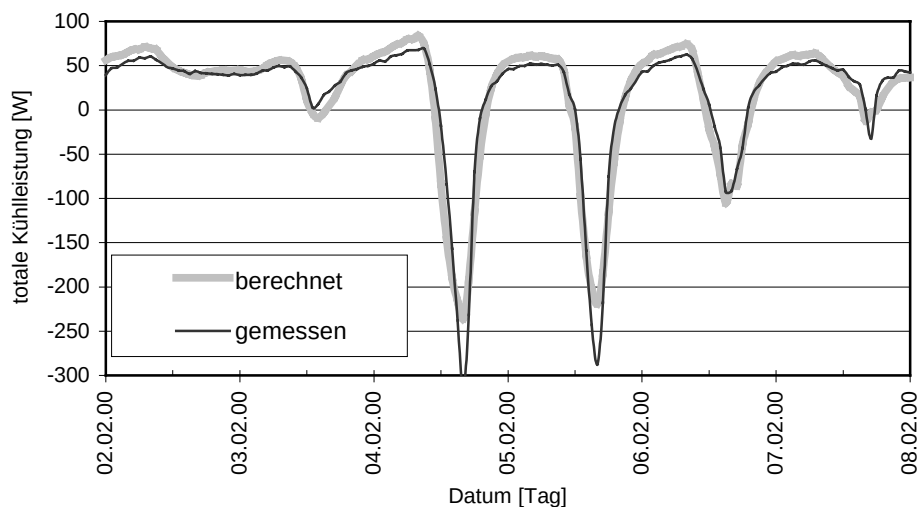
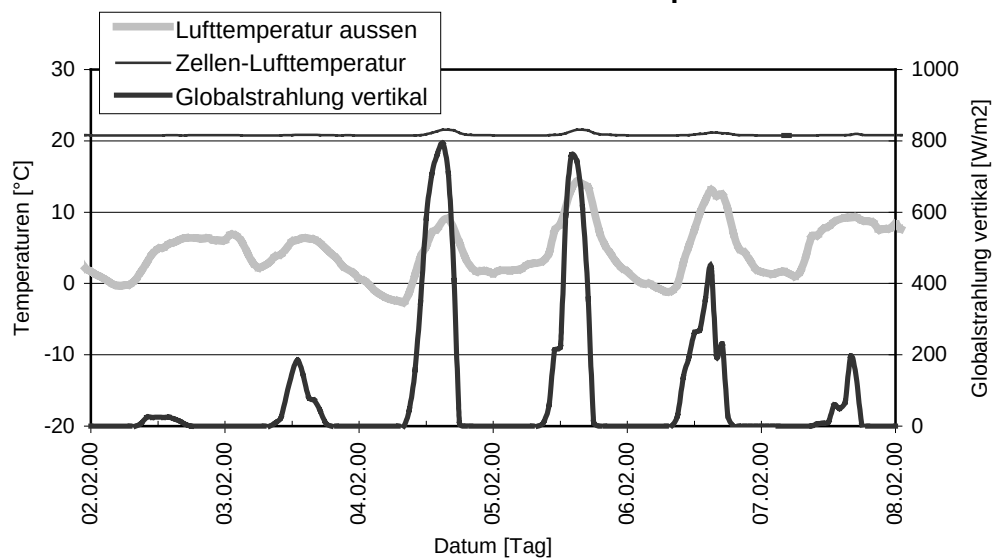
Messstart: 01.02.2000 18:00:00

Messende: 08.02.2000 13:00:00

Ausgewertete Messperiode:

Auswertbeginn: 04.02.00 05:00:00

Auswertende: 08.02.2000 13:00:00

Fitkurve mit der Lordauswertung**Basisdaten während der Messperiode****Resultate**

H12 = 171.765	[W/ K] (fix)	C1 = 0.196	[MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226	[W/ K] (fix)	C2 = 0.65	[MJ/ K] (fix)
H41 = 4.865	[W/ K] (berechnet)	C4 = 0.085	[MJ/ K] (berechnet)
H45 = 15.642	[W/ K] (berechnet)		
g-Wert		0.237 ± 0.034	

A4.21 Schenker VR 90, braun, 60°Messperiode:

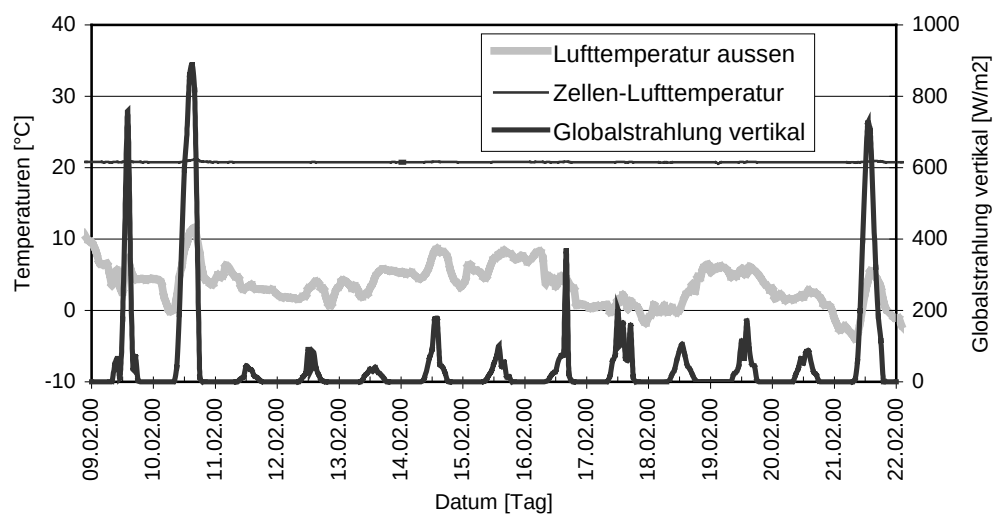
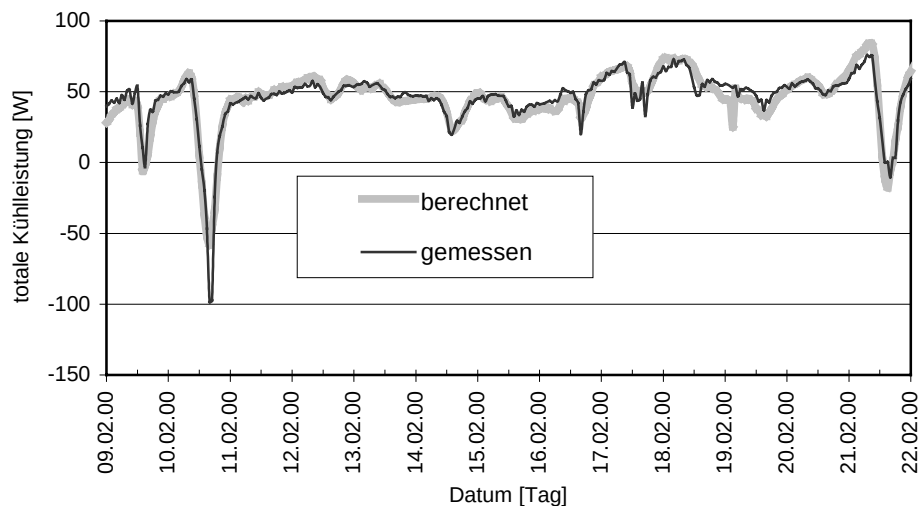
Messstart: 08.02.2000 14:00

Messende: 22.02.2000 07:00

Ausgewertete Messperiode:

Auswertbeginn: 09.02.2000 00:00

Auswertende: 22.02.2000 07:00

Basisdaten während der Messperiode**Fitkurve mit der Lordauswertung****Resultate**

H12 = 171.765	[W/ K] (fix)	C1 = 0.196	[MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226	[W/ K] (fix)	C2 = 0.65	[MJ/ K] (fix)
H41 = 3.808	[W/ K] (berechnet)	C4 = 0.302	[MJ/ K] (berechnet)
H45 = 47.418	[W/ K] (berechnet)		
g-Wert		0.074 ± 0.024	

A4.22 Schenker VR 90, braun, 45°Messperiode:

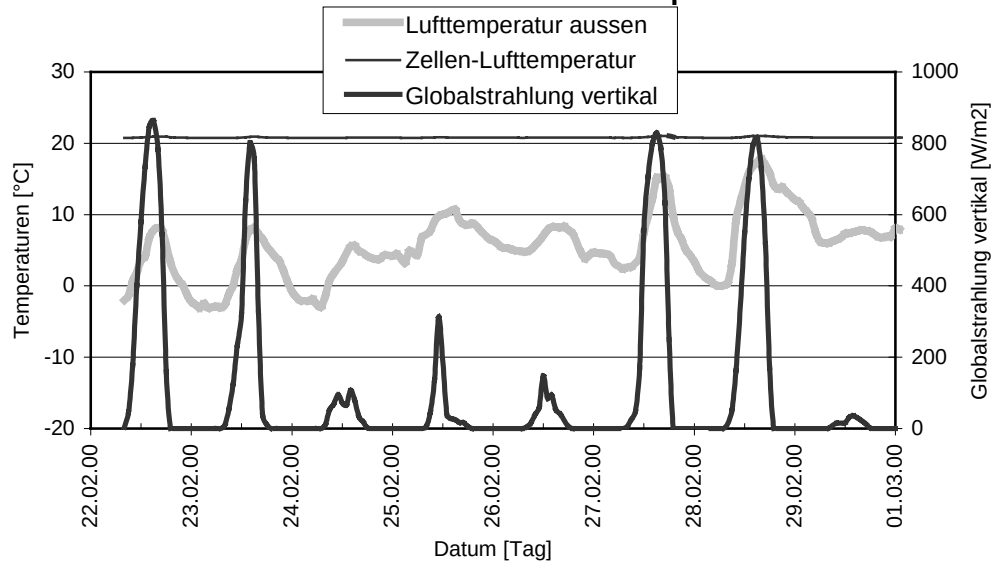
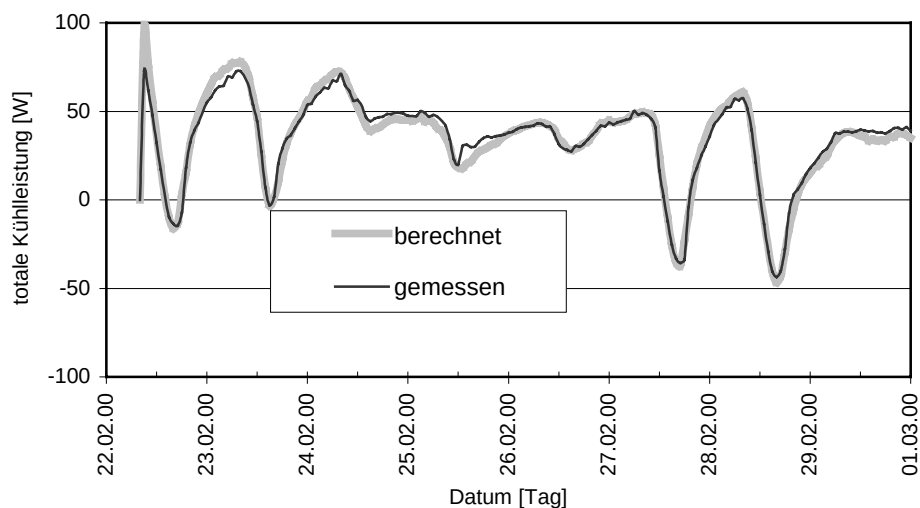
Messstart: 22.02.2000 08:00

Messende: 01.03.2000 16:00

Ausgewertete Messperiode:

Auswertbeginn: 22.02.2000 11:00

Auswertende: 01.03.2000 16:00

Basisdaten während der Messperiode**Fitkurve mit der Lördauswertung****Resultate**

H12 = 171.765 [W/ K] (fix)	C1 = 0.196 [MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226 [W/ K] (fix)	C2 = 0.65 [MJ/ K] (fix)
H41 = 3.467 [W/ K] (berechnet)	C4 = 0.352 [MJ/ K] (berechnet)
H45 = 77.728 [W/ K] (berechnet)	
g-Wert	0.043 ± 0.022

A4.23 Schenker VR 90, braun, 30°Messperiode:

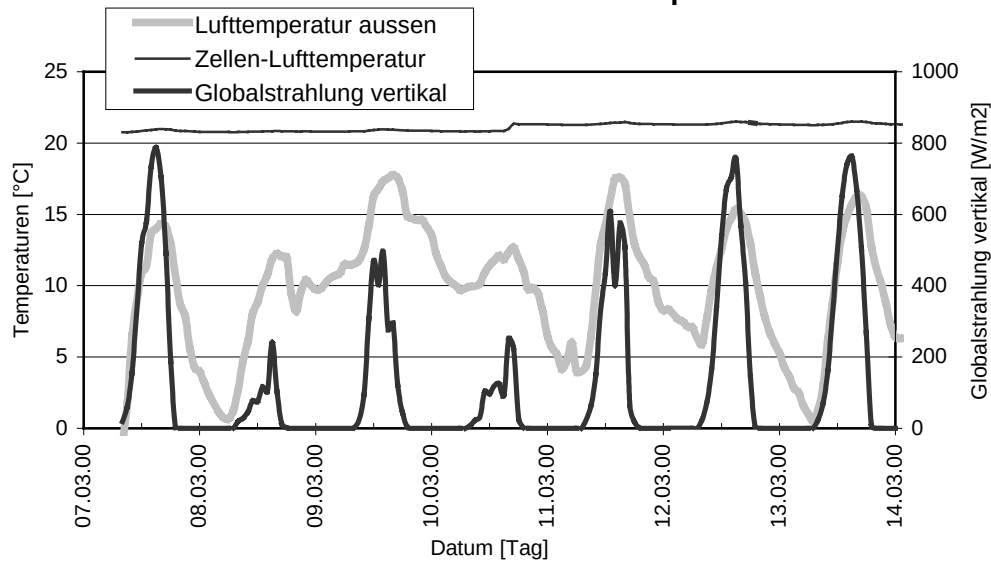
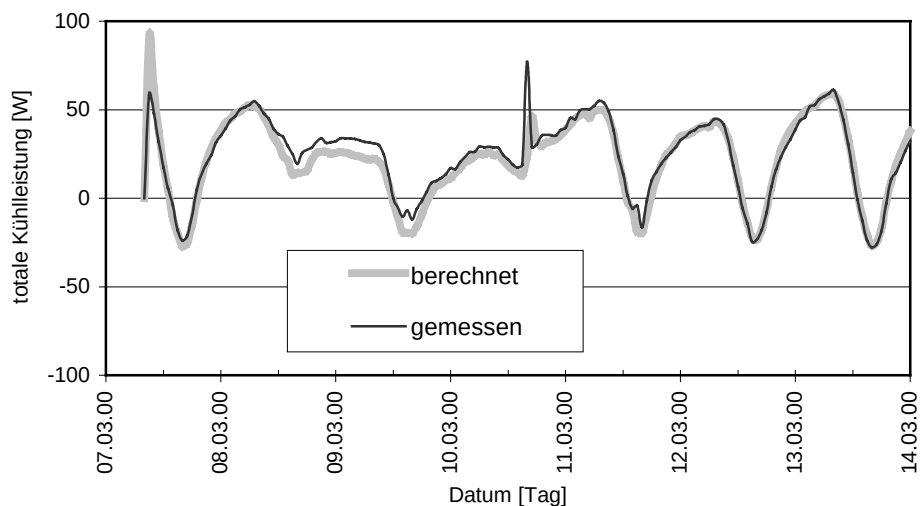
Messstart: 07.03.2000 08:00

Messende: 14.03.2000 08:00

Ausgewertete Messperiode:

Auswertbeginn: 10.03.2000 18:00

Auswertende: 14.03.2000 08:00

Basisdaten während der Messperiode**Fitkurve mit der Lordauswertung****Resultate**

H12 = 171.765	[W/ K] (fix)	C1 = 0.196	[MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226	[W/ K] (fix)	C2 = 0.65	[MJ/ K] (fix)
H41 = 3.282	[W/ K] (berechnet)	C4 = 0.336	[MJ/ K] (berechnet)
H45 = 81.577	[W/ K] (berechnet)		
g-Wert		0.039 ± 0.022	

A4.24 Schenker VR 90, weiss perforiert, 90°Messperiode:

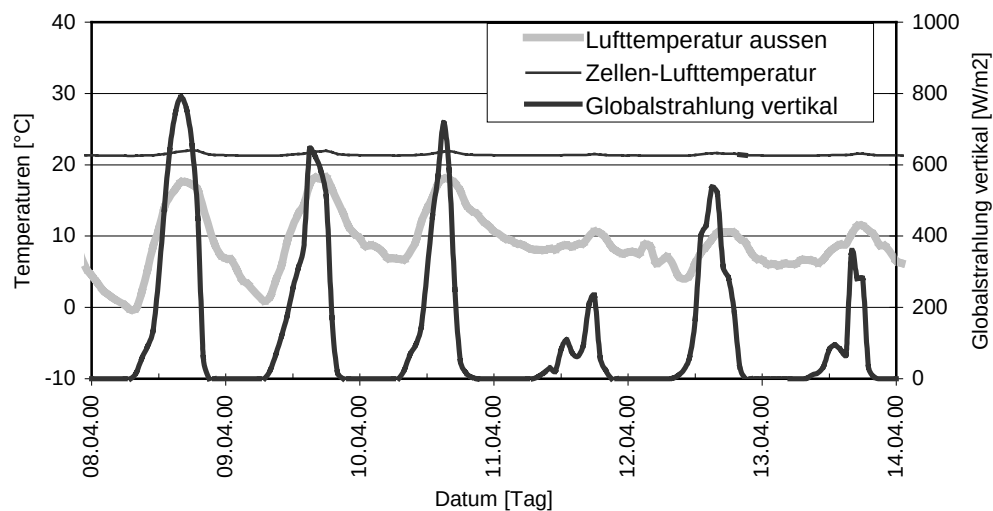
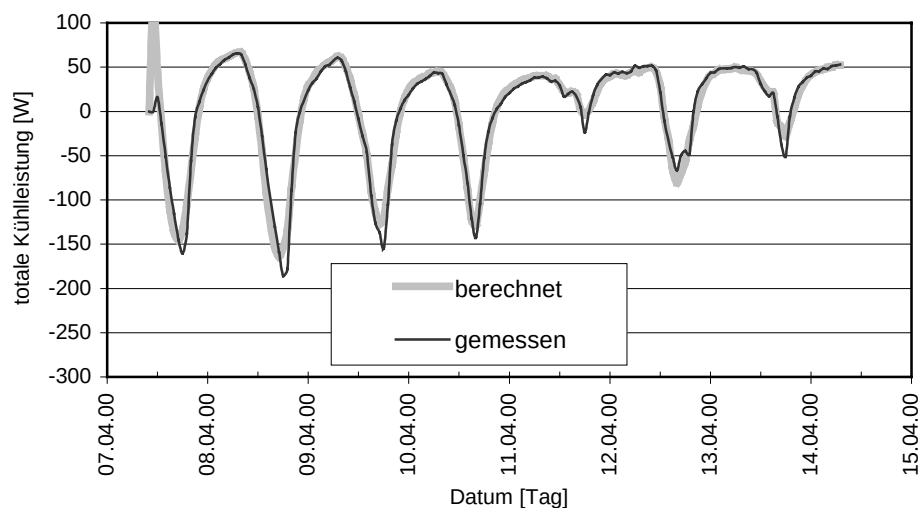
Messstart: 07.04.2000 10:00

Messende: 14.04.2000 08:00

Ausgewertete Messperiode:

Auswertbeginn: 08.04.2000 00:00

Auswertende: 14.04.2000 08:00

Basisdaten während der Messperiode**Fitkurve mit der Lordauswertung****Resultate**

H12 = 171.765 [W/ K] (fix)	C1 = 0.196 [MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226 [W/ K] (fix)	C2 = 0.65 [MJ/ K] (fix)
H41 = 4.008 [W/ K] (berechnet)	C4 = 0.094 [MJ/ K] (berechnet)
H45 = 22.238 [W/ K] (berechnet)	
g-Wert	0.153 ± 0.029

A4.25 Schenker VR 90, weiss perforiert, 60°Messperiode:

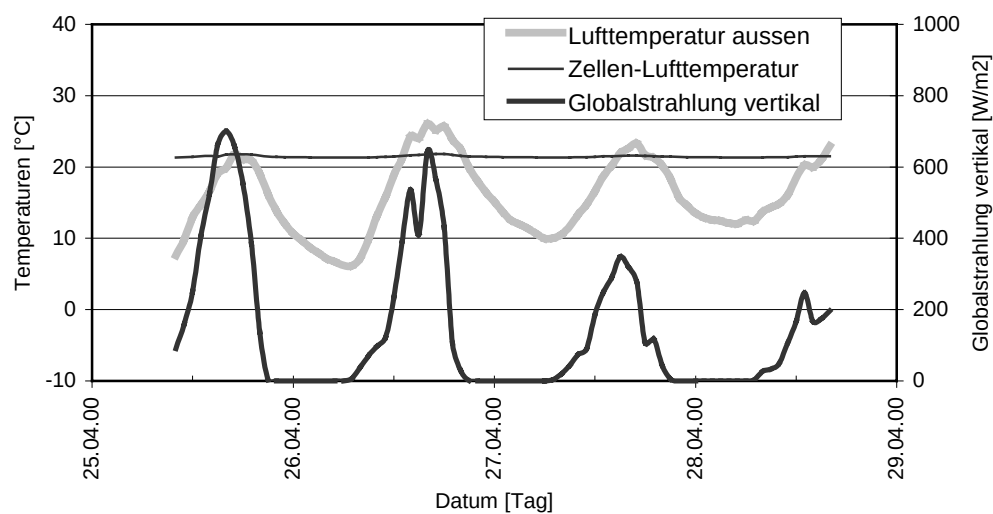
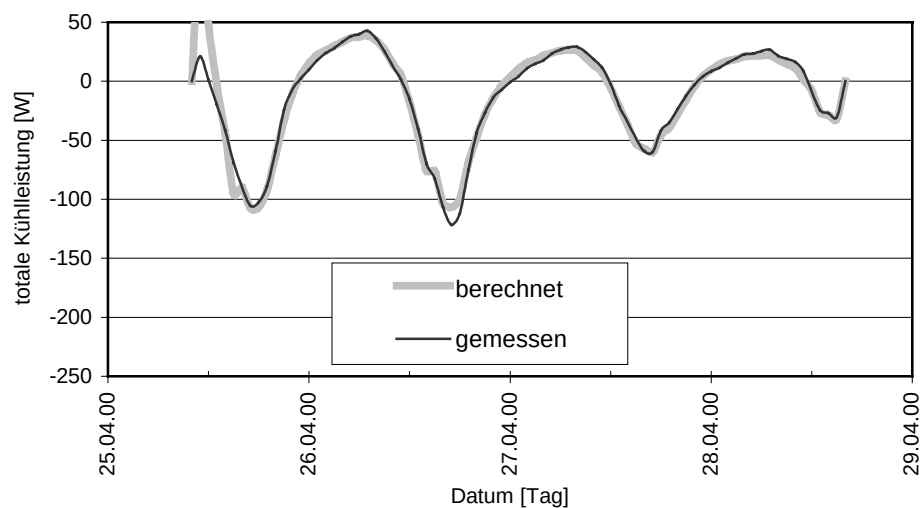
Messstart: 24.04.2000 10:00

Messende: 28.04.2000 16:00

Ausgewertete Messperiode:

Auswertbeginn: 24.04.2000 13:00

Auswertende: 28.04.2000 16:00

Basisdaten während der Messperiode**Fitkurve mit der Lordauswertung****Resultate**

H12 = 171.765 [W/ K] (fix)	C1 = 0.196 [MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226 [W/ K] (fix)	C2 = 0.65 [MJ/ K] (fix)
H41 = 3.177 [W/ K] (berechnet)	C4 = 0.078 [MJ/ K] (berechnet)
H45 = 26.292 [W/ K] (berechnet)	
g-Wert	0.108 ± 0.026

A4.26 Schenker VR 90, weiss perforiert, 45°Messperiode:

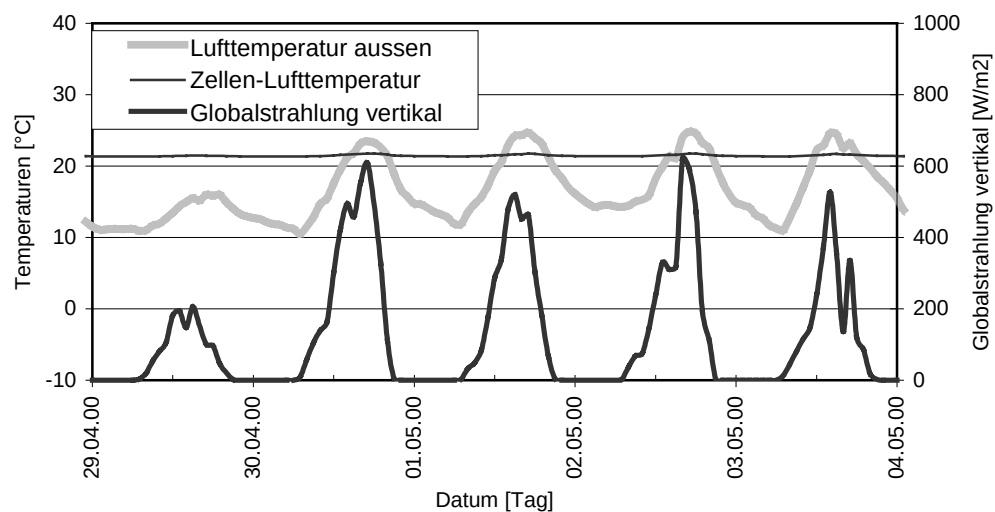
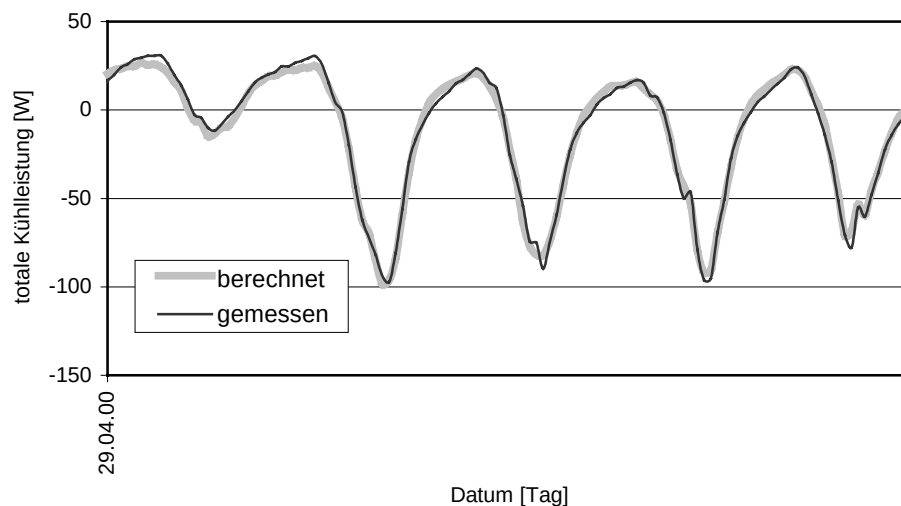
Messstart: 28.04.2000 17:00

Messende: 05.05.2000 08:00

Ausgewertete Messperiode:

Auswertbeginn: 29.04.2000 22:00

Auswertende: 05.05.2000 08:00

Basisdaten während der Messperiode**Fitkurve mit der Lordauswertung****Resultate**

H12 = 171.765	[W/ K] (fix)	C1 = 0.196	[MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226	[W/ K] (fix)	C2 = 0.65	[MJ/ K] (fix)
H41 = 3.137	[W/ K] (berechnet)	C4 = 0.089	[MJ/ K] (berechnet)
H45 = 28.618	[W/ K] (berechnet)		
g-Wert		0.099 ± 0.026	

A4.27 Schenker VR 90, weiss perforiert, 30°Messperiode:

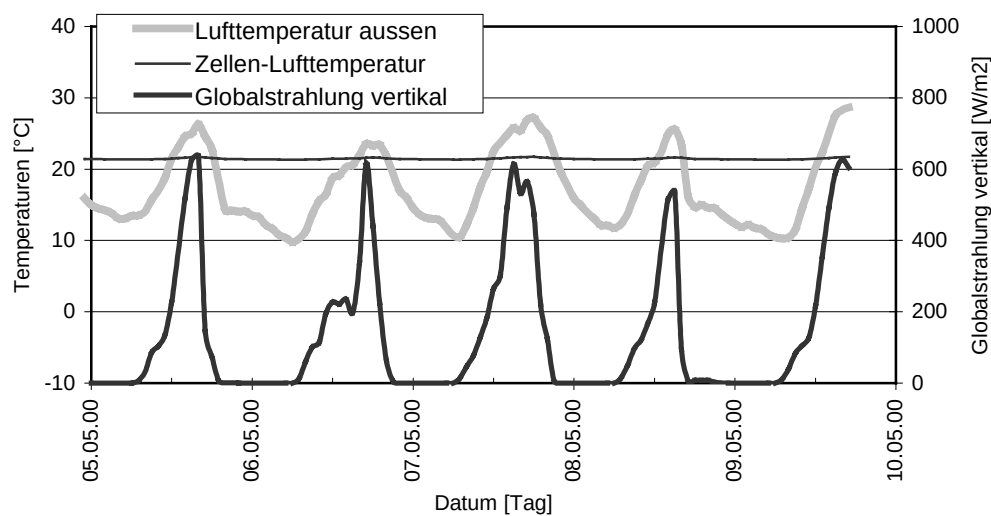
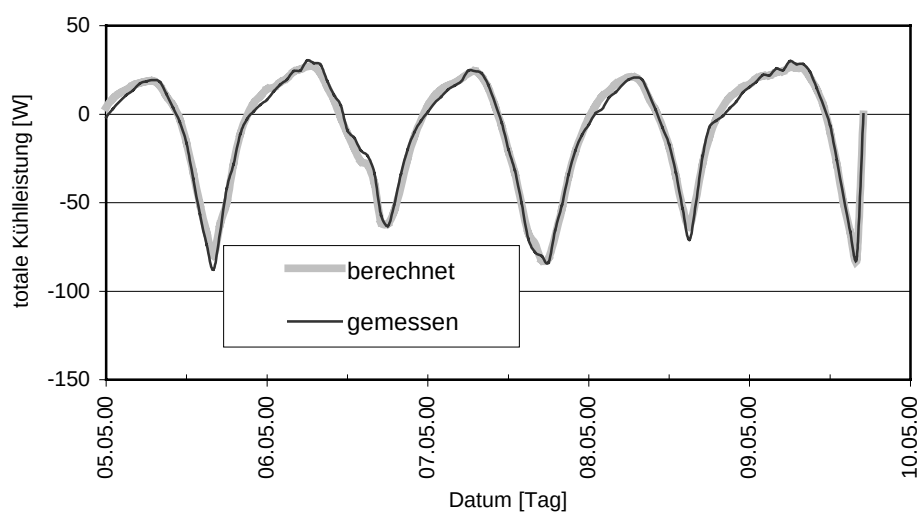
Messstart: 04.05.2000 09:00

Messende: 09.05.2000 17:00

Ausgewertete Messperiode:

Auswertbeginn: 05.05.2000 04:00

Auswertende: 09.05.2000 17:00

Basisdaten während der Messperiode**Fitkurve mit der Lordauswertung****Resultate**

H12 = 171.765	[W/ K] (fix)	C1 = 0.196	[MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226	[W/ K] (fix)	C2 = 0.65	[MJ/ K] (fix)
H41 = 3.118	[W/ K] (berechnet)	C4 = 0.138	[MJ/ K] (berechnet)
H45 = 38.395	[W/ K] (berechnet)		
g-Wert		0.075 ± 0.024	

A4.28 Schenker VR 90-LO, weiss, 90°Messperiode:

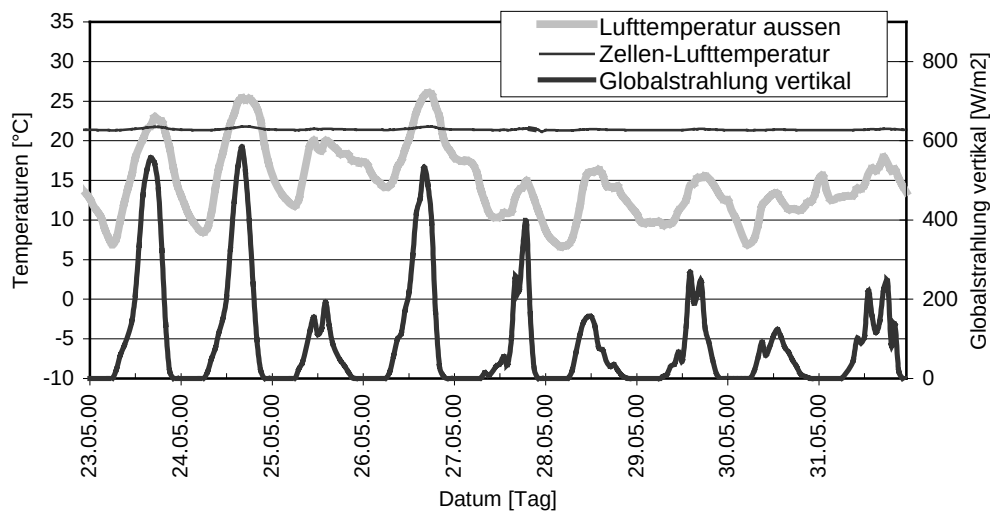
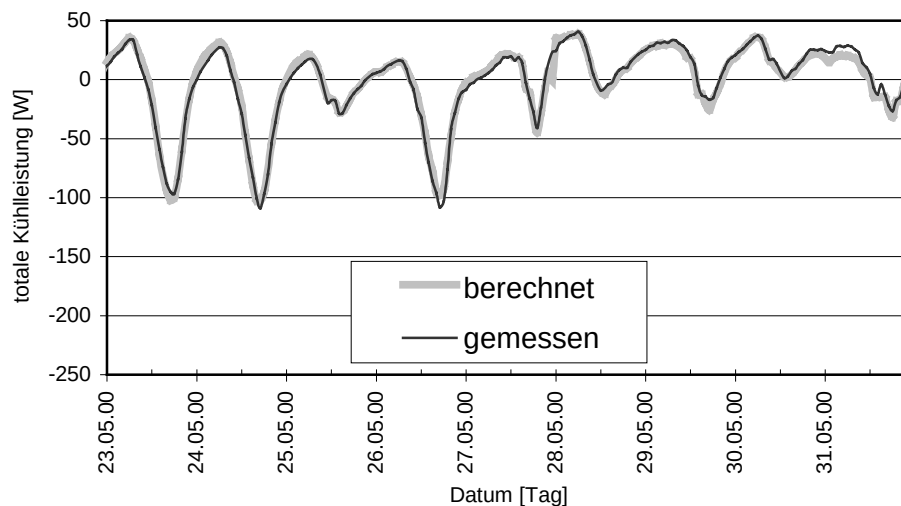
Messstart: 22.05.2000 10:00:00

Messende: 05.06.2000 14:00:00

Ausgewertete Messperiode:

Auswertbeginn: 22.05.2000 23:00:00

Auswertende: 05.06.2000 14:00:00

Basisdaten während der Messperiode**Fitkurve mit der Lordauswertung****Resultate**

H12 = 171.765 [W/ K] (fix)	C1 = 0.196 [MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226 [W/ K] (fix)	C2 = 0.65 [MJ/ K] (fix)
H41 = 3.162 [W/ K] (berechnet)	C4 = 0.067 [MJ/ K] (berechnet)
H45 = 26.106 [W/ K] (berechnet)	
g-Wert	0.108 ± 0.026

A4.29 Schenker VSK-Rollo, aussen, grau, unten, Ti-FitMessperiode:

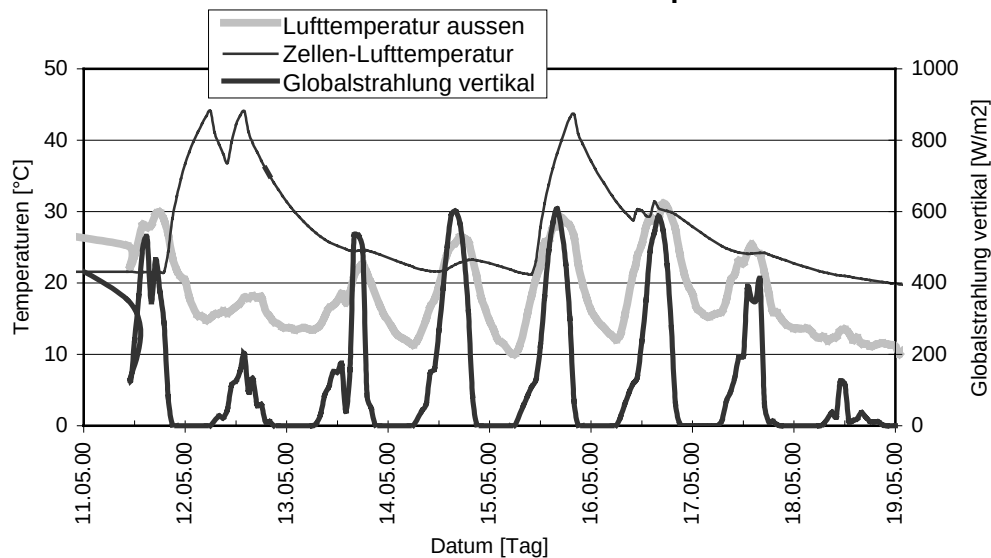
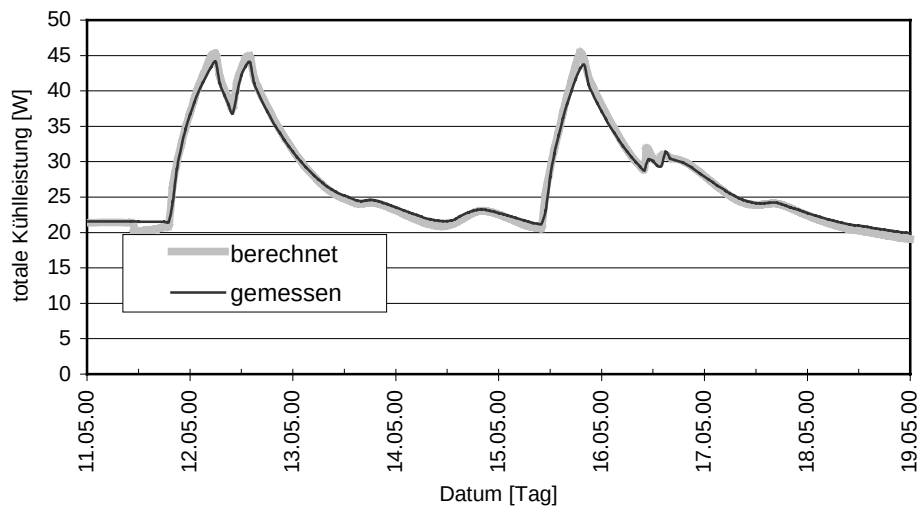
Messstart: 23.03.2000 10:40

Messende: 15.06.2000 16:50

Ausgewertete Messperiode:

Auswertbeginn: 11.05.2000 16:00

Auswertende: 15.05.2000 16:50

Basisdaten während der Messperiode**Fitkurve mit der Lordauswertung****Resultate**

H12 = 171.765	[W/ K] (fix)	C1 = 0.196	[MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226	[W/ K] (fix)	C2 = 0.65	[MJ/ K] (fix)
H41 = 4.713	[W/ K] (berechnet)	C4 = 0.312	[MJ/ K] (berechnet)
H45 = 59.075	[W/ K] (berechnet)		
g-Wert		0.079 ± 0.025	

A4.30 Schenker VSK-Rollo, aussen, grau, unten, HC-FitMessperiode:

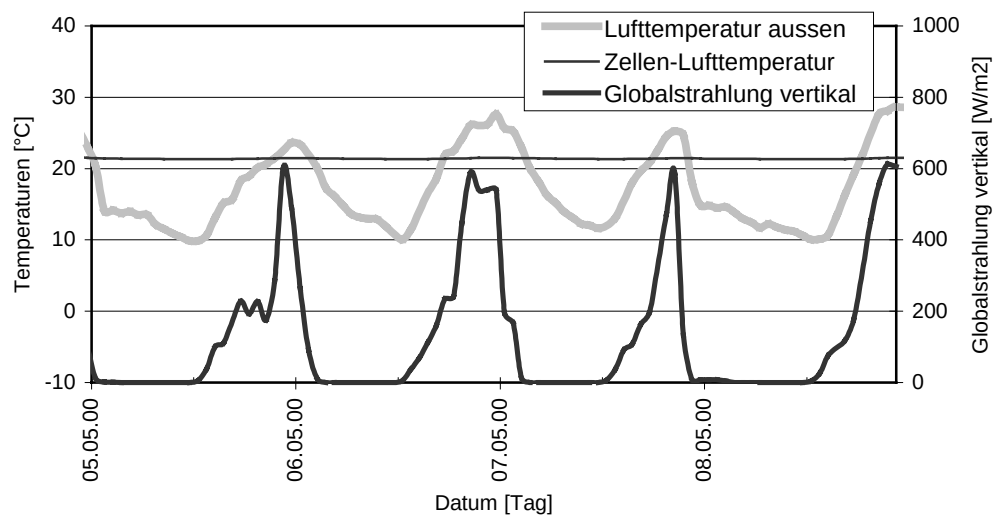
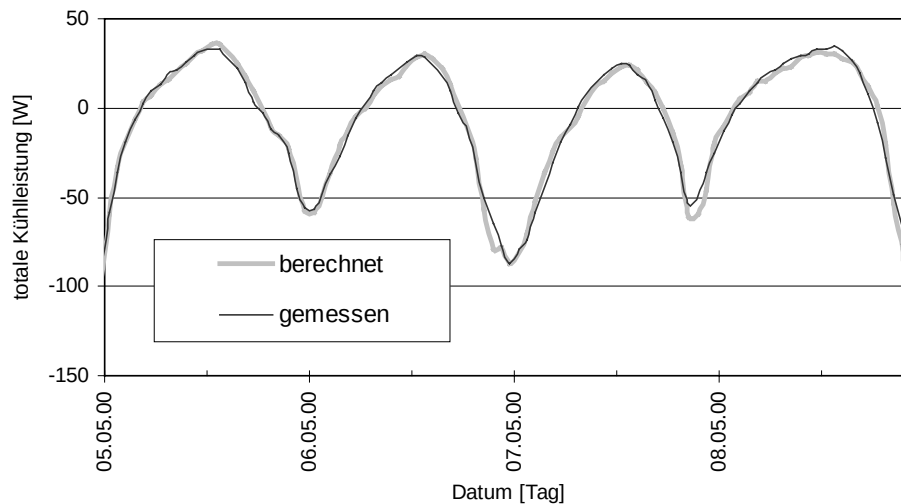
Messstart: 23.03.2000 10:40

Messende: 15.06.2000 16:50

Ausgewertete Messperiode:

Auswertbeginn: 11.05.2000 16:00

Auswertende: 15.05.2000 16:50

Basisdaten während der Messperiode**Fitkurve mit der Lordauswertung****Resultate**

H12 = 171.765	[W/ K] (fix)	C1 = 0.196	[MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226	[W/ K] (fix)	C2 = 0.65	[MJ/ K] (fix)
H41 = 3.027	[W/ K] (berechnet)	C4 = 0.188	[MJ/ K] (berechnet)
H45 = 39.089	[W/ K] (berechnet)		
g-Wert		0.072 ± 0.024	

A4.31 Schenker VSK-Rollo grau, aufgerollt, Heiz-KühlleistungsfitMessperiode:

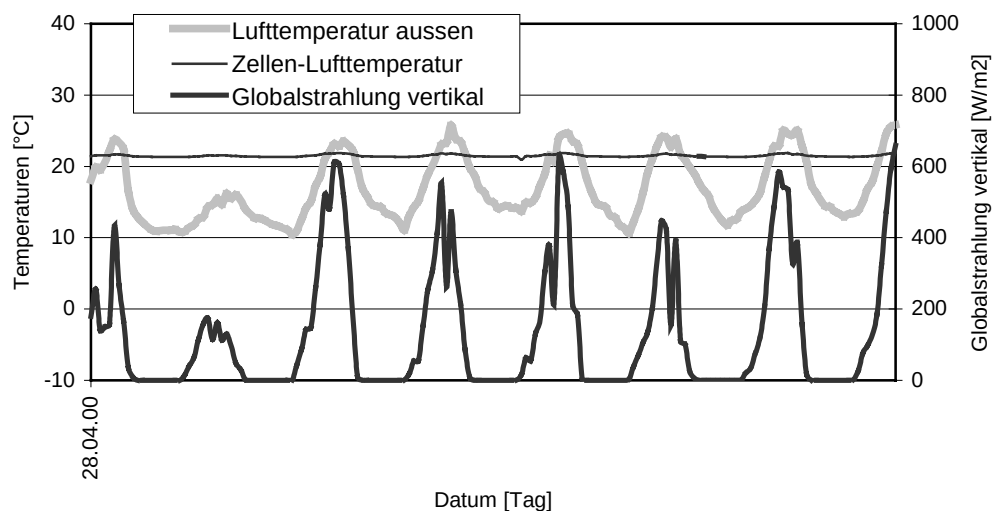
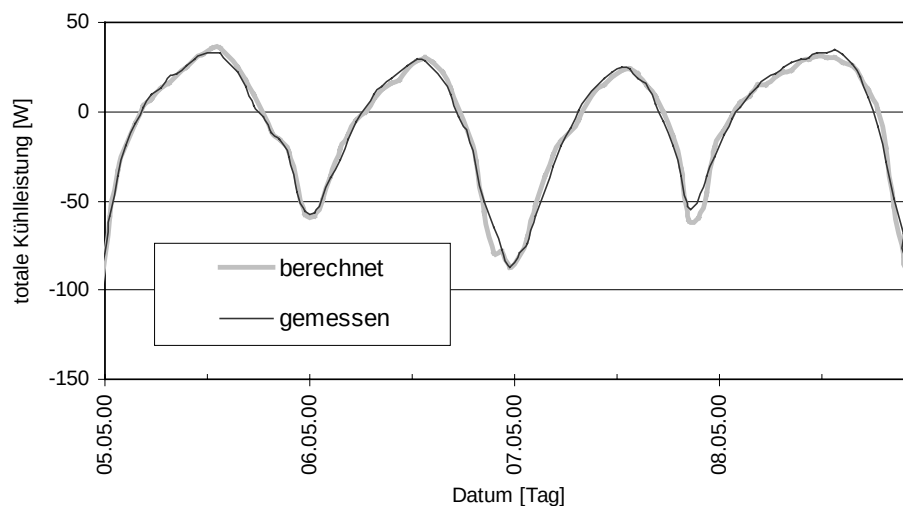
Messstart: 28.04.2000 11:30

Messende: 05.05.2000 16:00

Ausgewertete Messperiode:

Auswertbeginn: 11.05.2000 16:00

Auswertende: 15.05.2000 16:50

Basisdaten während der Messperiode**Fitkurve mit der Lordauswertung****Resultate**

H12 = 171.765	[W/ K] (fix)	C1 = 0.196	[MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226	[W/ K] (fix)	C2 = 0.65	[MJ/ K] (fix)
H41 = 3.309	[W/ K] (berechnet)	C4 = 0.013	[MJ/ K] (berechnet)
H45 = 4.244	[W/ K] (berechnet)		
g-Wert		0.438 ± 0.045	

A4.32 Schenker VSK-Rollo, aussen, Farbe beige 320 325, untenMessperiode:

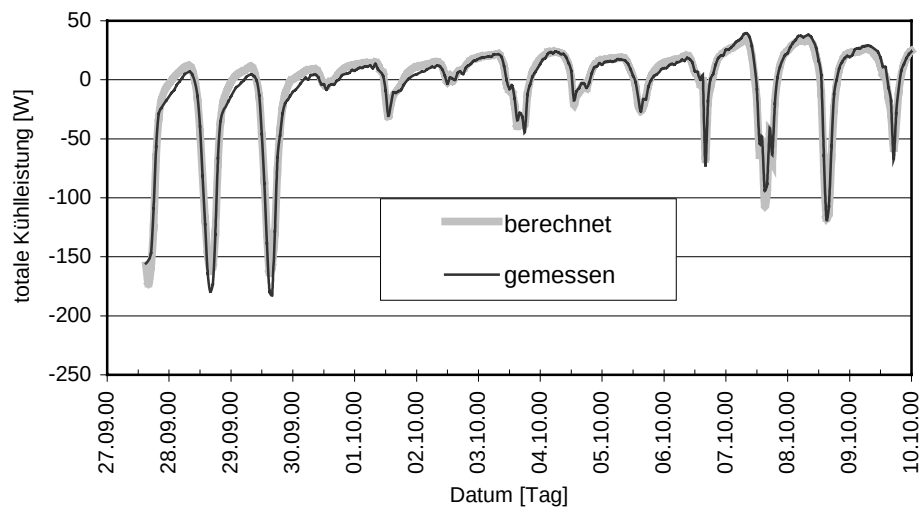
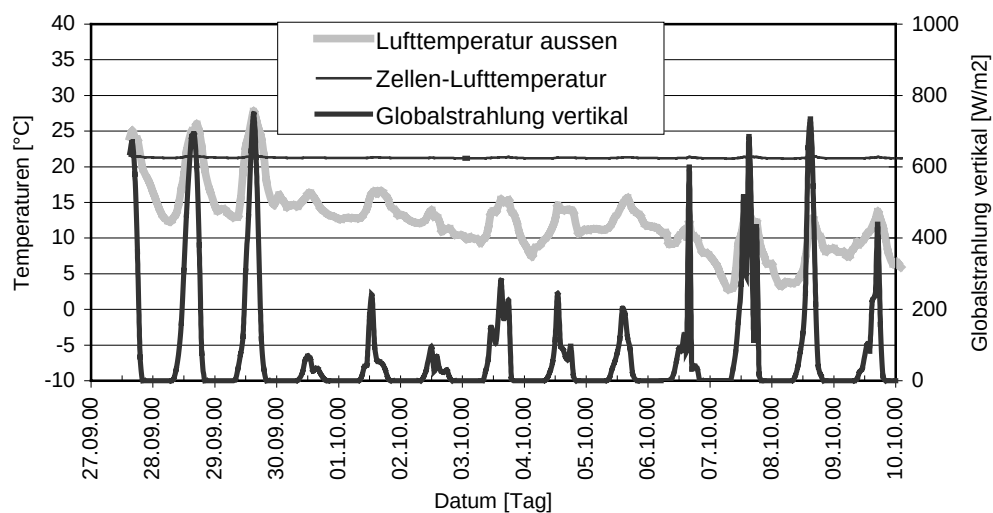
Messstart: 29.08.00 15:00

Messende: 10.10.00 10:00

Ausgewertete Messperiode:

Auswertbeginn: 27.09.00 18:00

Auswertende: 10.10.00 08:00

Fitkurve mit der Lordauswertung**Basisdaten während der Messperiode****Resultate**

H12 = 171.765 [W/ K] (fix)	C1 = 0.196 [MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226 [W/ K] (fix)	C2 = 0.65 [MJ/ K] (fix)
H41 = 4.713 [W/ K] (berechnet)	C4 = 0.312 [MJ/ K] (berechnet)
H45 = 59.075 [W/ K] (berechnet)	
g-Wert	0.079 ± 0.025

A4.33 Stosa-Rollo (Blendschutz)

Messperiode:

Messstart: 05.06.00 16:00

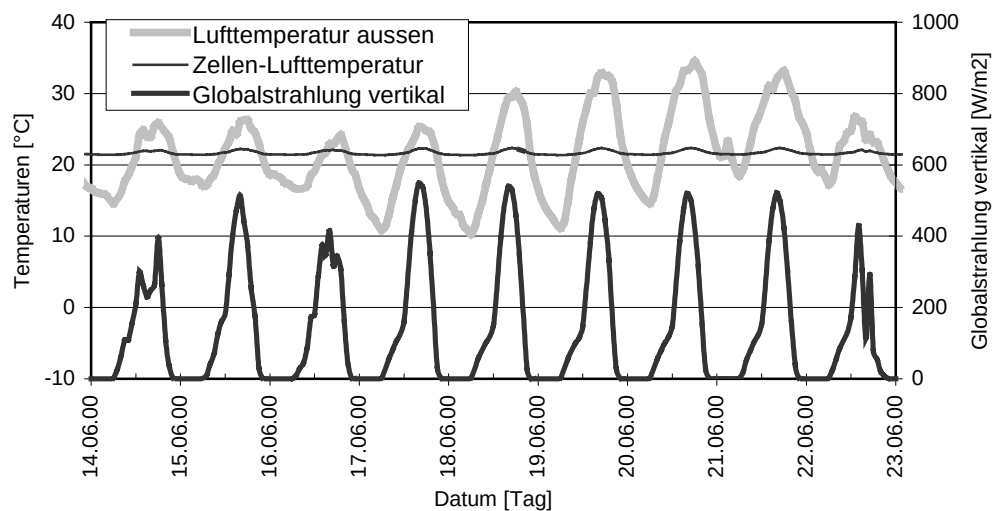
Messende: 23.06.00 09:00

Ausgewertete Messperiode:

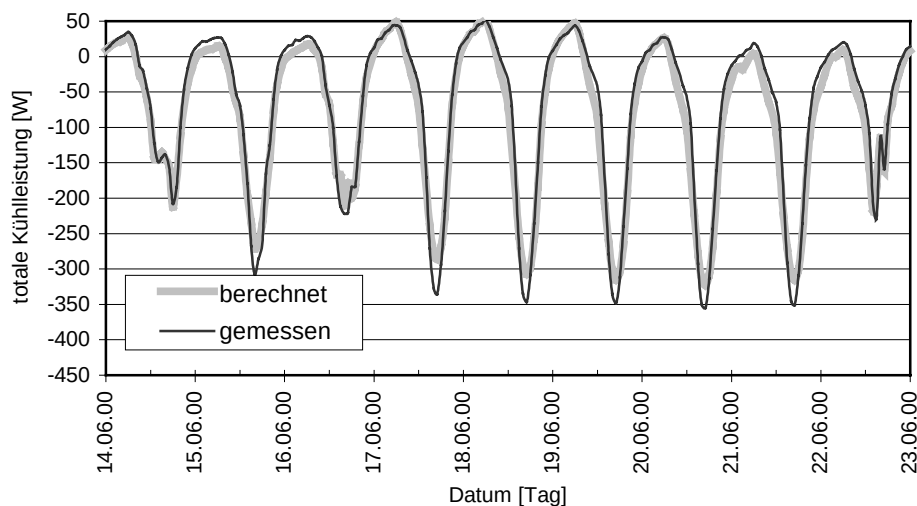
Auswertbeginn: 13.06.00 18:00

Auswertende: 23.06.00 09:00

Basisdaten während der Messperiode



Fitkurve mit der Lordiauswertung



Resultate

H12 = 171.765 [W/ K] (fix)	C1 = 0.196 [MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226 [W/ K] (fix)	C2 = 0.65 [MJ/ K] (fix)
H41 = 7.765 [W/ K] (berechnet)	C4 = 0.025 [MJ/ K] (berechnet)
H45 = 17.795 [W/ K] (berechnet)	
g-Wert	0.304 ± 0.038

A4.34 Messung ohne Stosa-Rollo (leer)Messperiode:

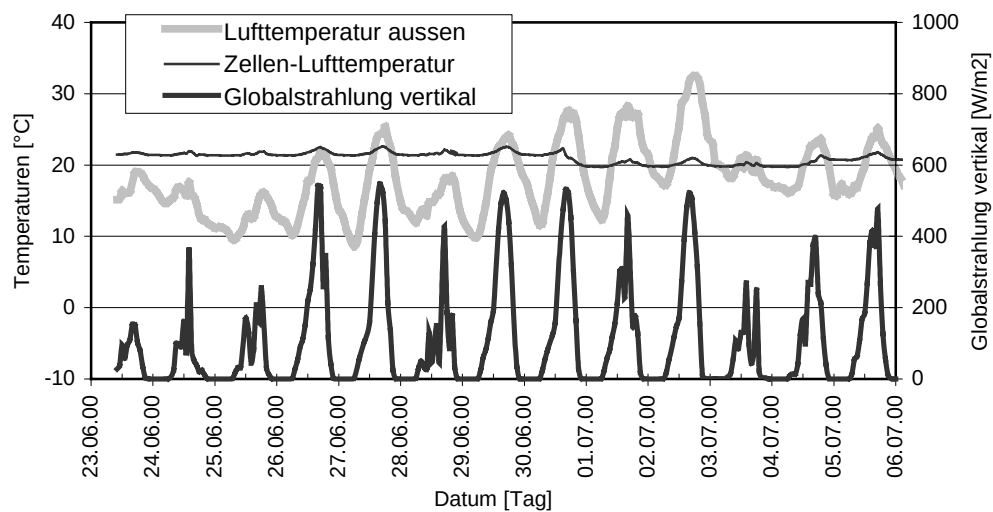
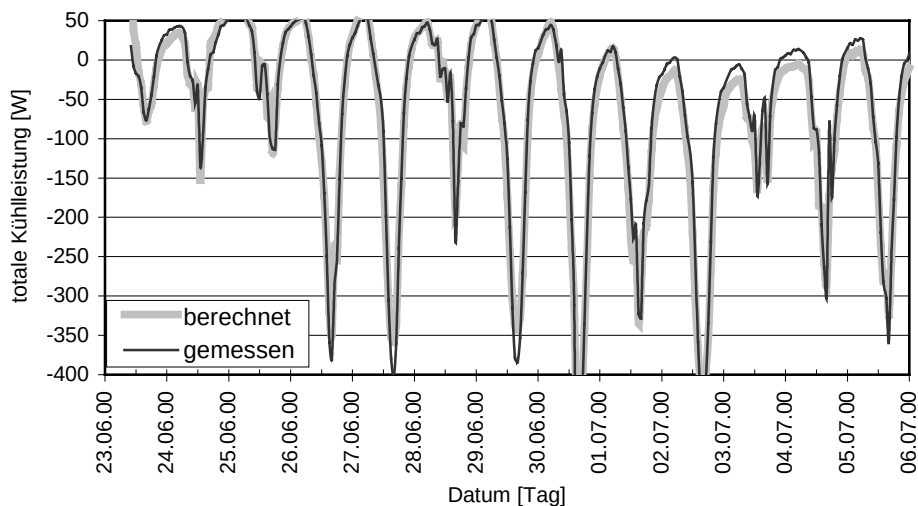
Messstart: 23.06.00 10:00

Messende: 06.07.00 09:00

Ausgewertete Messperiode:

Auswertbeginn: 23.06.00 22:00

Auswertende: 06.07.00 09:00

Basisdaten während der Messperiode**Fitkurve mit der Lordauswertung****Resultate**

H12 = 171.765	[W/ K] (fix)	C1 = 0.196	[MJ/ K] (fix)
H23 = 12.226	[W/ K] (fix)	C2 = 0.65	[MJ/ K] (fix)
H41 = 9.856	[W/ K] (berechnet)	C4 = 0.032	[MJ/ K] (berechnet)
H45 = 14.522	[W/ K] (berechnet)		
g-Wert	0.404 ± 0.043		