

**Das Input/Output-Verfahren als
Beispiel für automatische
Ertragsbewertung,**

**kommerzielle IOC-Geräte
und**

**IOC-KLICK als begleitende
„Baustellen-Software“**



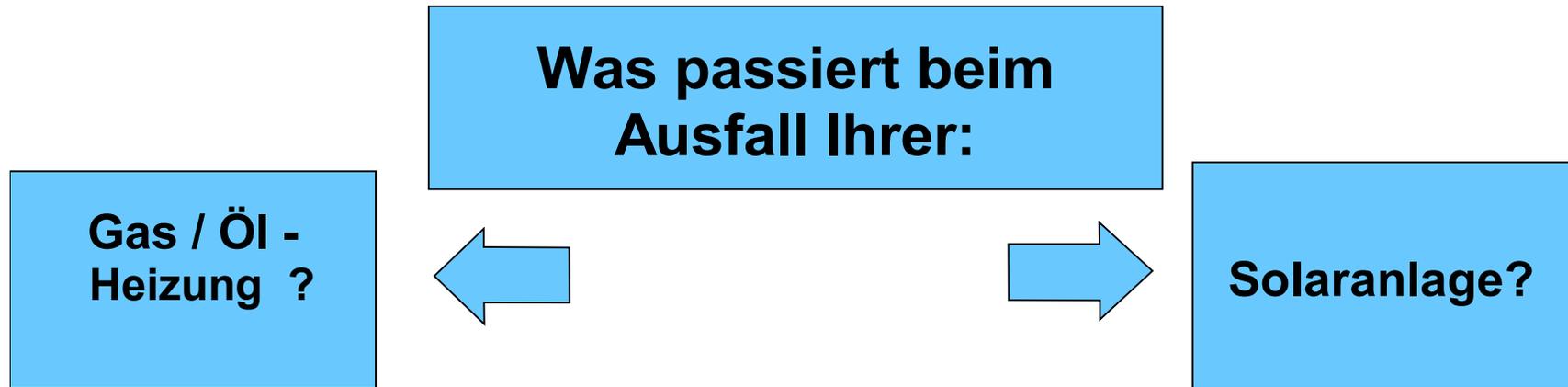
Institut für Solarenergieforschung
Hameln

Dr.-Ing. Klaus Vanoli

Warum Funktionskontrolle?



Solaranlagen sind zuverlässig, aber

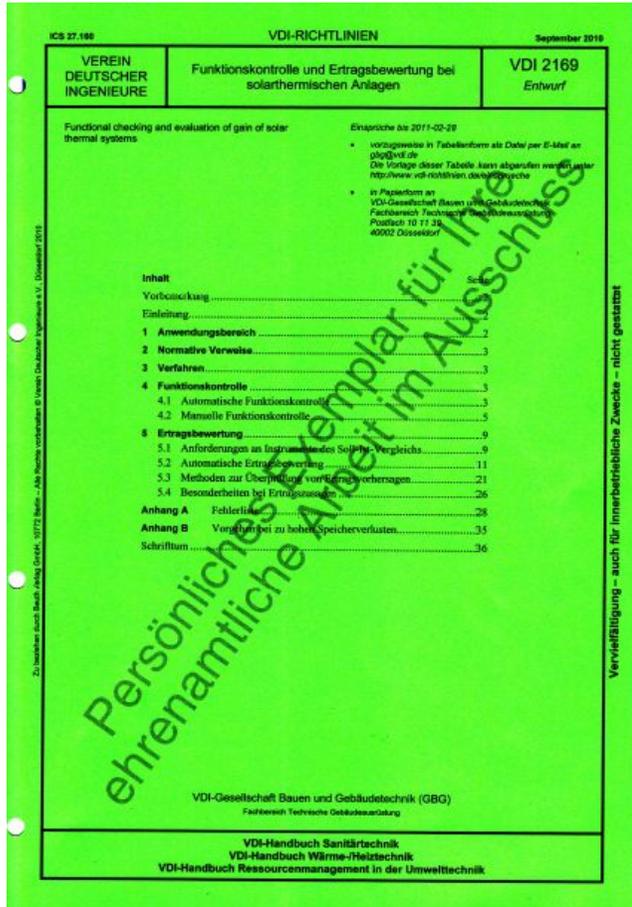


- kein warmes Wasser und/oder kalte Wohnung
- unmittelbare Erkennung dass ein Fehler vorliegt
- Verständigung der Servicedienstes
- **rasche Fehlerbeseitigung**

- kein Transport von Solarwärme zum Speicher
- Zusatzheizung versorgt die Verbraucher!
- ununterbrochene Warmwasserversorgung
- **Solarfehler kann (lange) unentdeckt bleiben**

Institut für Solarenergieforschung
Hameln

Veröffentlichung VDI –Richtlinie 2169: Gründruck: 9.2010 – *Weißdruck in Arbeit*



Funktionskontrolle und Ertragsbewertung bei solarthermischen Anlagen

3	Verfahren .....	.....
4	Funktionskontrolle .....	.....
4.1	Automatische Funktionskontrolle .....	.....
4.2	Manuelle Funktionskontrolle .....	.....
5	Ertragsbewertung .....	.....
5.1	Anforderungen an Instrumente des Soll-Ist-Vergleichs.....	.....
5.2	Automatische Ertragsbewertung .....	.....
5.3	Methoden zur Überprüfung von Ertragsvorhersagen.....	.....
5.4	Besonderheiten bei Ertragszusagen .....	.....
Anhang A	Fehlerliste .....	.....
Anhang B	Vorgehen bei zu hohen Speicherverlusten.....	.....

Institut für Solarenergieforschung
Hameln



Die automatische Ertragsbewertung.

Sie umfasst den automatischen, permanenten Betrieb von:

-

1980: Namensgebung

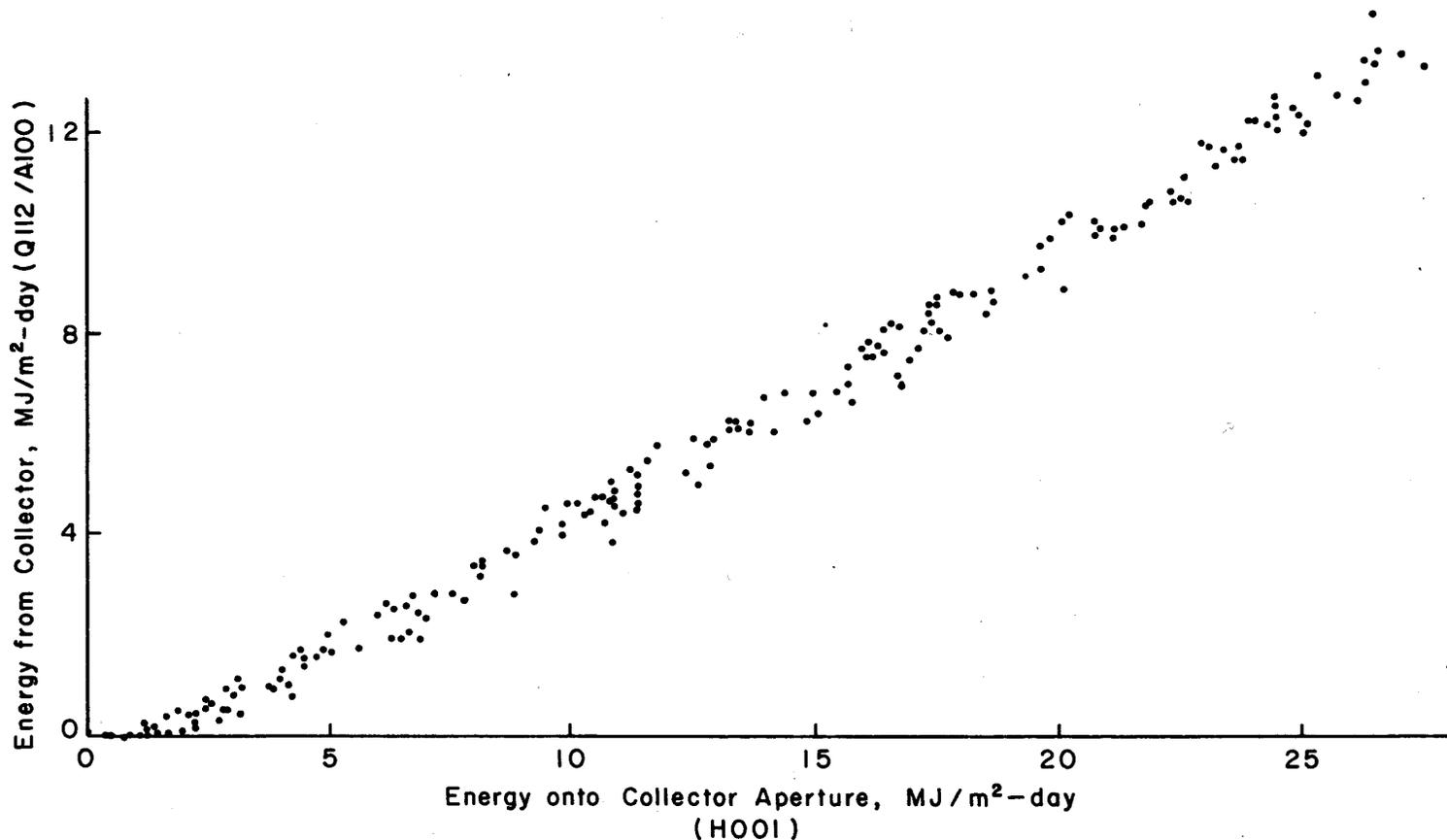
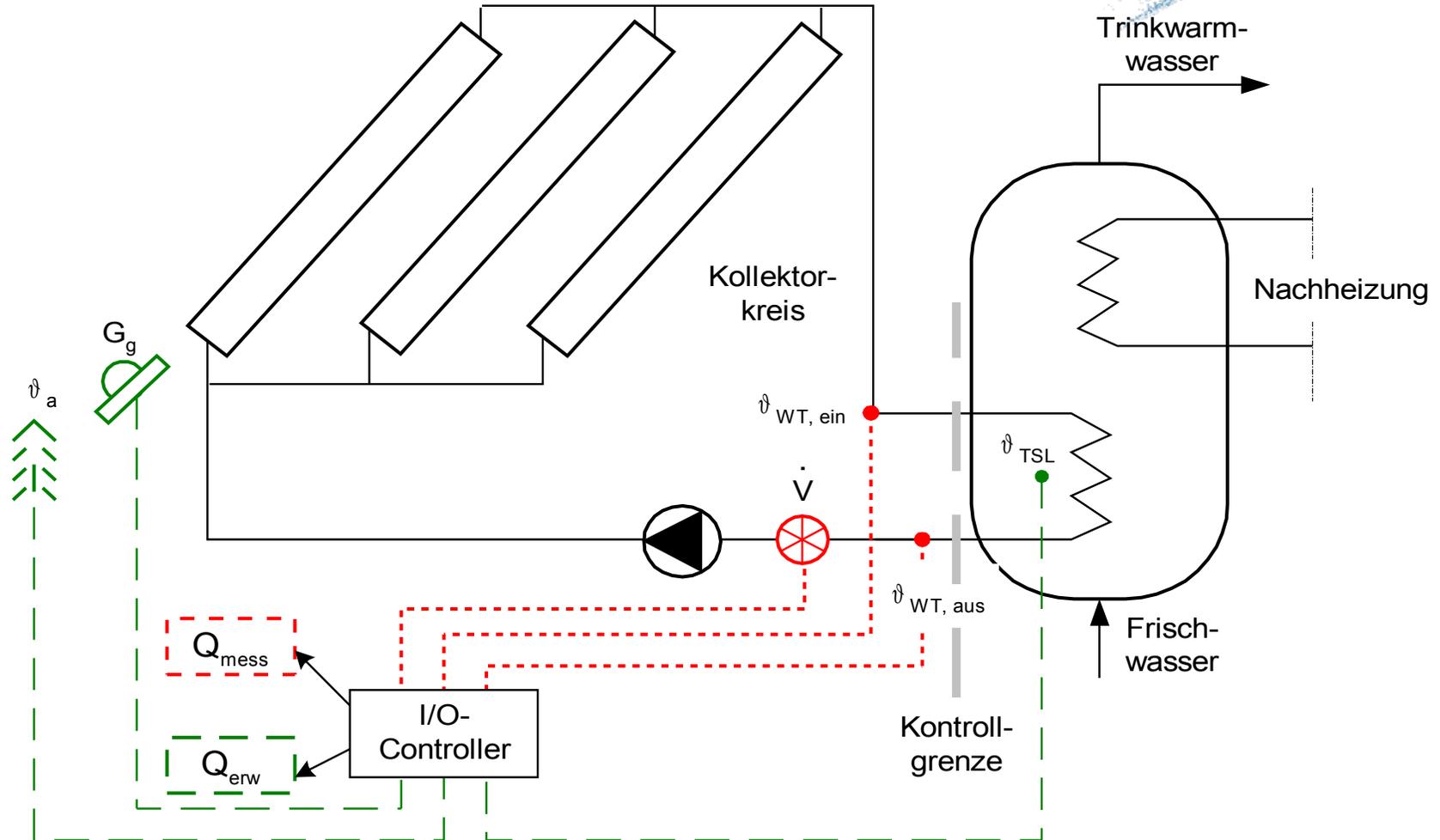


Figure 6-17. Daily Energy Input/Output for the Solarhaus Freiburg Corning Collector During 1980

Integration in das Solarsystem



Ein Beispiel für automatische Ertragsbewertung: Umsetzung im Input-Output-Verfahren

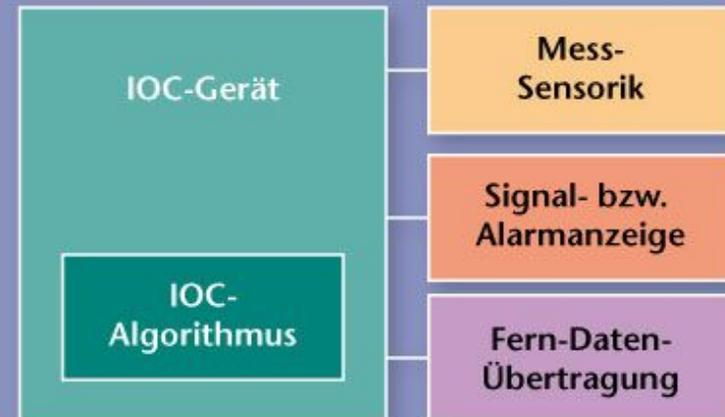


Input-Output-Controller-(IOC-)Verfahren

Verfahrensregeln

- Vereinbarung zur IOC-Überwachung des solarthermischen Systems mit dem Investor;
- Einbindung des IOC-Verfahrens in den Planungsprozess einschließlich Ausschreibung;
- Zusammenstellung der technischen Daten des solarthermischen Systems (Parameterliste);
- Installation von IOC-Gerät, Sensorik und Signal-/Alarmanzeige;
- Eingabe der IOC-Parameter in das IOC-Gerät und Passwortschutz;
- Start des IOC-Algorithmus, Check und Abnahme des solarthermischen Systems;
- ggf. Optimierung des solarthermischen Systems;
- Dauerüberwachung des solarthermischen Systems.

IOC-Technologie

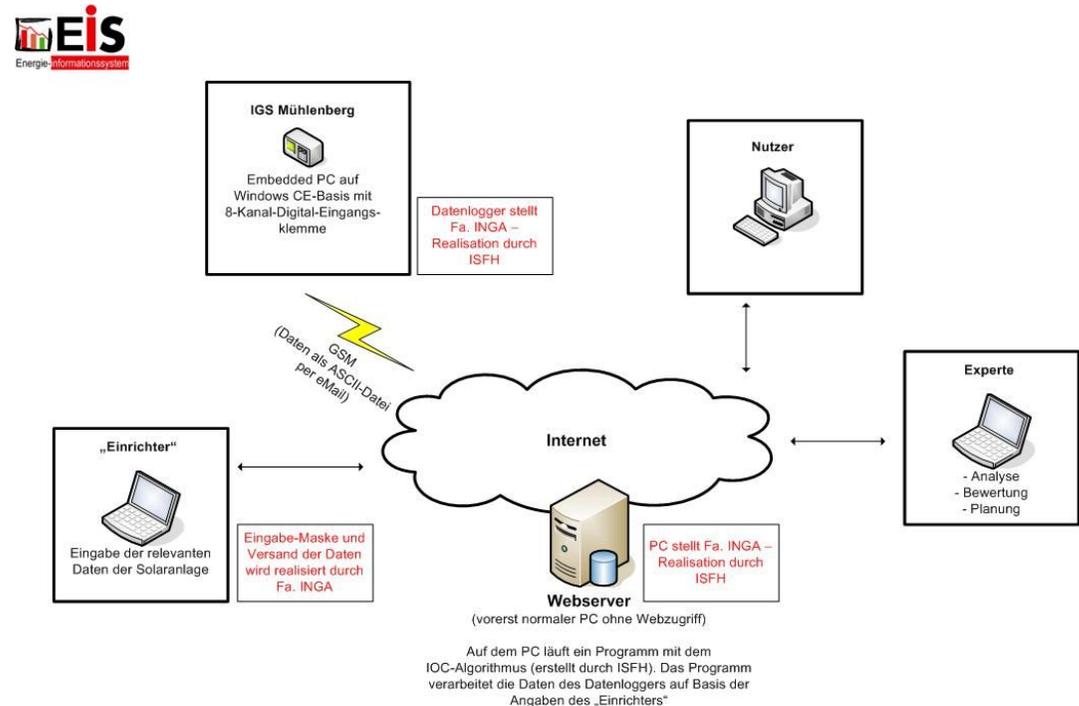


verfügbare Seriengeräte

Fa. RESOL Kompaktgerät:



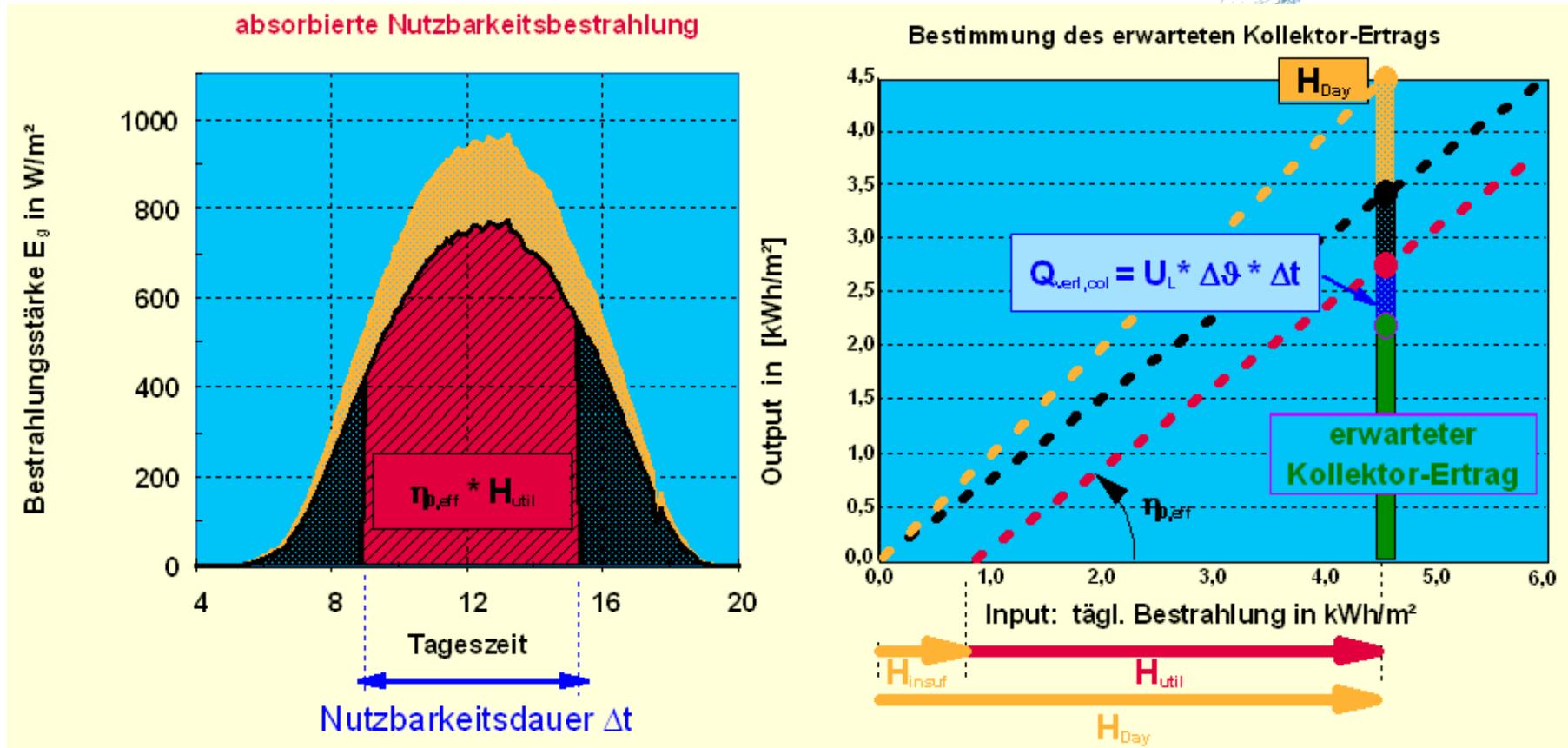
Fa. INGA, Hameln: IOC-IBS WEB-Server:



IOC – VERSUCHSANLAGE IGS MÜHLENBERG

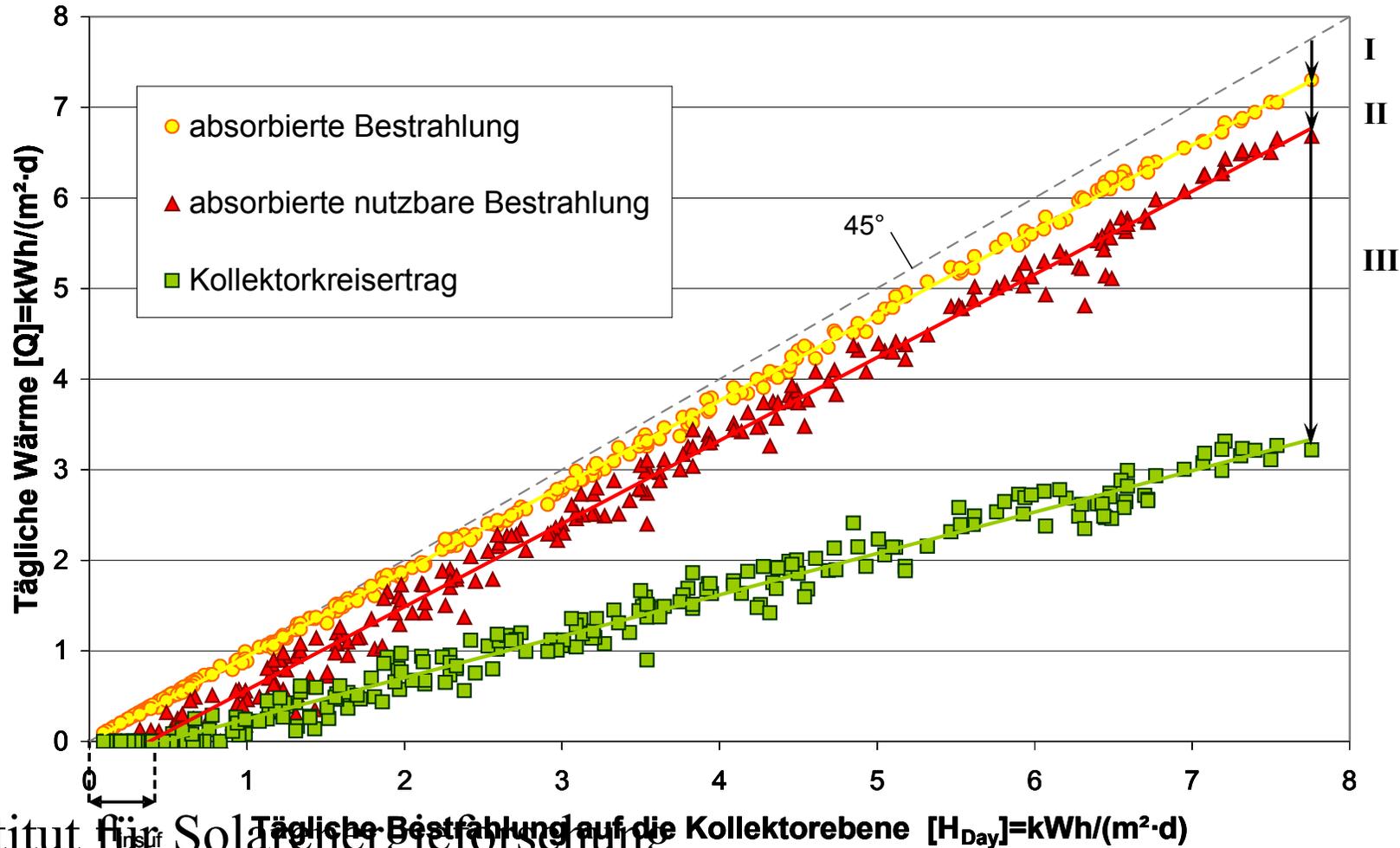
22.01.2007 / An
Datenfluss IOC IGS
Mühlenberg 3.vsd
© 2007 ZACHARIAS

$$H_{\text{Day}} = H_{\text{insuf}} + H_{\text{util}}$$



$$\text{erwarteter Kollektor-Ertrag} = -\eta_{0,\text{eff}} * H_{\text{insuf}} + \eta_{0,\text{eff}} * H_{\text{Day}} - U_L * \Delta\theta * \Delta t$$

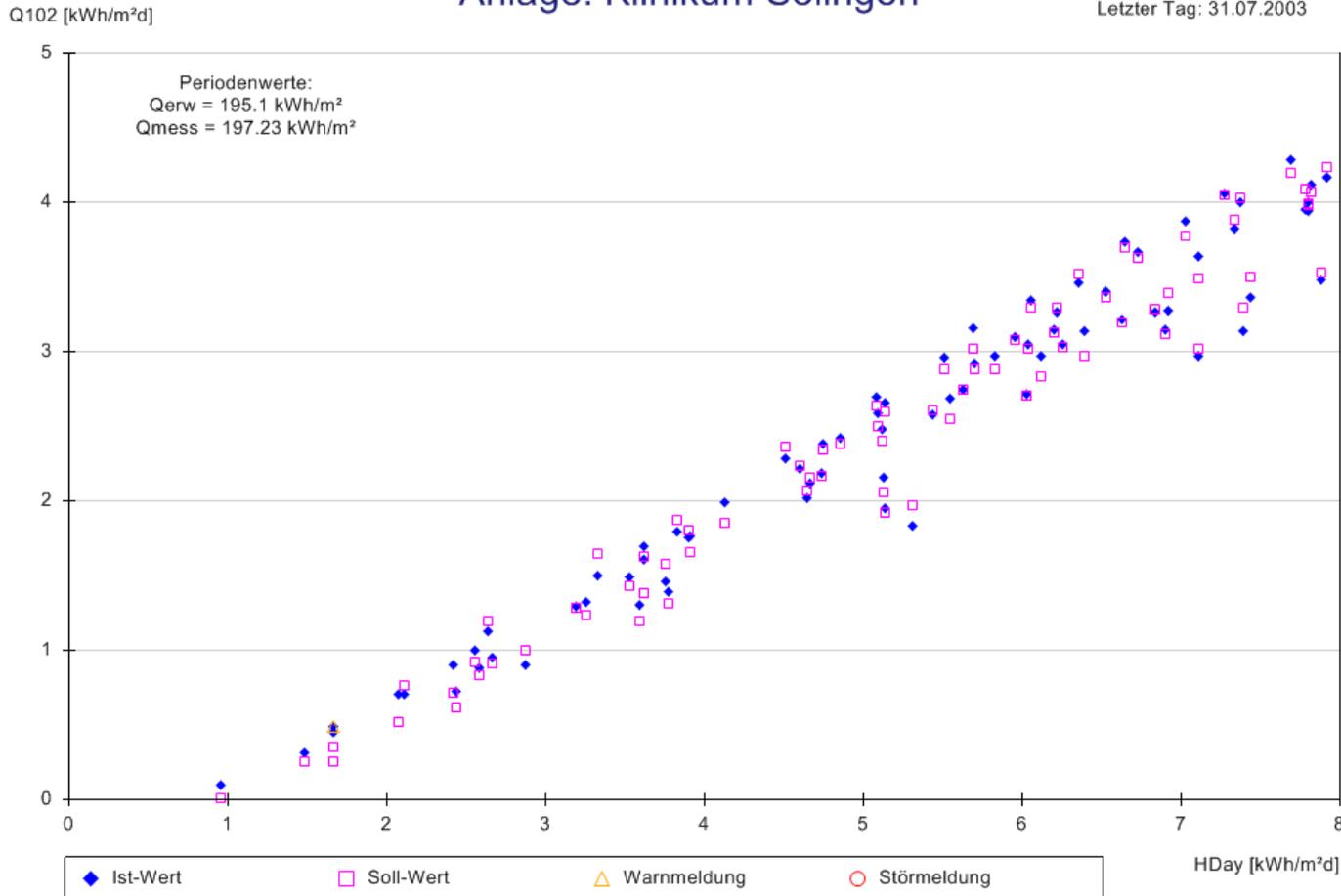
I Optische Verluste II Stillstandsverluste III Thermische Verluste im Betrieb



Das klassische I/O-Diagramm: alles OK ! , oder ??

Input-Output-Diagramm Anlage: Klinikum Solingen

Datum der Auswertung:
01.09.2005 22:53:46
Anzahl der Tage: 80
Erster Tag: 01.05.2003
Letzter Tag: 31.07.2003

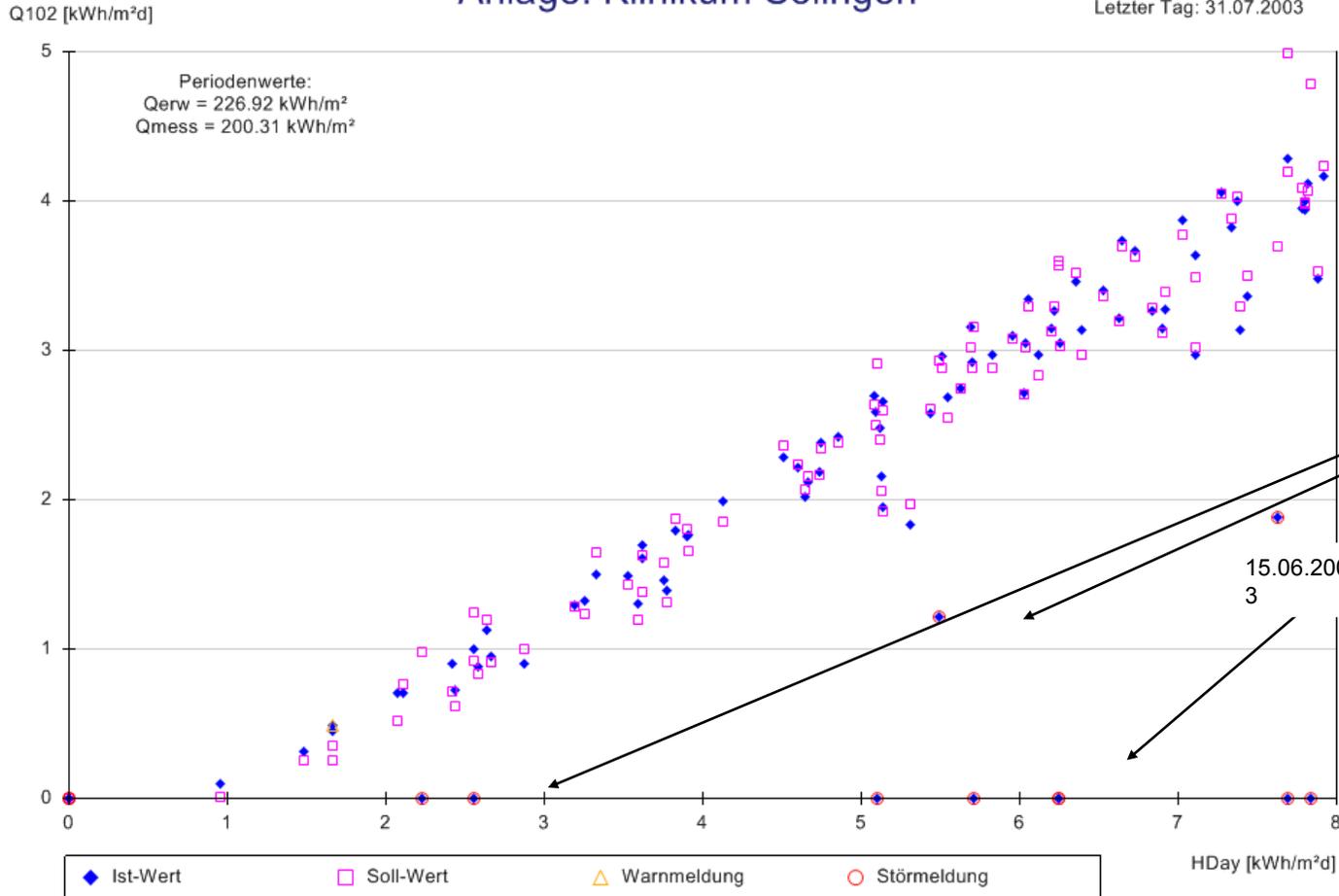


Unterstützung bei der Fehlersuche: Service-Software *IOC-Klick*



Input-Output-Diagramm
Anlage: Klinikum Solingen

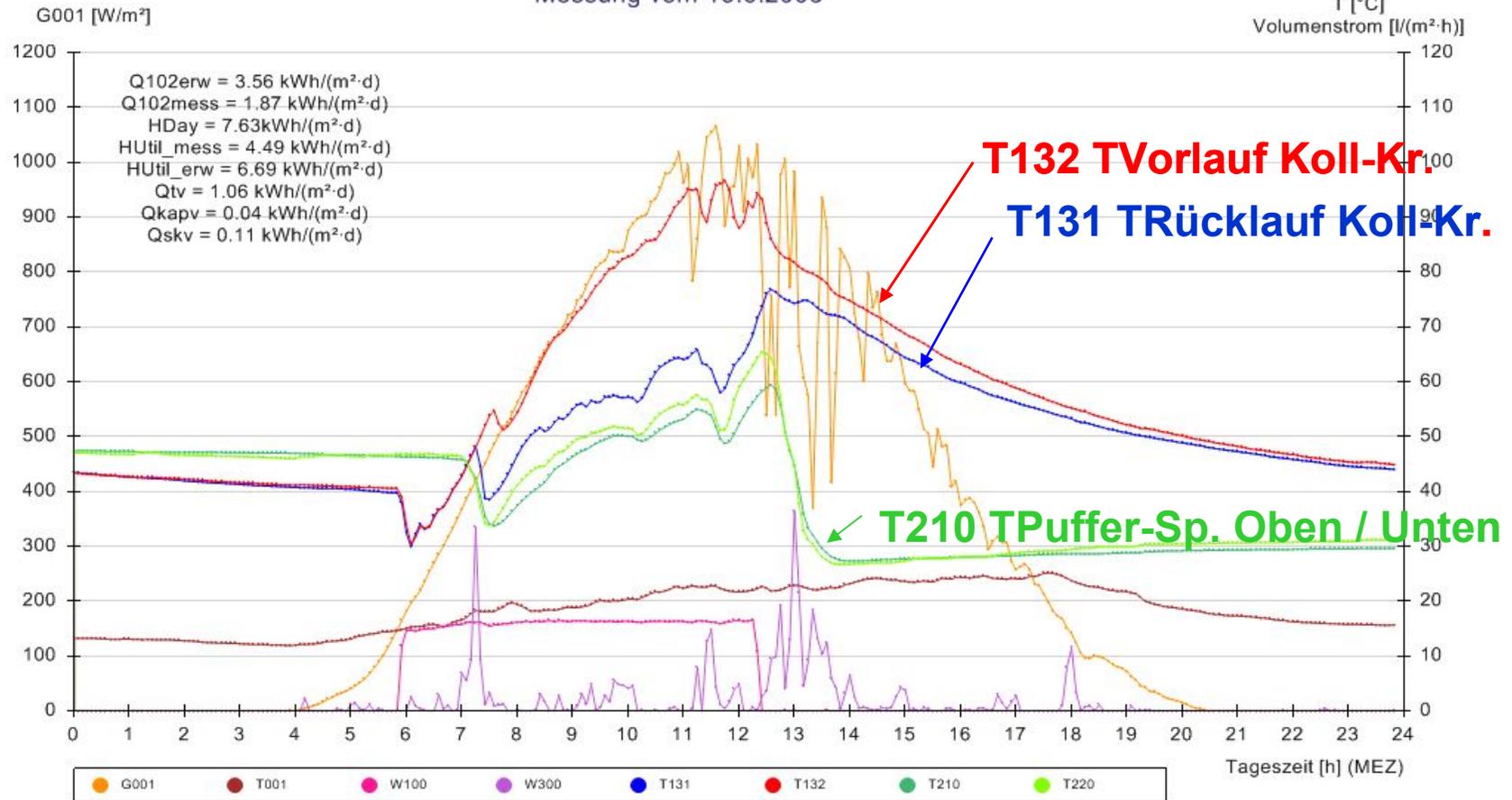
Datum der Auswertung:
01.09.2005 22:52:30
Anzahl der Tage: 92
Erster Tag: 01.05.2003
Letzter Tag: 31.07.2003



Anlage: Klinikum Solingen

Datum der Auswertung:
30.08.2005 11:33:07

Messung vom 15.6.2003



Einsatzbeispiel Großanlage



Städtisches Klinikum Solingen
ZfS, Solarthermie 2000



Institut für Solarenergieforschung
Hameln

11
102
1004

Leibniz
Universität
Hannover

Einsatzbeispiel Großanlage

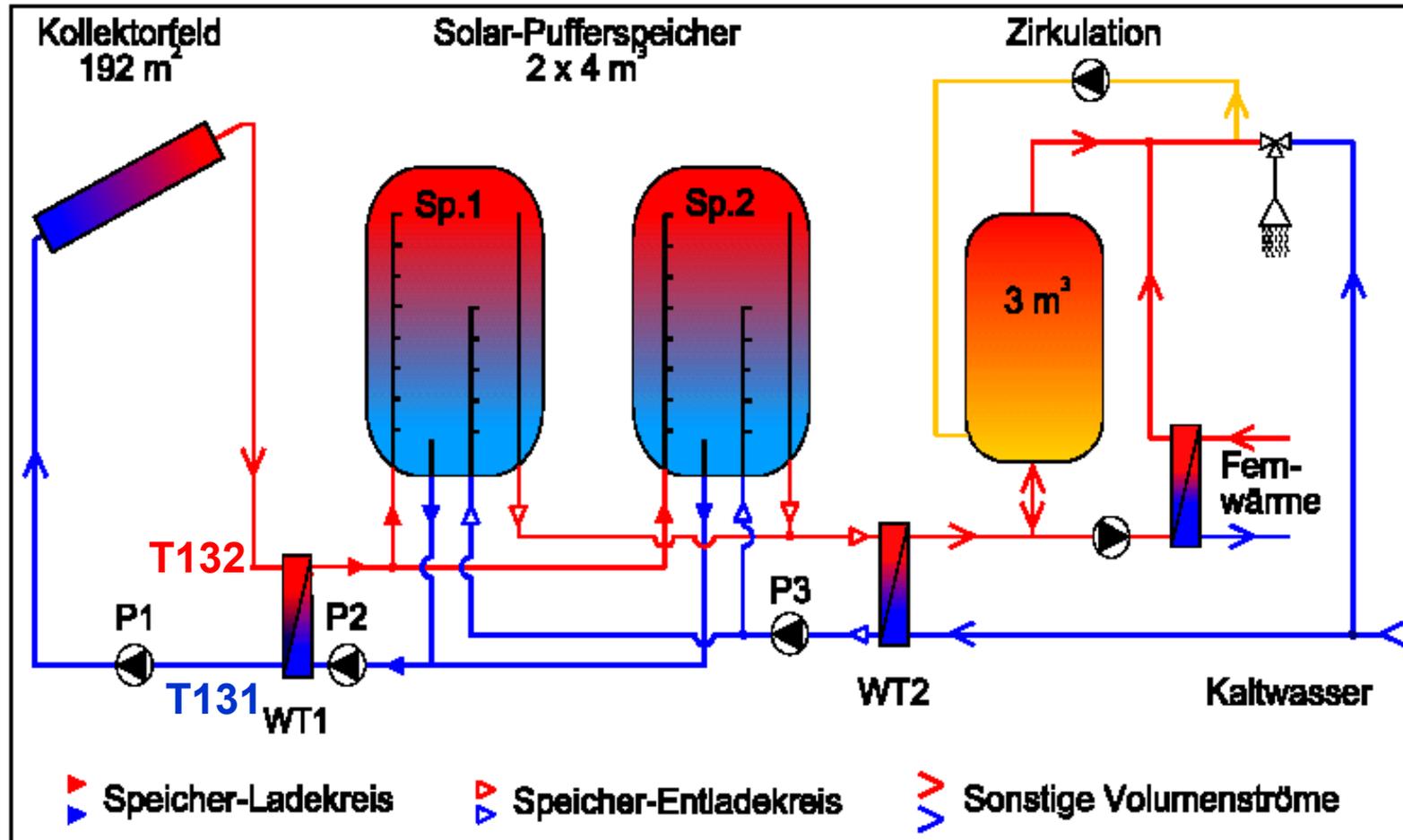
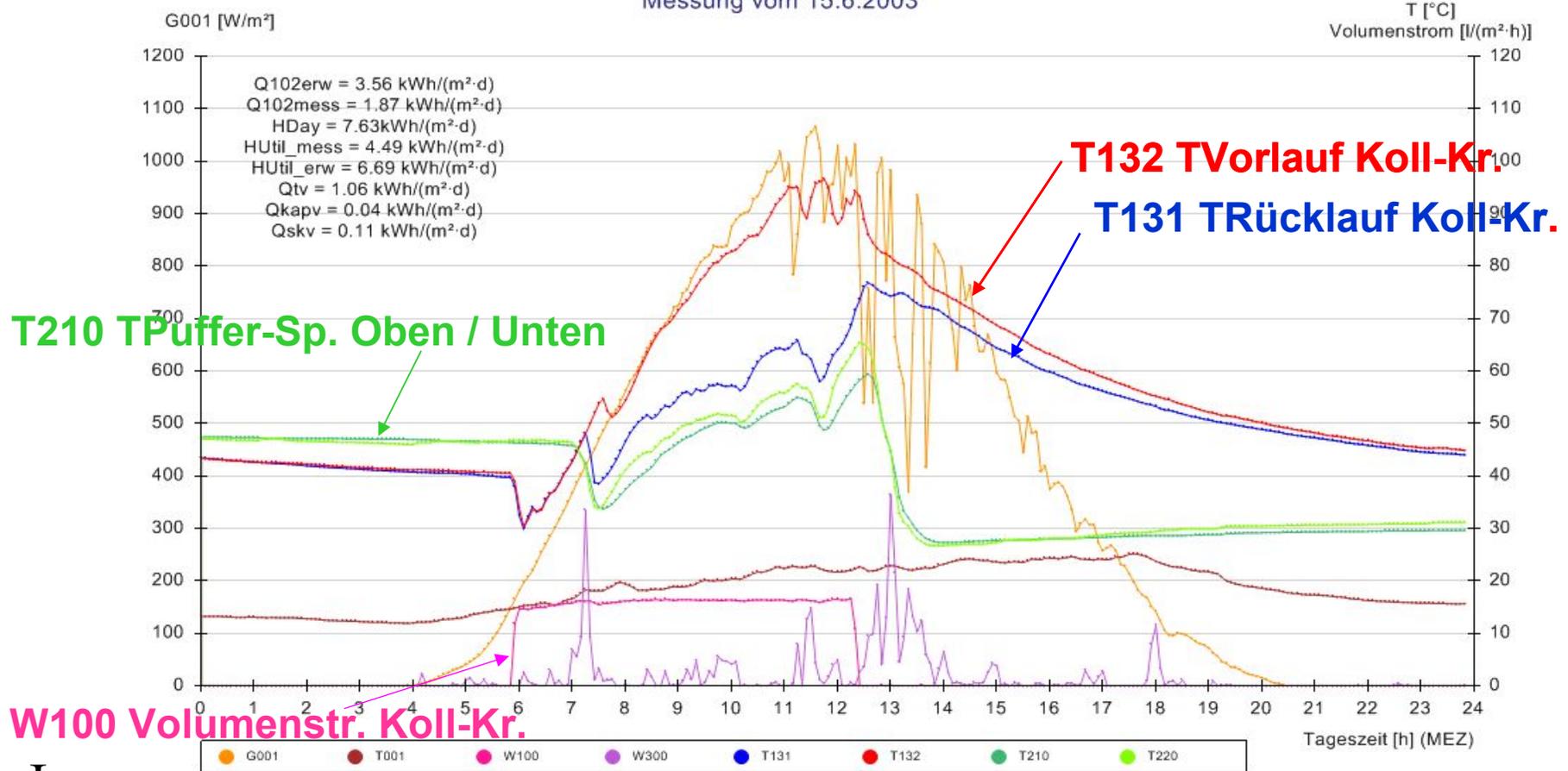


Bild 2: Prinzipieller Aufbau der Solaranlage und Einbindung in das konv. System (vereinfacht)
Institut für Solarenergieforschung
Hameln

Anlage: Klinikum Solingen

Datum der Auswertung:
30.08.2005 11:33:07

Messung vom 15.6.2003



**Beispiele für
Effizienz-Verbesserungen bei
Anfangsoptimierung
und
Langzeit-Ertragsbewertung
von solarunterstützten
Wärmeversorgungsanlagen**



Dr.-Ing. Klaus Vanoli

Institut für Solarenergieforschung
Hameln

Beispiele für Effizienz-Verbesserungen...



- Fehlanpassung des Heizkesselvolumenstromes bewirkt Durchmischung des Pufferspeichers
- Vertauschung von Vor- und Rücklauf im Kollektorkreislauf
- Thermosiphon-Fehlzirkulation im Kollektorkreislauf
- Kollektorpumpe schaltet nicht ein oder zu spät ein
- Abschalten der Solarkreisläufe bei hoher Bestrahlungsstärke
- Optimierung der Pufferspeicheraus Kühlung durch KW-Vorwärmbetrieb
- zu kleiner Wärmetauscher im Kollektorkreislauf
- Rücklauf der Raumheizung strömt durch den WW-Nachheiz-WT
- Fehlzirkulation der Kesselpumpe durch den Kombianlagen-Pufferspeicher

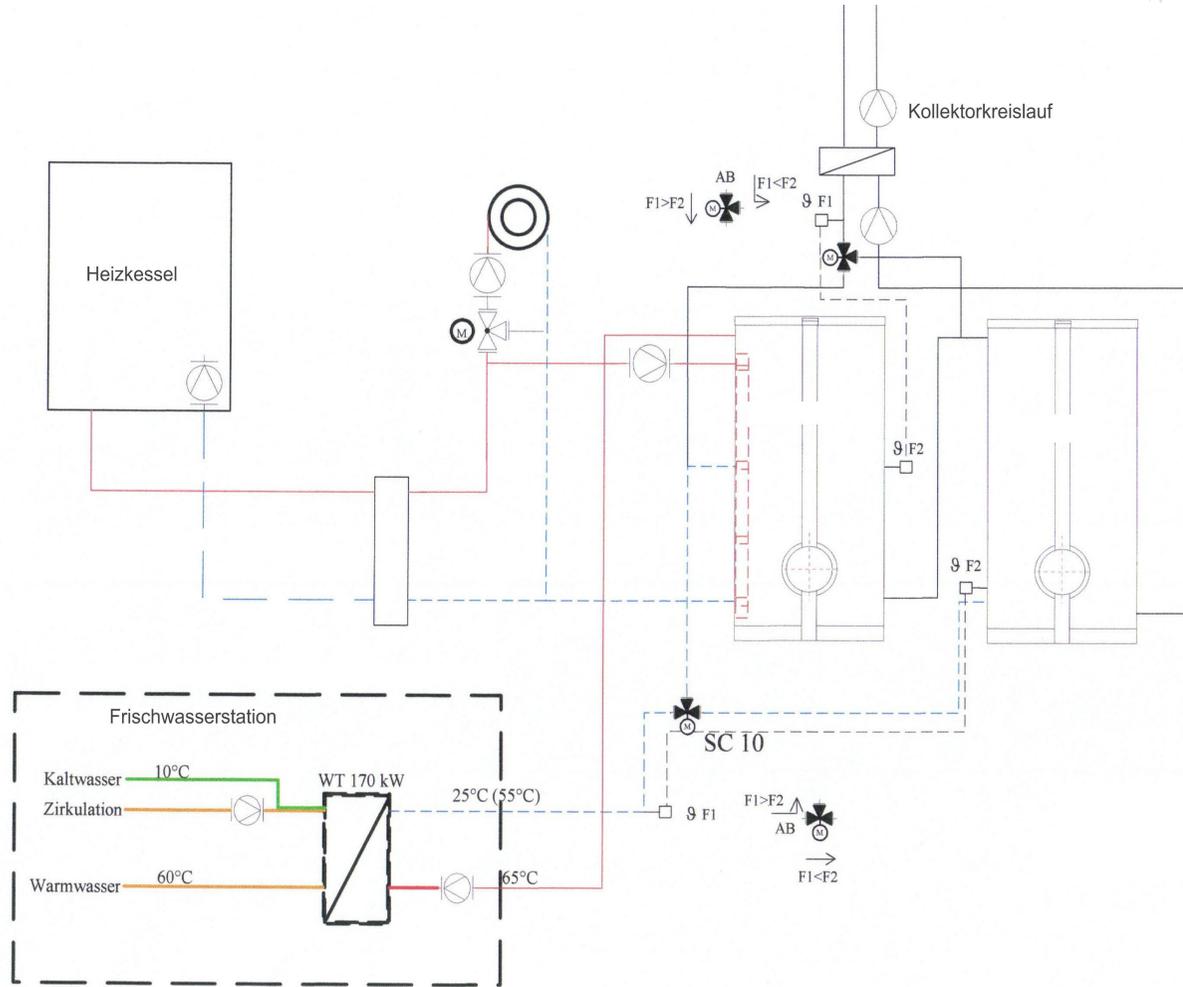
Beispiel Nr. 6 für Effizienz-Verbesserungen...



- Fehlanpassung des Heizkesselvolumenstromes bewirkt Durchmischung des Pufferspeichers
- Vertauschung von Vor- und Rücklauf im Kollektorkreislauf
- Thermosiphon-Fehlzirkulation im Kollektorkreislauf
- Kollektorpumpe schaltet nicht ein oder zu spät ein
- Abschalten der Solarkreisläufe bei hoher Bestrahlungsstärke
- **Optimierung der Pufferspeicherauskuhlung durch KW-Vorwärmtrieb**
- zu kleiner Wärmetauscher im Kollektorkreislauf
- Rücklauf der Raumheizung strömt durch den WW-Nachheiz-WT
- Fehlzirkulation der Kesselpumpe durch den Kombianlagen-Pufferspeicher

Aktueller Anlass für Beispiel Nr. 6

Optimierung der Pufferspeicherauskuhlung



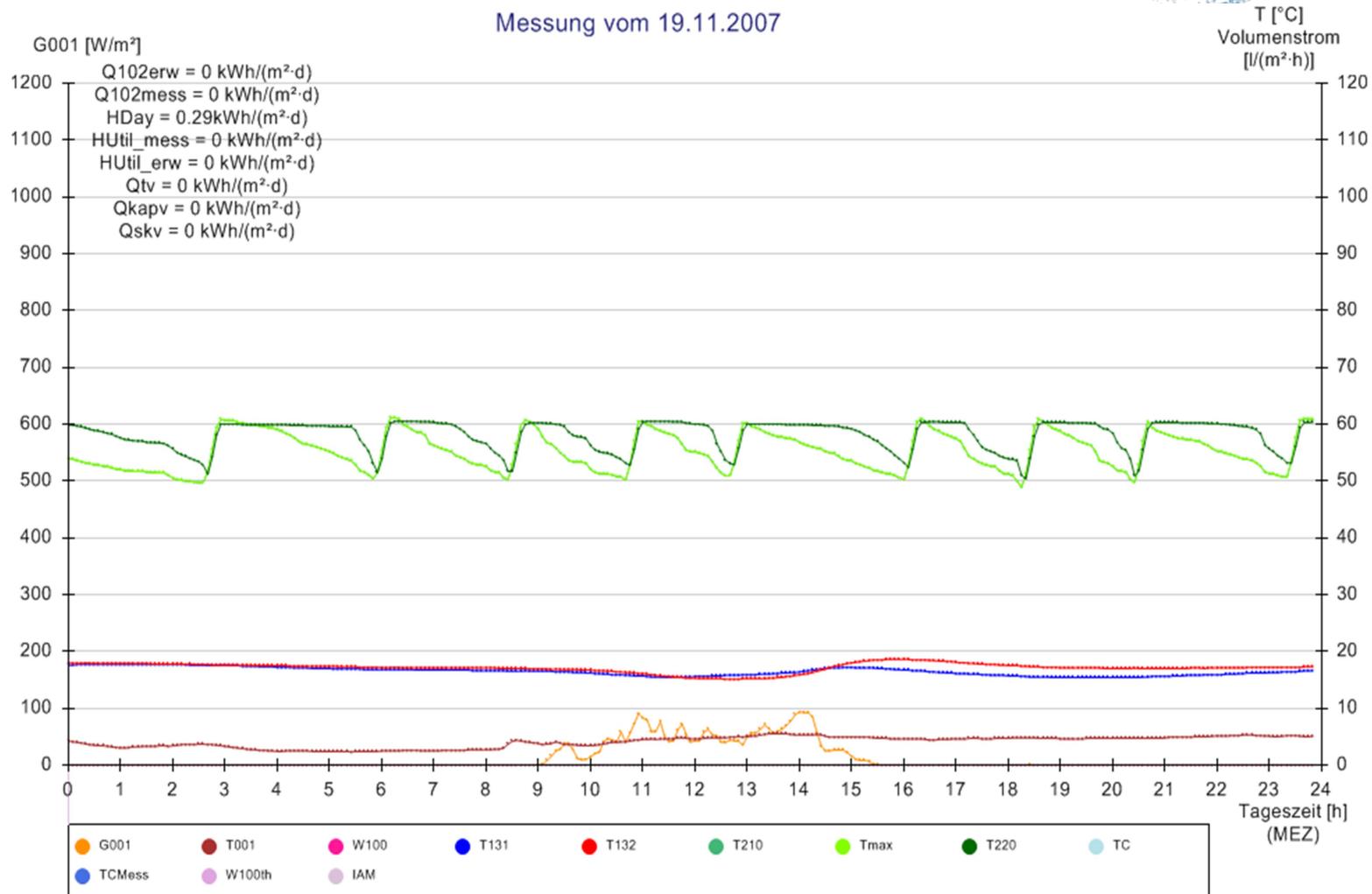
Institut für Solarenergieforschung
Hameln

Aktueller Anlass für Beispiel Nr. 6

unzureichende Pufferspeicheraus Kühlung



Messung vom 19.11.2007

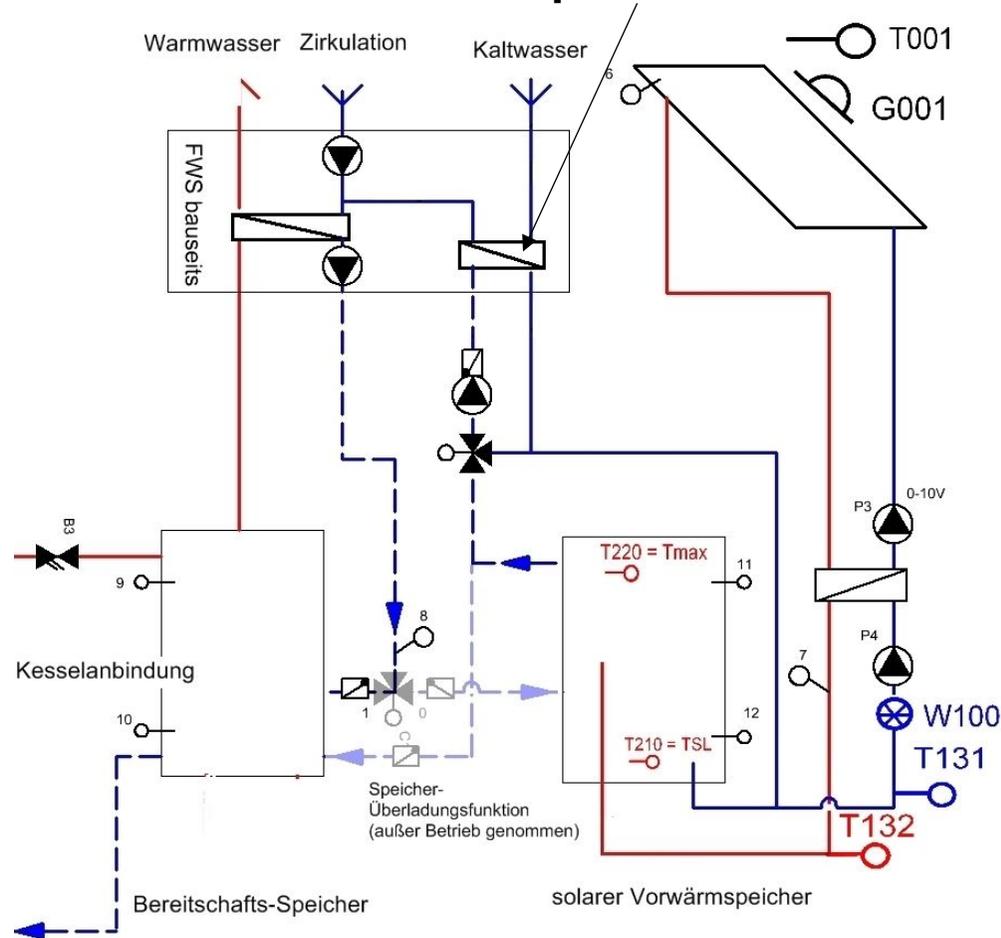


Institut für Solarenergieforschung
Hameln

6. Beispiel: Optimierung der Pufferspeicheraus Kühlung durch KW-Vorwärmbetrieb



Schaltschema Elsa-Brandströmstr. mit separatem KW-Vorwärm-Wärmetauscher

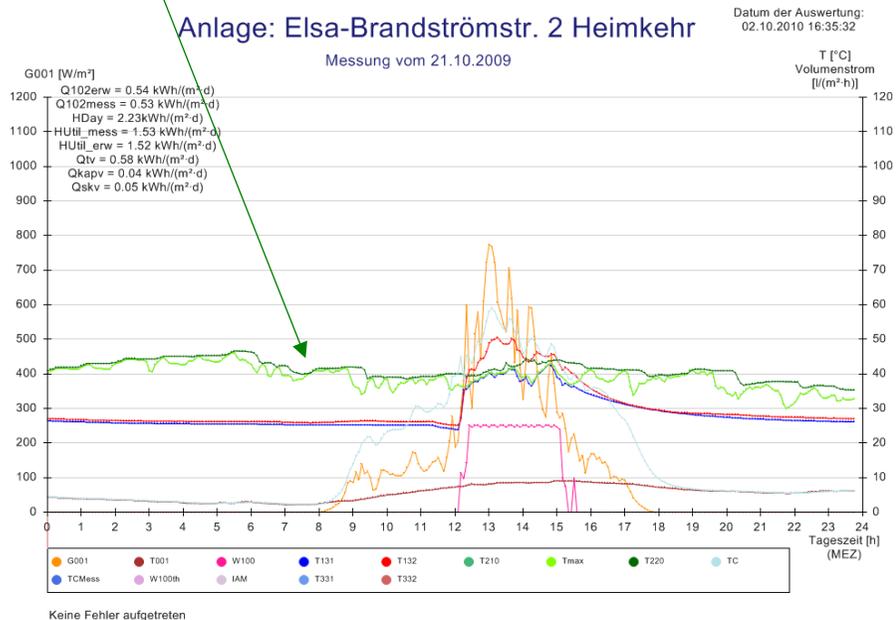


Institut für Solarenergieforschung
Hameln

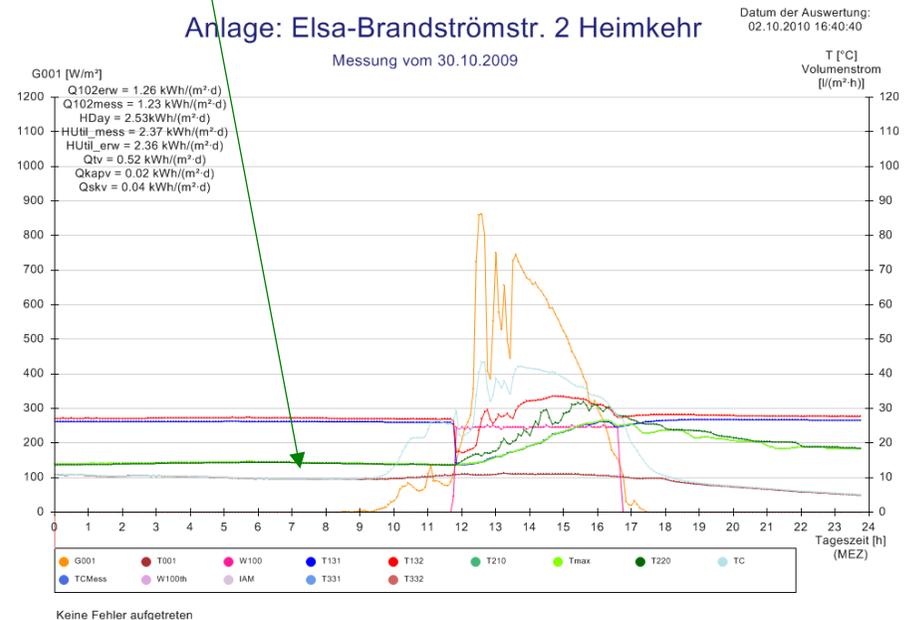
6. Beispiel: Optimierung der Pufferspeicheraus Kühlung durch KW-Vorwärmbetrieb



Tagesdiagramme mit unteren Pufferspeichertemperaturen TSL von 40 °C, mit Überladefunktion



Tagesdiagramme mit unteren Pufferspeichertemperaturen TSL von 15 °C, ohne Überladefunktion

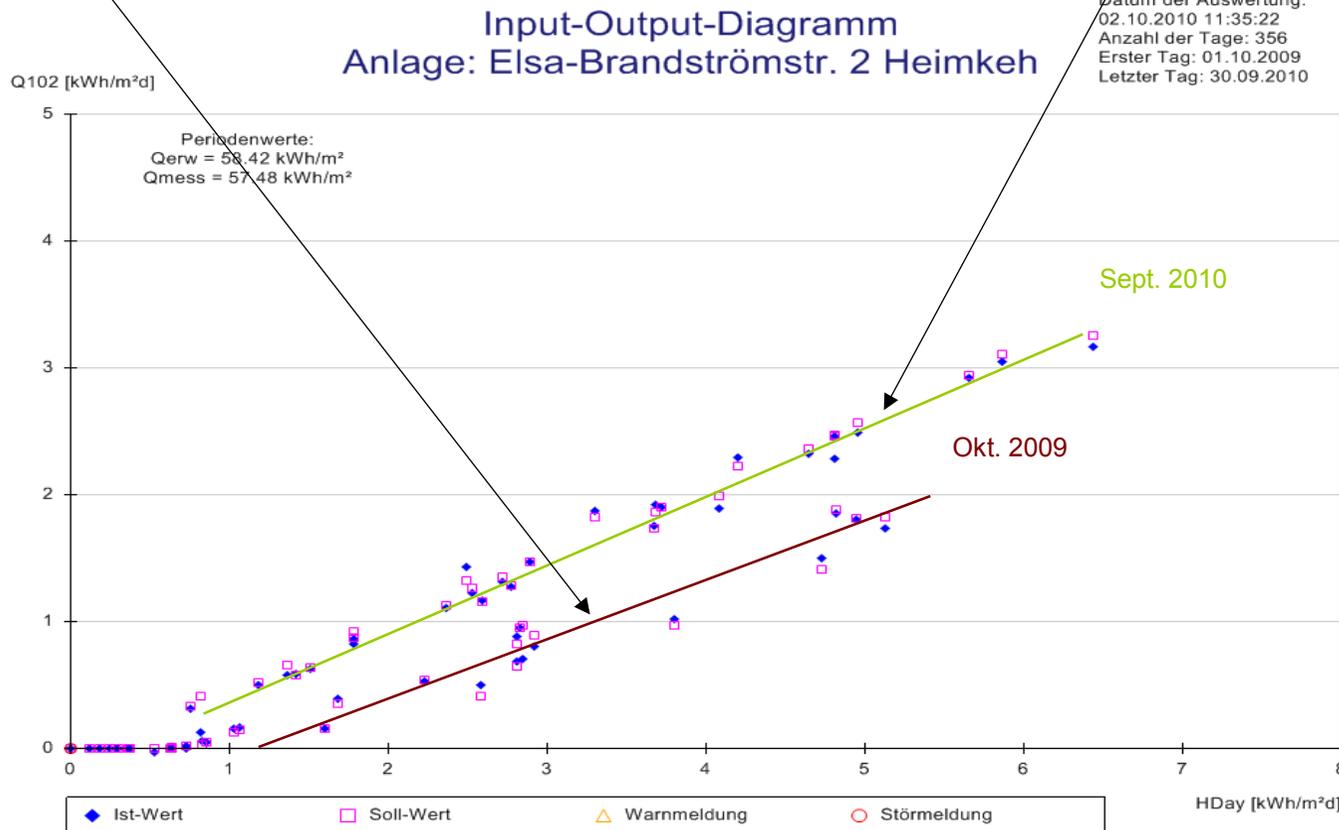


6. Beispiel: Optimierung der Pufferspeicheraus Kühlung durch KW-Vorwärmbetrieb



I/O-Diagramm mit unteren
Pufferspeichertemperaturen TSL von
40 °C, mit Überladefunktion, Okt 09

Tagesdiagramme mit unteren
Pufferspeichertemperaturen TSL von
15 °C, ohne Überladefunktion, Sept. 10



Input-Output-Diagramm

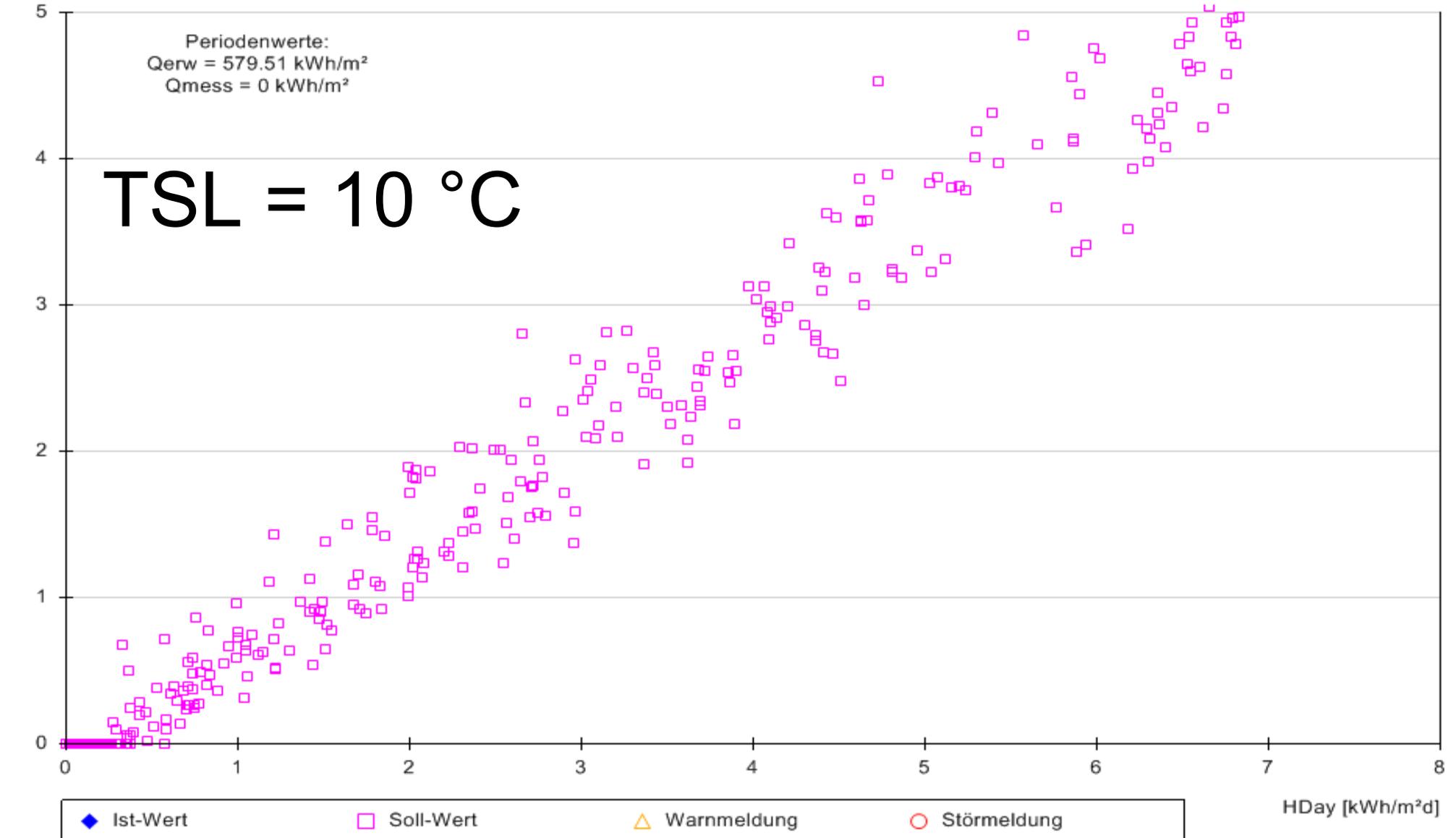
Anlage: Elsa-Brandströmstr. 2 Heimkeh

Datum der Auswertung:
03.10.2010 14:12:14
Anzahl der Tage: 323
Erster Tag: 01.11.2009
Letzter Tag: 30.09.2010

Q102 [kWh/m²d]

Periodenwerte:
Q_{erw} = 579.51 kWh/m²
Q_{mess} = 0 kWh/m²

TSL = 10 °C



Input-Output-Diagramm

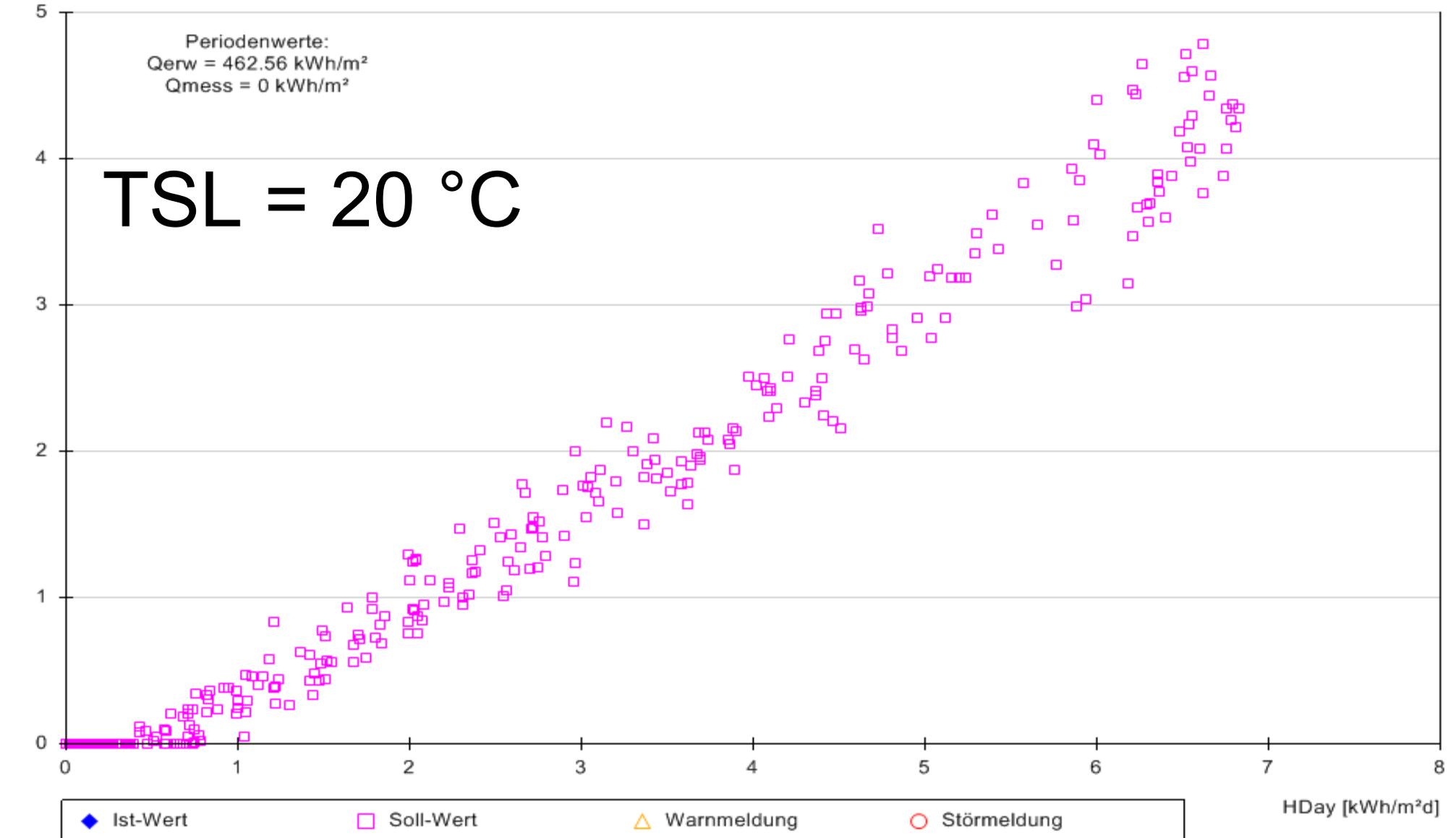
Anlage: Elsa-Brandströmstr. 2 Heimkeh

Datum der Auswertung:
03.10.2010 14:14:24
Anzahl der Tage: 323
Erster Tag: 01.11.2009
Letzter Tag: 30.09.2010

Q102 [kWh/m²d]

Periodenwerte:
Q_{erw} = 462.56 kWh/m²
Q_{mess} = 0 kWh/m²

TSL = 20 °C



Input-Output-Diagramm

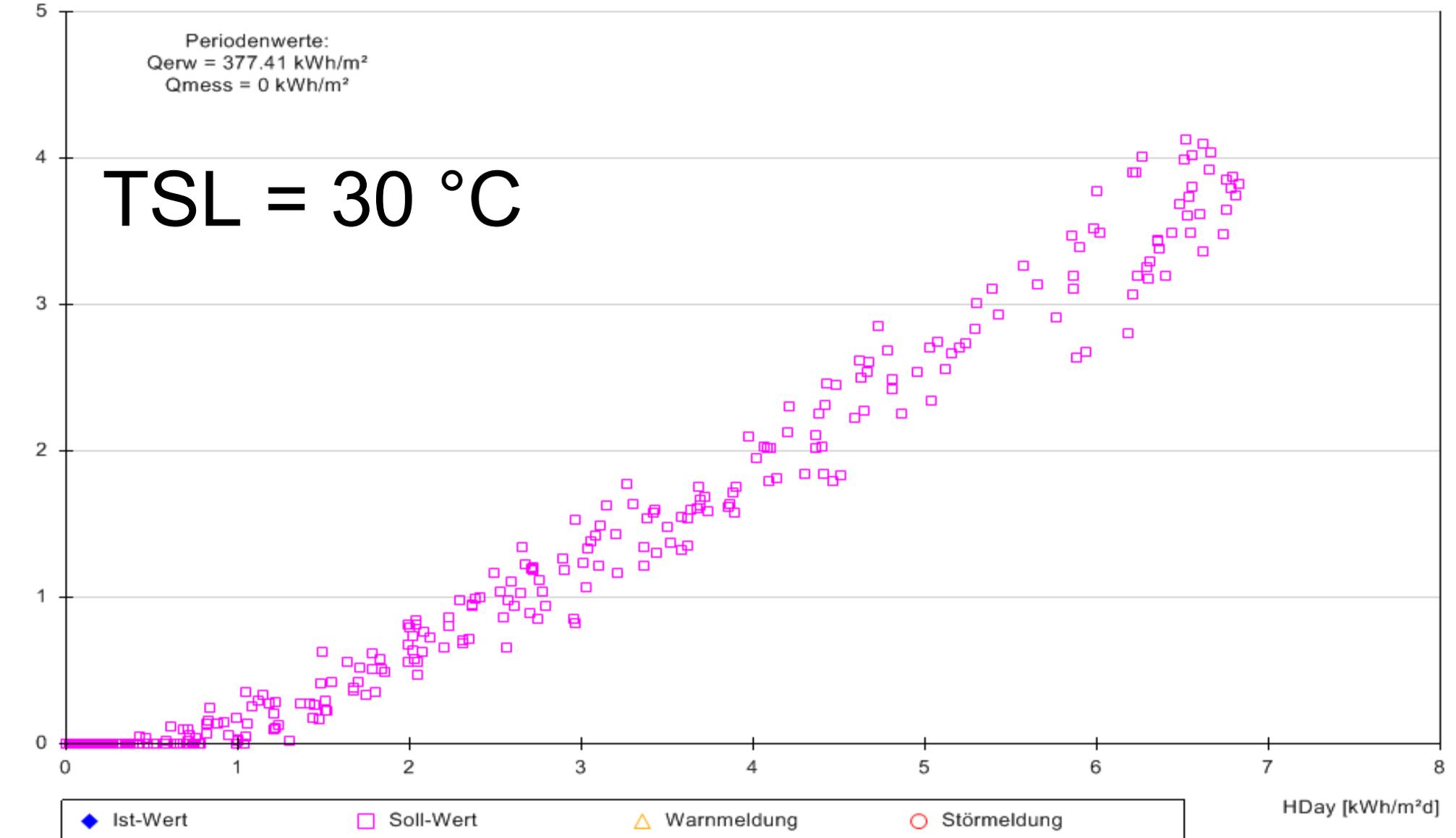
Anlage: Elsa-Brandströmstr. 2 Heimkeh

Datum der Auswertung:
03.10.2010 14:16:18
Anzahl der Tage: 323
Erster Tag: 01.11.2009
Letzter Tag: 30.09.2010

Q102 [kWh/m²d]

Periodenwerte:
Q_{erw} = 377.41 kWh/m²
Q_{mess} = 0 kWh/m²

TSL = 30 °C



Input-Output-Diagramm

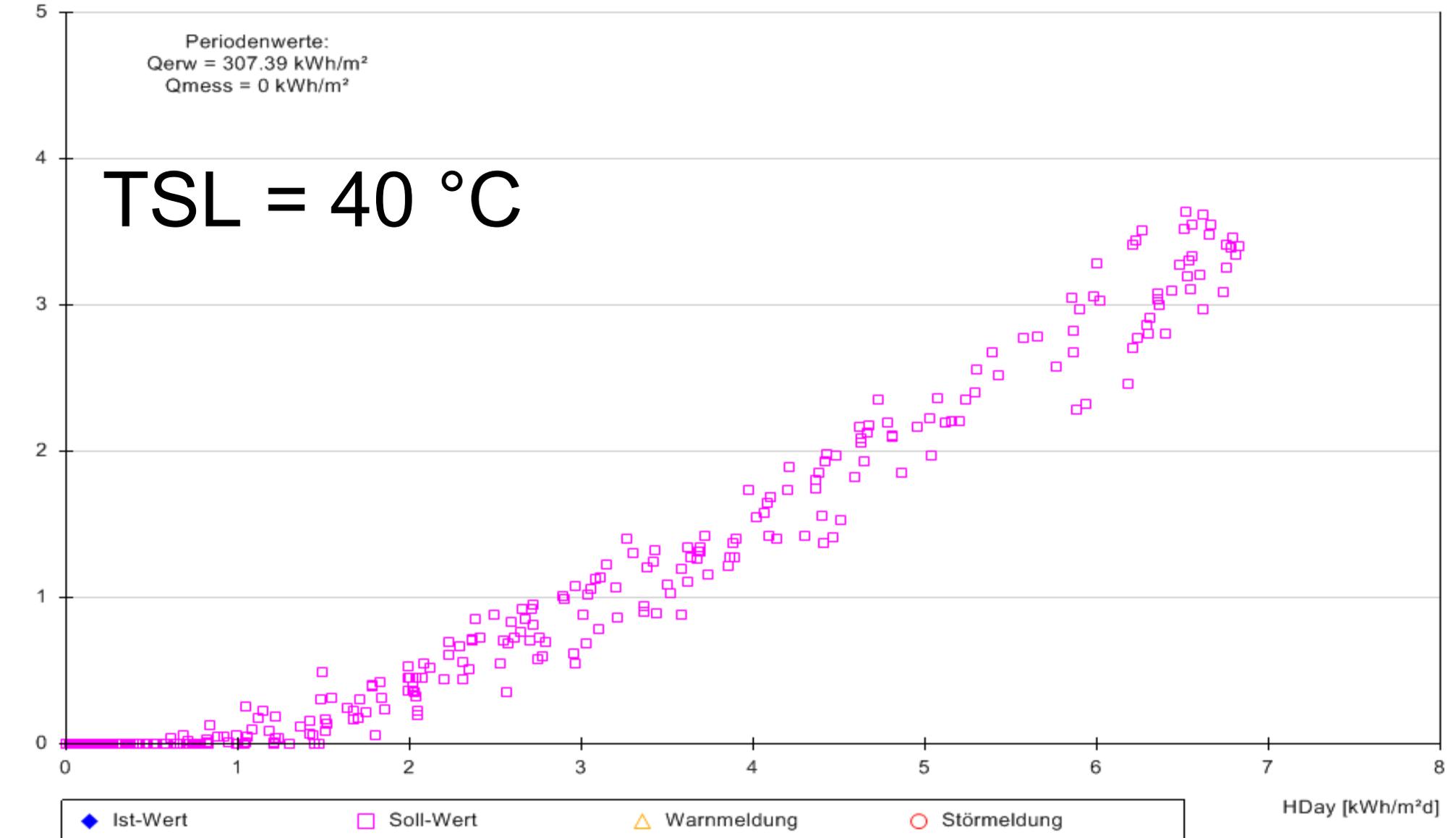
Anlage: Elsa-Brandströmstr. 2 Heimkeh

Datum der Auswertung:
03.10.2010 14:17:54
Anzahl der Tage: 323
Erster Tag: 01.11.2009
Letzter Tag: 30.09.2010

Q102 [kWh/m²d]

Periodenwerte:
Q_{erw} = 307.39 kWh/m²
Q_{mess} = 0 kWh/m²

TSL = 40 °C



Input-Output-Diagramm

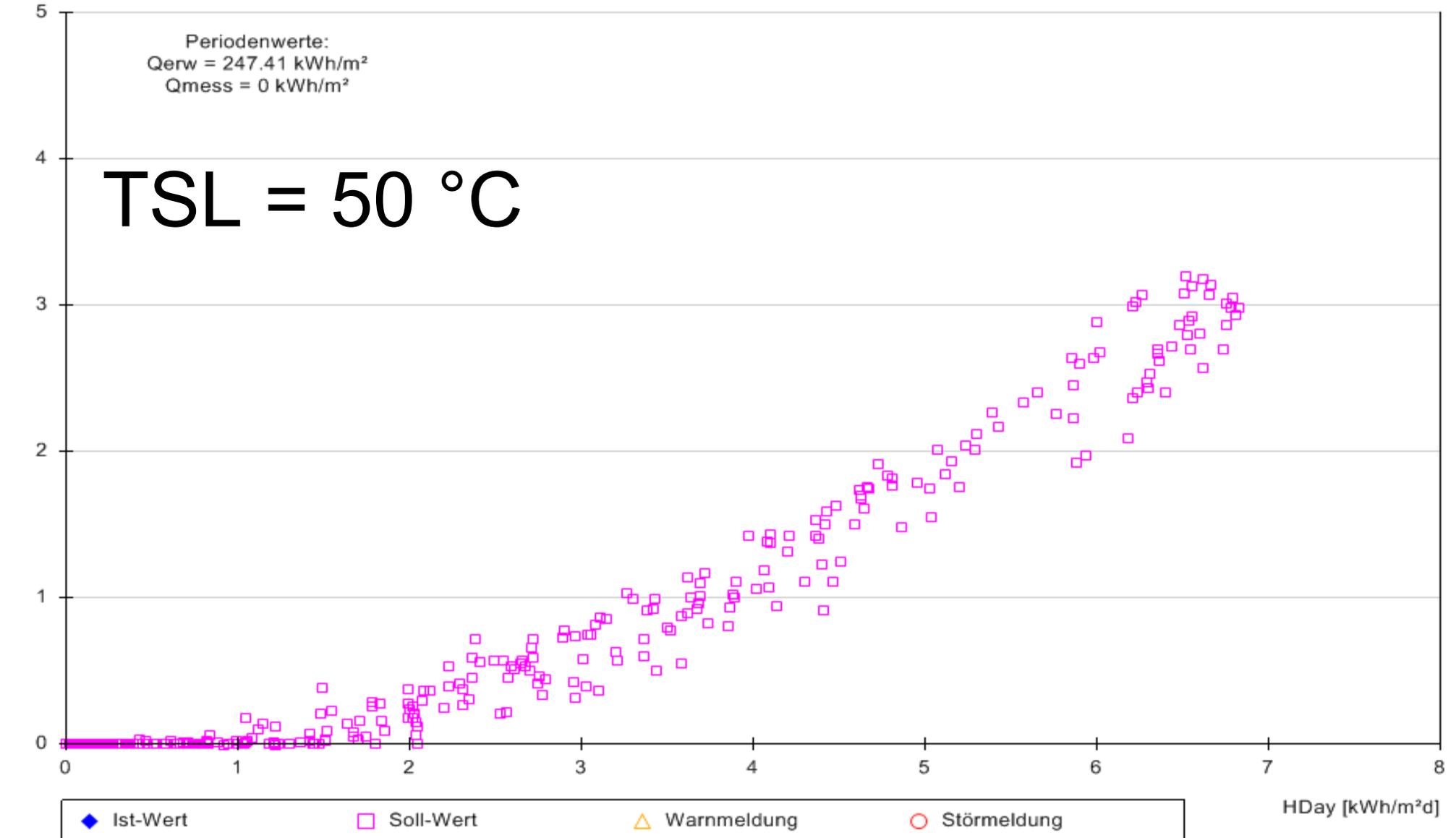
Anlage: Elsa-Brandströmstr. 2 Heimkeh

Datum der Auswertung:
03.10.2010 14:24:53
Anzahl der Tage: 323
Erster Tag: 01.11.2009
Letzter Tag: 30.09.2010

Q102 [kWh/m²d]

Periodenwerte:
Q_{erw} = 247.41 kWh/m²
Q_{mess} = 0 kWh/m²

TSL = 50 °C



Input-Output-Diagramm

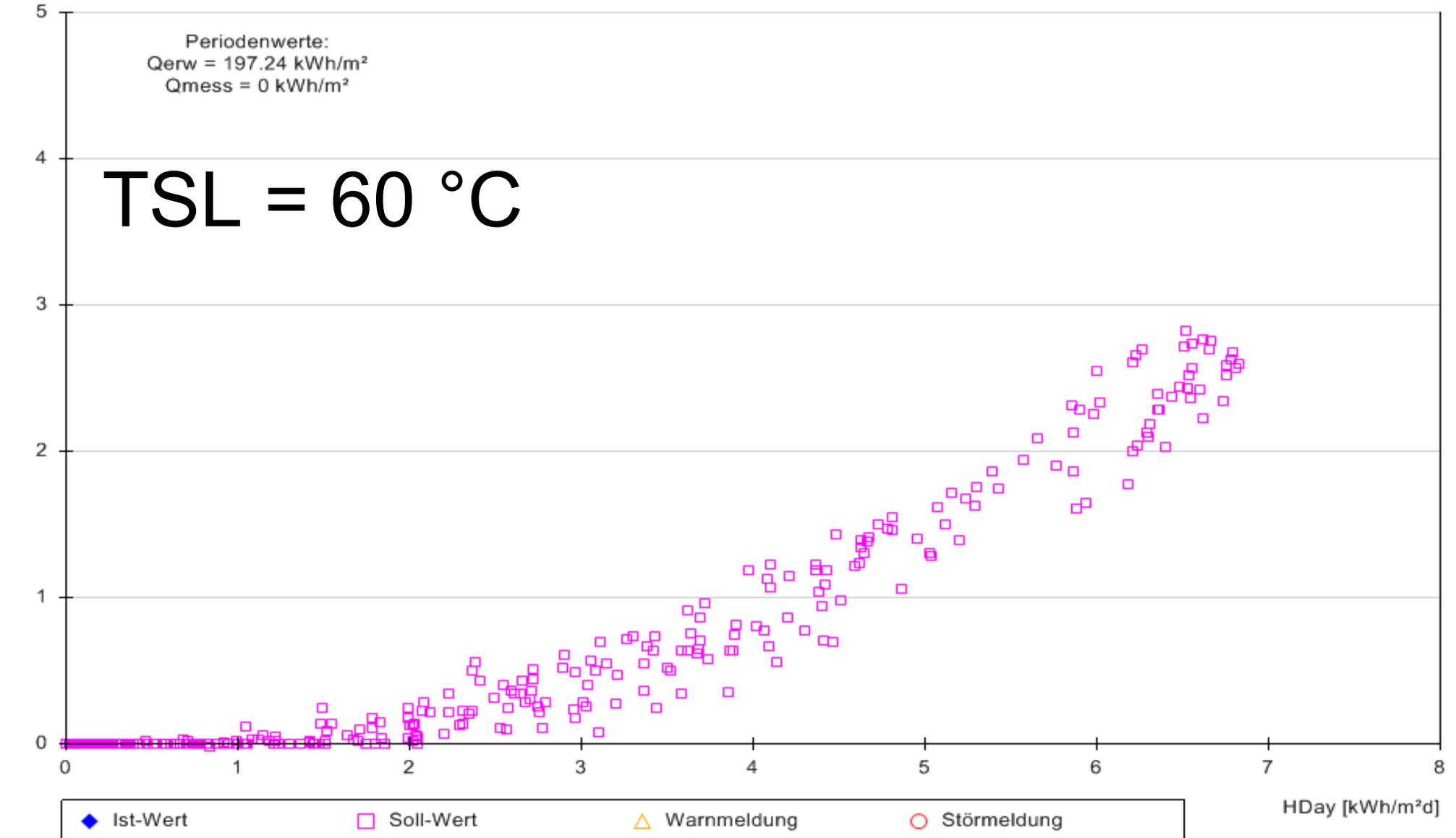
Anlage: Elsa-Brandströmstr. 2 Heimkeh

Datum der Auswertung:
03.10.2010 14:26:21
Anzahl der Tage: 323
Erster Tag: 01.11.2009
Letzter Tag: 30.09.2010

Q102 [kWh/m²d]

Periodenwerte:
Q_{erw} = 197.24 kWh/m²
Q_{mess} = 0 kWh/m²

TSL = 60 °C



Input-Output-Diagramm

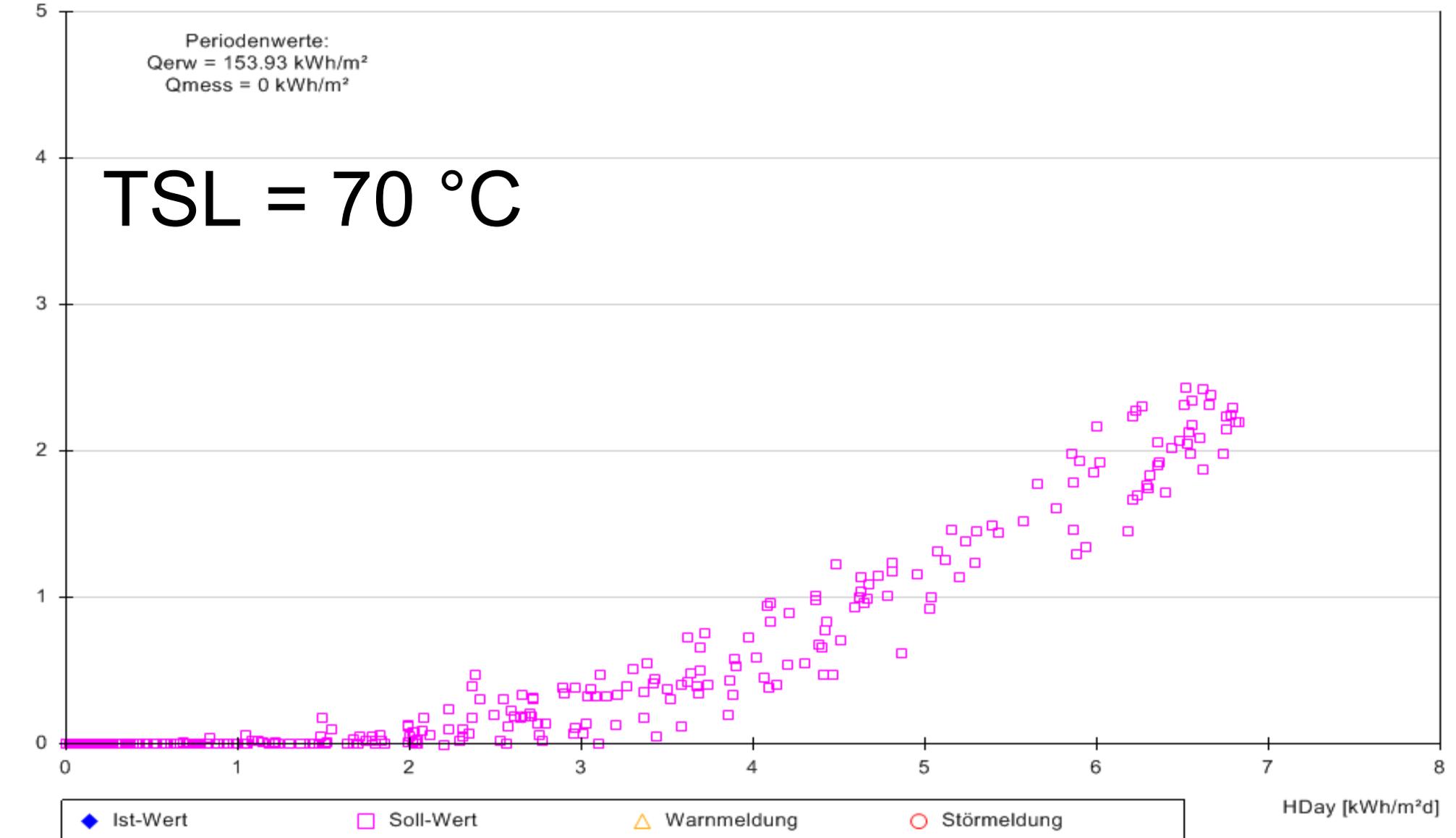
Anlage: Elsa-Brandströmstr. 2 Heimkeh

Datum der Auswertung:
03.10.2010 14:28:22
Anzahl der Tage: 323
Erster Tag: 01.11.2009
Letzter Tag: 30.09.2010

Q102 [kWh/m²d]

Periodenwerte:
Q_{erw} = 153.93 kWh/m²
Q_{mess} = 0 kWh/m²

TSL = 70 °C



Input-Output-Diagramm

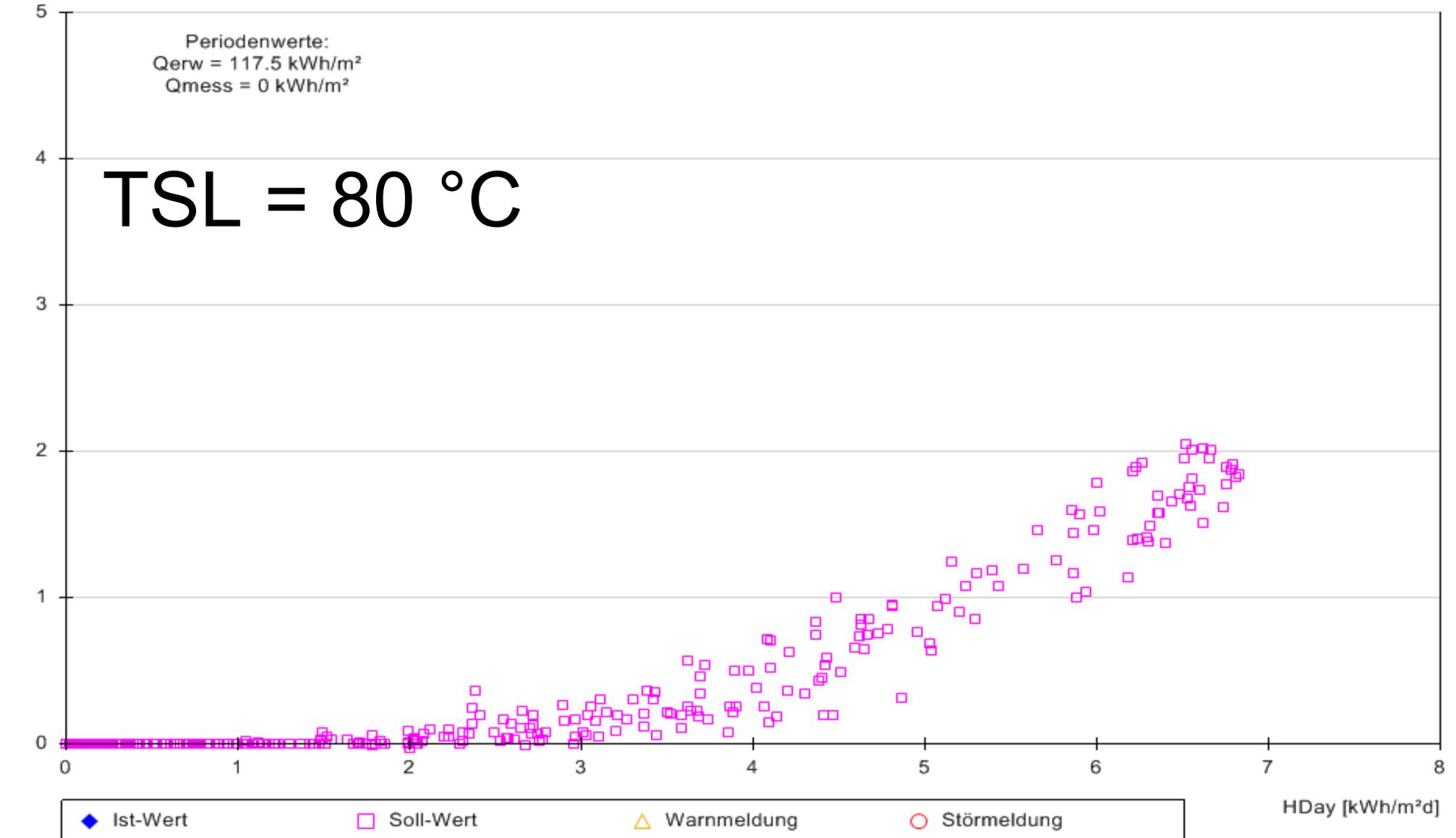
Anlage: Elsa-Brandströmstr. 2 Heimkeh

Datum der Auswertung:
03.10.2010 14:31:51
Anzahl der Tage: 323
Erster Tag: 01.11.2009
Letzter Tag: 30.09.2010

Q102 [kWh/m²d]

Periodenwerte:
Q_{erw} = 117.5 kWh/m²
Q_{mess} = 0 kWh/m²

TSL = 80 °C

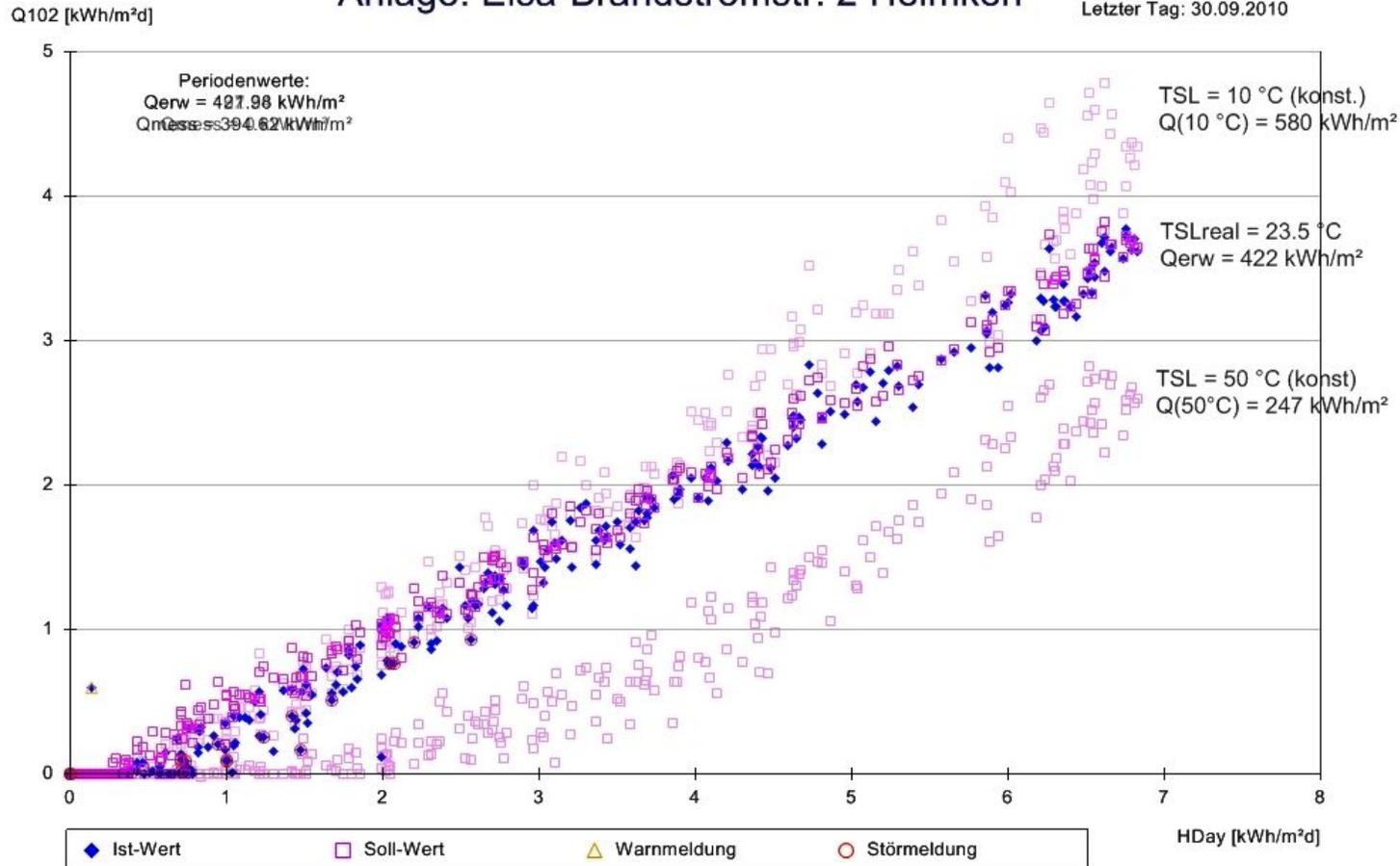


6. Beispiel: Optimierung der Pufferspeicherauskuhlung durch KW-Vorwärmbetrieb



Input-Output-Diagramm
Anlage: Elsa-Brandströmstr. 2 Heimkeh

Datum der Auswertung:
03.10.2010 16:26:29
Anzahl der Tage: 323
Erster Tag: 01.11.2009
Letzter Tag: 30.09.2010



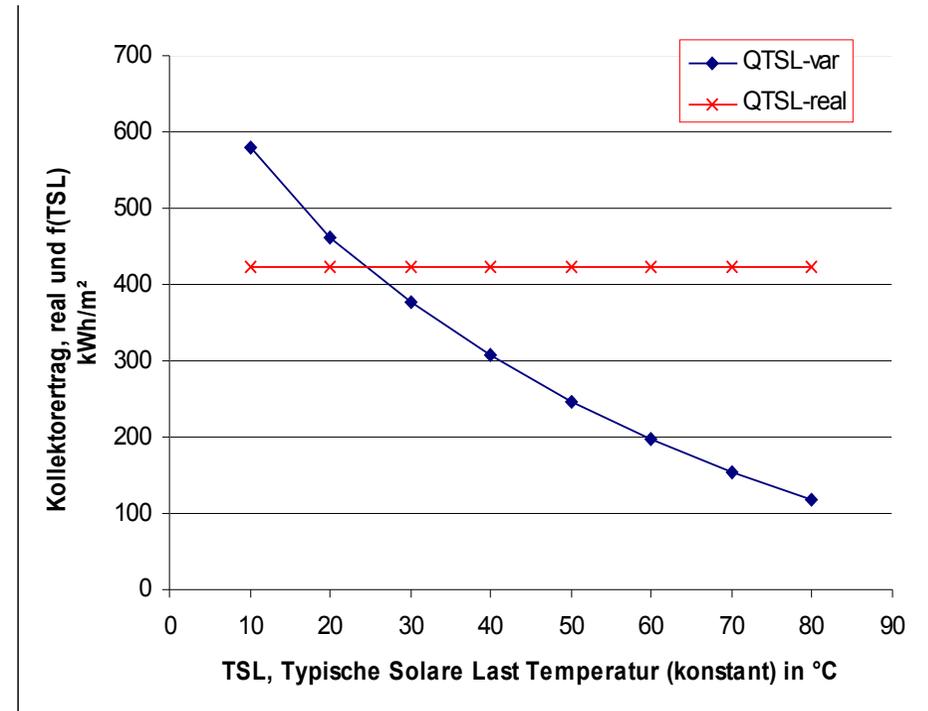
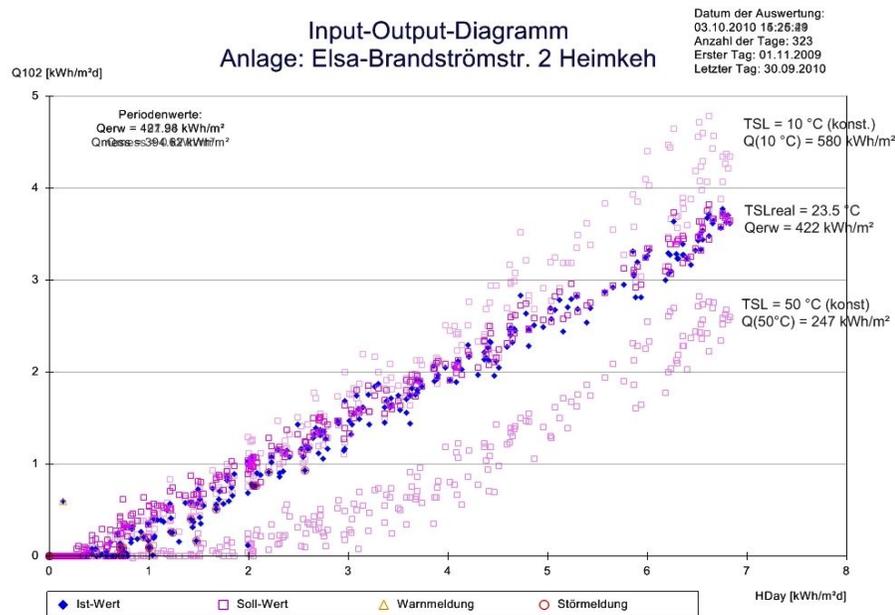
6. Beispiel: Optimierung der Pufferspeicheraus Kühlung durch KW-Vorwärmbetrieb



ELSA_Brandströmstr. Nov. 2009 - Sept. 2010

Einfluß der TSL auf den Solarertrag

Abhängigkeit des Solarertrags von der TSL zwischen 10 °C und 80 °C



7. Beispiel für Effizienz-Verbesserungen...



- Fehlanpassung des Heizkesselvolumenstromes bewirkt Durchmischung des Pufferspeichers
- Vertauschung von Vor- und Rücklauf im Kollektorkreislauf
- Thermosiphon-Fehlzirkulation im Kollektorkreislauf
- Kollektorpumpe schaltet nicht ein oder zu spät ein
- Abschalten der Solarkreisläufe bei hoher Bestrahlungsstärke
- Optimierung der Pufferspeicherauskuhlung durch KW-Vorwärmbetrieb
- **zu kleiner Wärmetauscher im Kollektorkreislauf**
- Rücklauf der Raumheizung strömt durch den WW-Nachheiz-WT
- Fehlzirkulation der Kesselpumpe durch den Kombianlagen-Pufferspeicher

7. Beispiel für Effizienz-Verbesserungen...



- **zu kleiner Wärmetauscher im Kollektorkreislauf**
- **Auslegungsempfehlung nach VDI-6002 (Zitat):**
- *„Bei guter Einstrahlung von ca. 800 W/m^2 auf das Kollektorfeld werden im Mittel der Betriebsbedingungen (mittlere Systemtemperatur) etwa 500 W Wärme pro m^2 Kollektorfläche erzeugt.*
- *Bei dieser Leistung soll die mittlere log. Temperaturdifferenz am Wärmeübertrager den Wert von 5 K nicht übersteigen.*
- **Die spezifische Leistung des Wärmeübertragers (je m^2 Kollektorfläche) beträgt dann $100 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$.**
- *Diese Auslegung hat sich bei großen Anlagen bezüglich des Nutzen/Kosten-Verhältnisses in der Praxis bewährt.“*
- **Bei $A_{\text{Kol}} = 21.5 \text{ m}^2$: $k_{\text{WT}} = 2200 \text{ W} / \text{K}$**

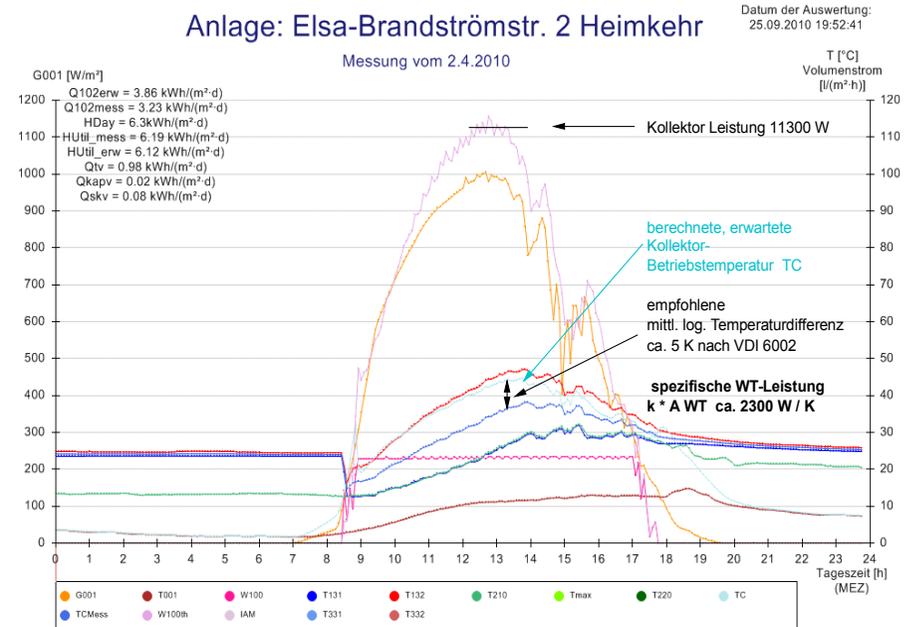
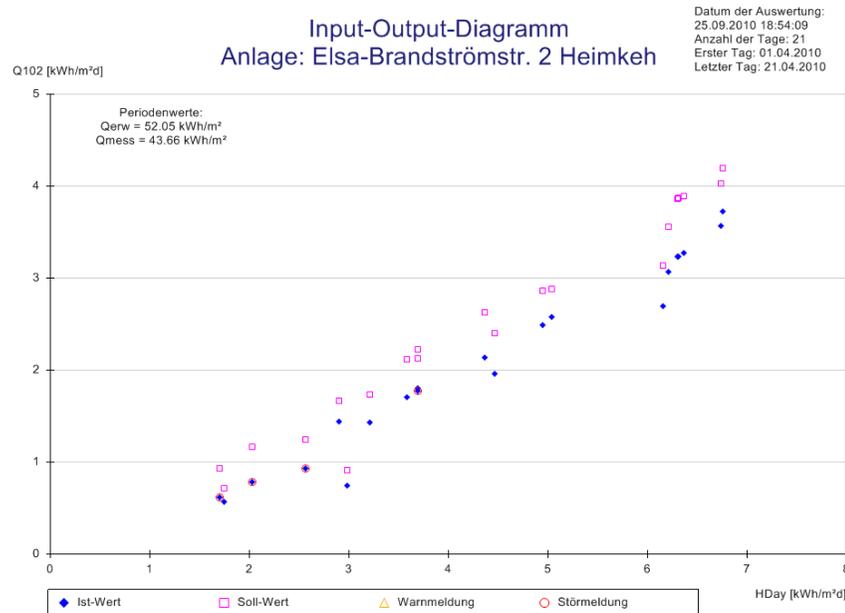
7. Beispiel

zu kleiner Wärmetauscher im Kollektorkreislauf



In April 2010: 16 % Minderertrag gegenüber WT-Auslegung nach VDI 6002

Bei WT-Auslegung nach VDI 6002: 5 K zw. Kollektor- und Beladekreislau bei Kollektorleistung 11.3 kW entspricht $k_{wt} * A = 2260 \text{ W/K}$

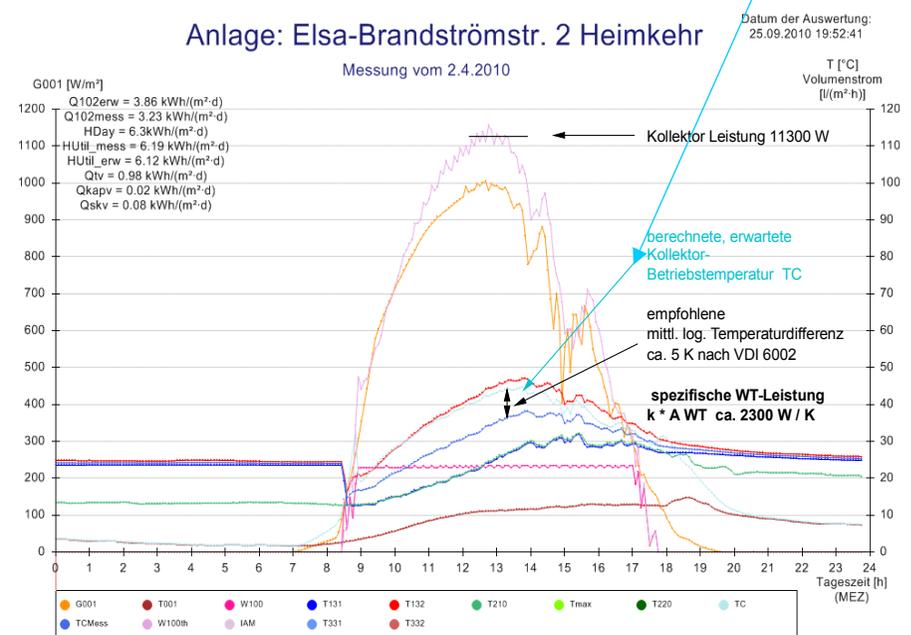
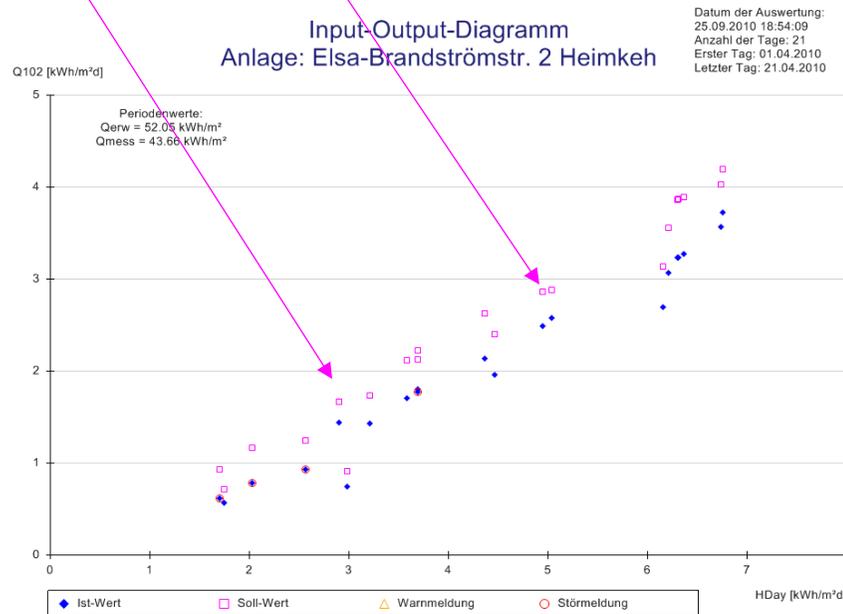


7. Beispiel

zu kleiner Wärmetauscher im Kollektorkreislauf



Die erwartete Erträge werden berechnet mit der erwarteten Koll-Betriebstemperatur TC



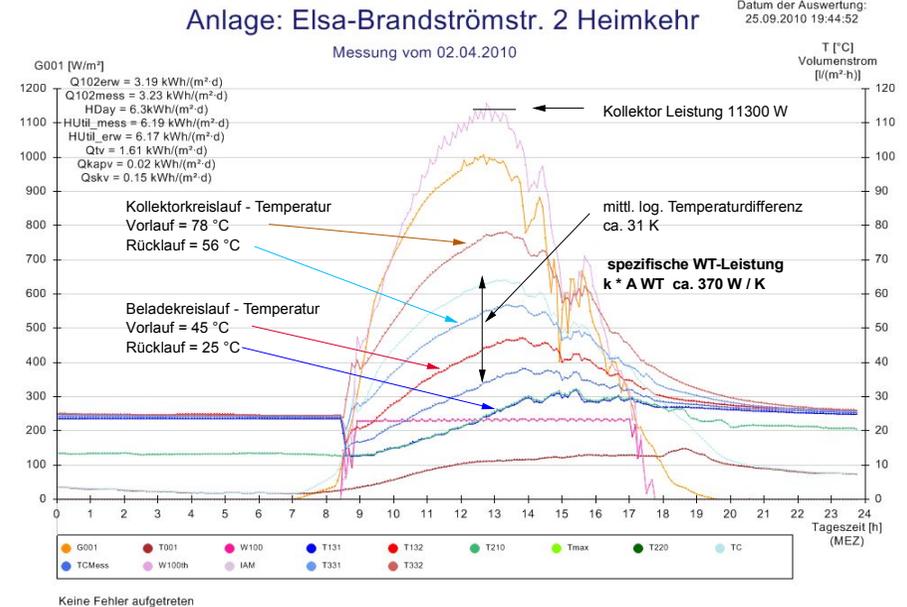
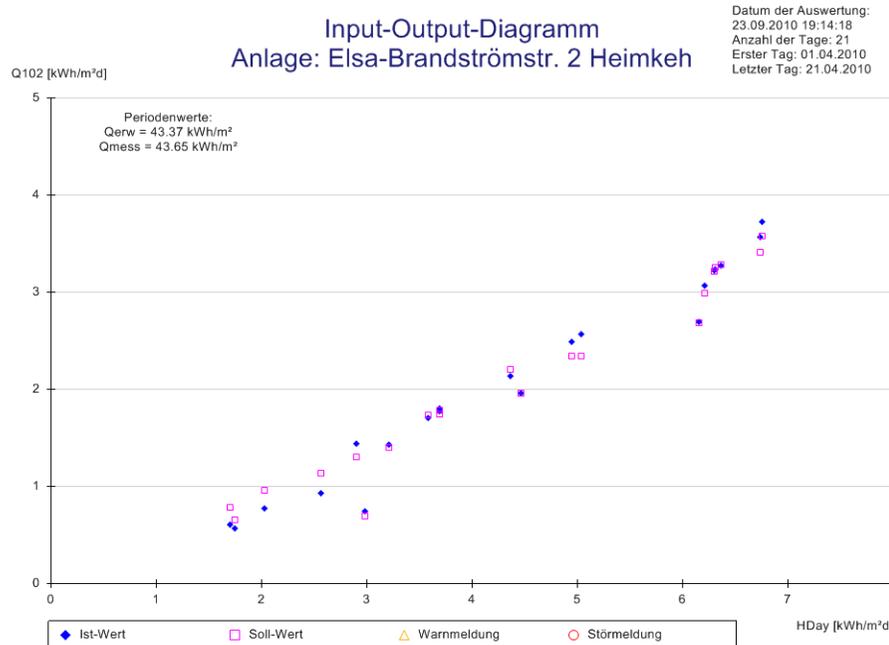
7. Beispiel

zu kleiner Wärmetauscher im Kollektorkreislauf



Parametervariation für April 2010
ergibt im Mittel: $k \cdot A = 450 \text{ W/K}$

Beispiel 02.04.10: $\Delta T_{\text{log}} = 31 \text{ K}$ zw.
Kollektor- und Beladekreislauf
bei Kollektorleistung 11300 W ergibt
 $k \cdot A = 370 \text{ W/K}$



7. Beispiel

zu kleiner Wärmetauscher im Kollektorkreislauf



WT-Datenblatt SWT 6:

Kennwerte für Fluid = Wasser :

$$7 \text{ kW} / (39 - 26 \text{ K}) = 538 \text{ W/K}$$

$$7 \text{ kW} / (\Delta T_{\text{log}} 11.9 \text{ K}) = 590 \text{ W/K}$$

Kennwerte für Fluid = Wasser/Glycol: ??

Beispiel 02.04.10: $\Delta T_{\text{log}} = 31 \text{ K}$ zw. Kollektor- und Beladekreislauf bei Kollektorleistung 11300 W ergibt $k \cdot A = 370 \text{ W/K}$

Schwimmbad-Wärmetauscher		SWT6	SWT10	
Länge	L	mm	208	208
Breite	B	mm	78	78
Tiefe	T	mm	55	79
Max. Anzahl der Kollektoren			6	10
Anschlüsse	Vorlauf (V) und Rücklauf (R)	Zoll	G $\frac{3}{4}$ (außen)	G $\frac{3}{4}$ (außen)
Max. Betriebsdruck		bar	30	30
Druckverlust Sekundärseite bei einem Volumenstrom		mbar	160	210
Gewicht (netto rund)		kg	1,9	2,5
Wärmetauscherleistung bei Temperaturen	primärseitig	kW	7	12
	sekundärseitig	°C	48/31	48/31
		°C	24/28	24/28

56/3 Technische Daten der Schwimmbad-Wärmetauscher SWT6 und SWT10

Neuer WT SWT 10:

Kennwerte für Fluid = Wasser :

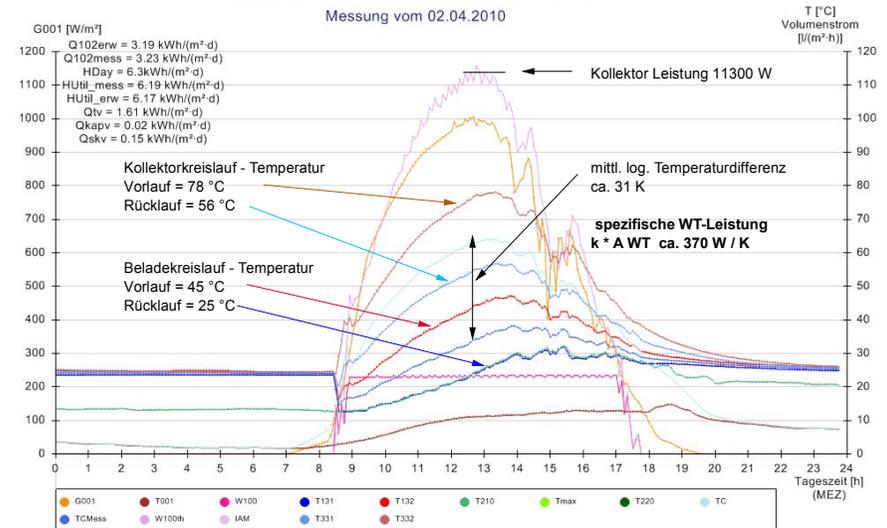
$$12 \text{ kW} / (39 - 26 \text{ K}) = 923 \text{ W/K}$$

$$12 \text{ kW} / (\Delta T_{\text{log}} 11.9 \text{ K}) = 1008 \text{ W/K}$$

Institut für Solarenergieforschung
 Kennwerte für Fluid = Wasser/Glycol: ??
 Hameln

Anlage: Elsa-Brandströmstr. 2 Heimkehr

Datum der Auswertung: 25.09.2010 19:44:52



Keine Fehler aufgetreten

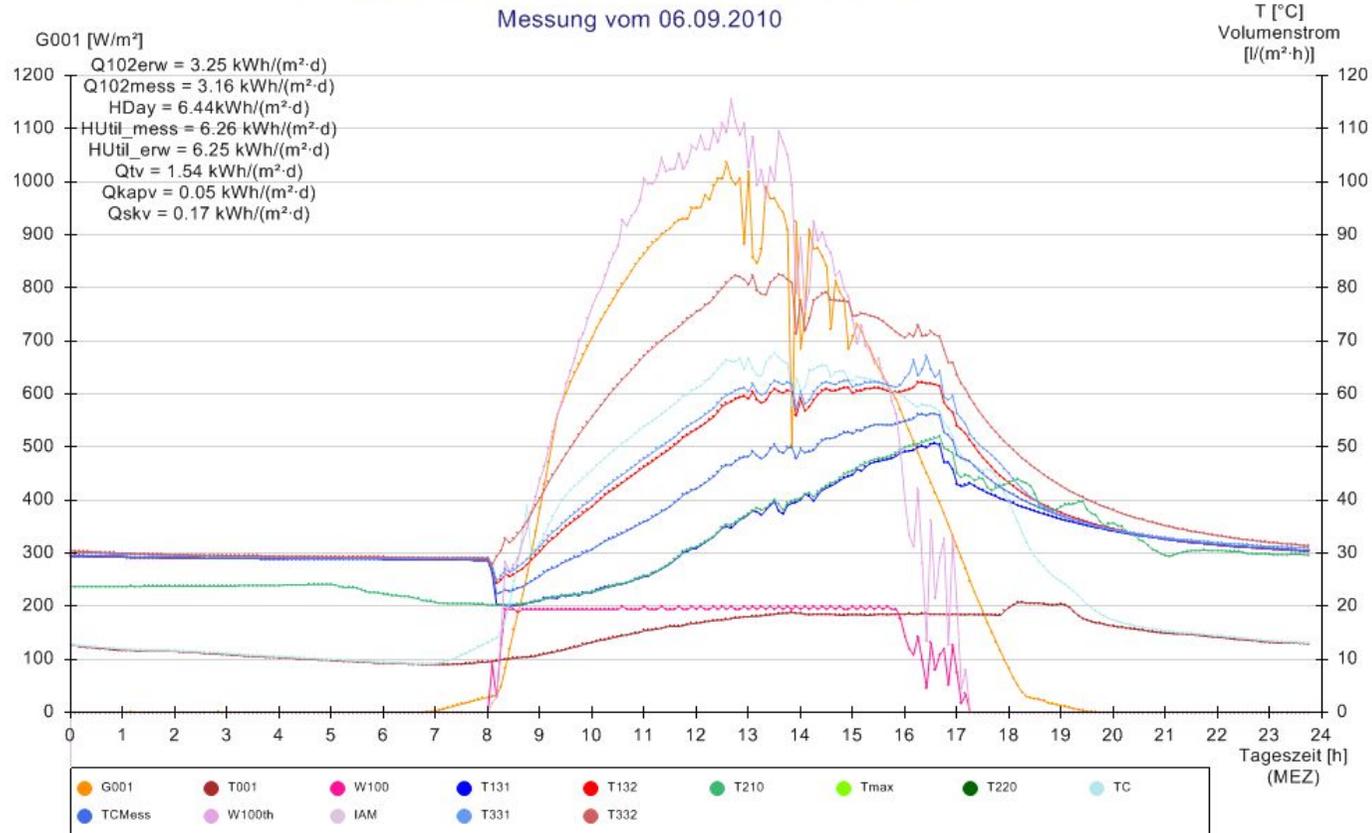
7. Beispiel

NEUER Wärmetauscher im Kollektorkreislauf



Anlage: Elsa-Brandströmstr. 2 Heimkehr

Datum der Auswertung:
25.09.2010 20:49:55



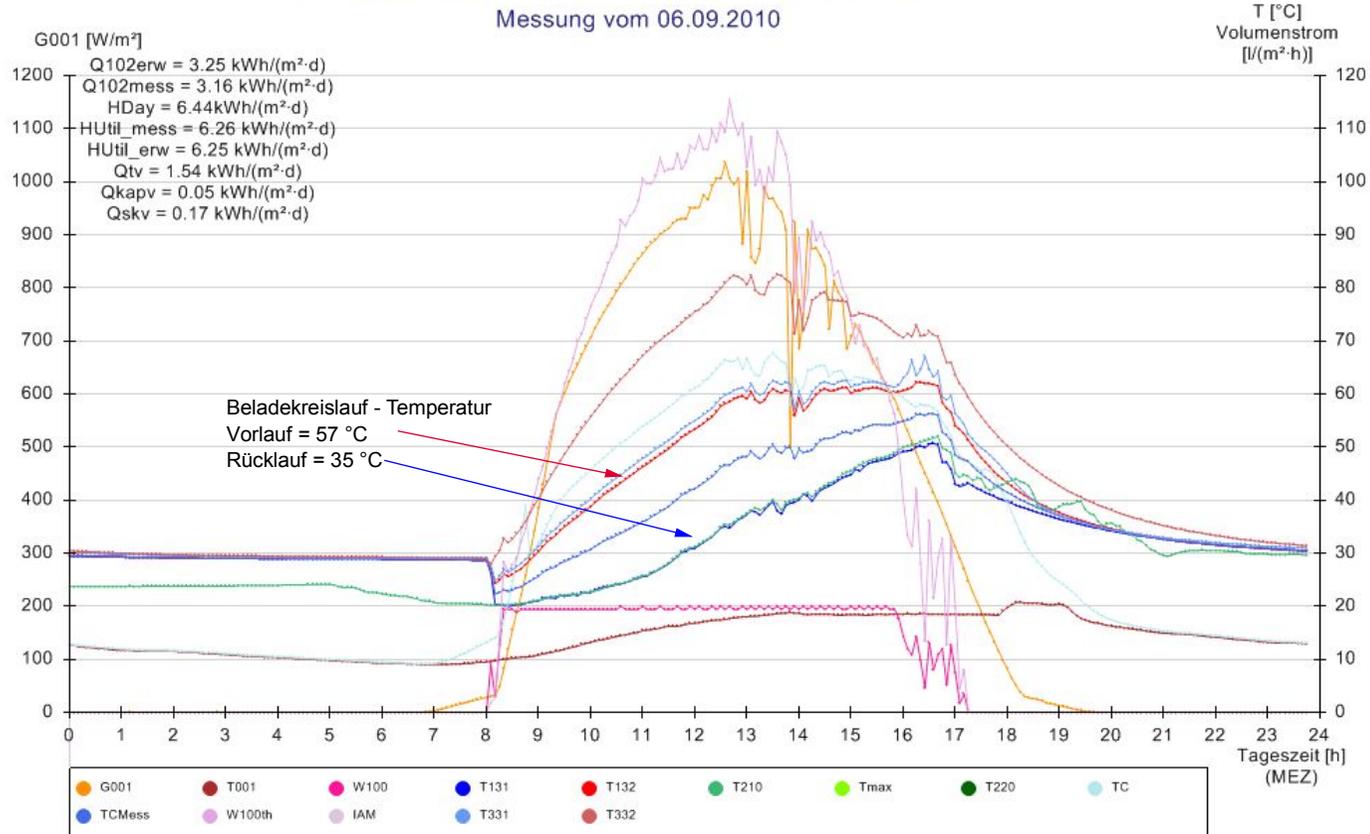
7. Beispiel

NEUER Wärmetauscher im Kollektorkreislauf



Anlage: Elsa-Brandströmstr. 2 Heimkehr

Datum der Auswertung:
25.09.2010 20:49:55



Keine Fehler aufgetreten

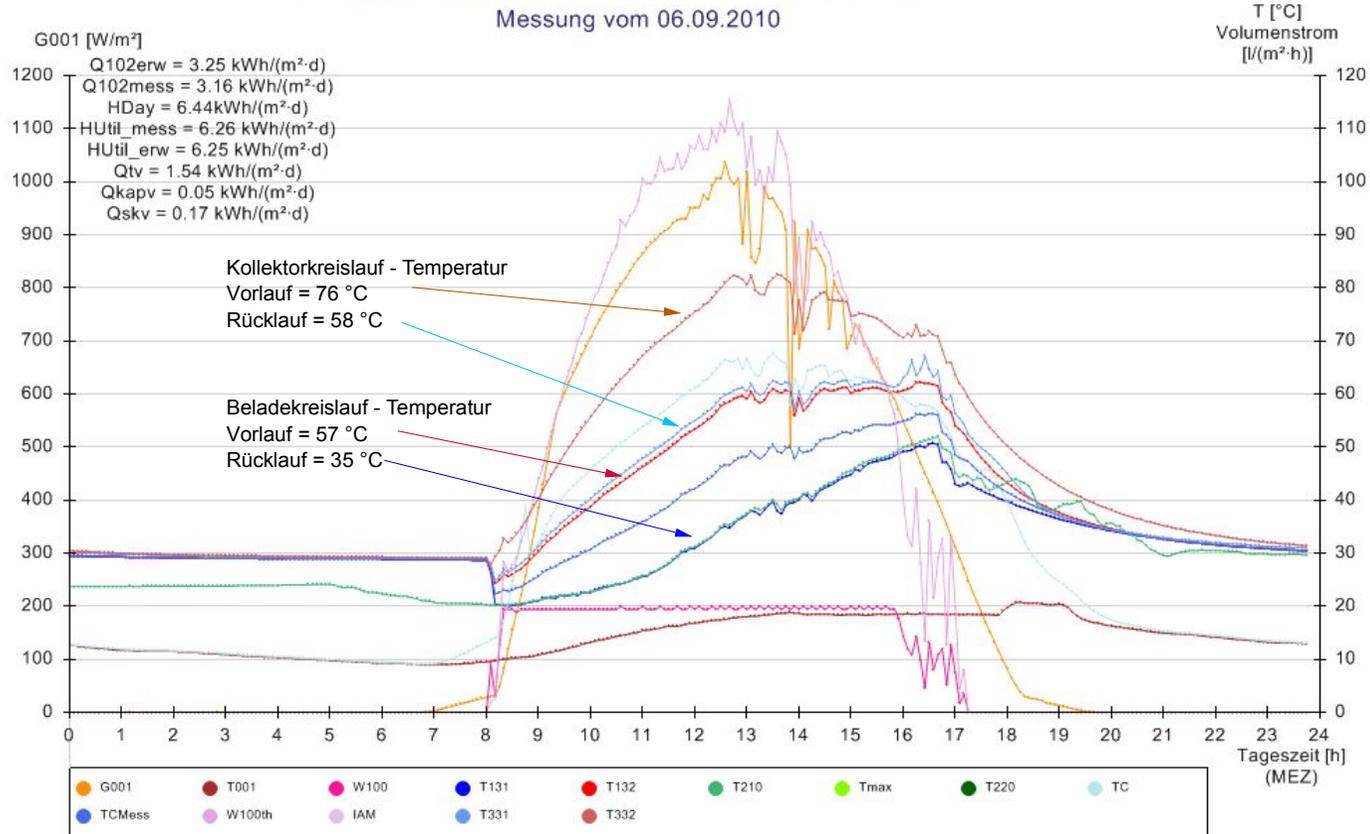
7. Beispiel

NEUER Wärmetauscher im Kollektorkreislauf



Anlage: Elsa-Brandströmstr. 2 Heimkehr

Datum der Auswertung:
25.09.2010 20:49:55



Keine Fehler aufgetreten

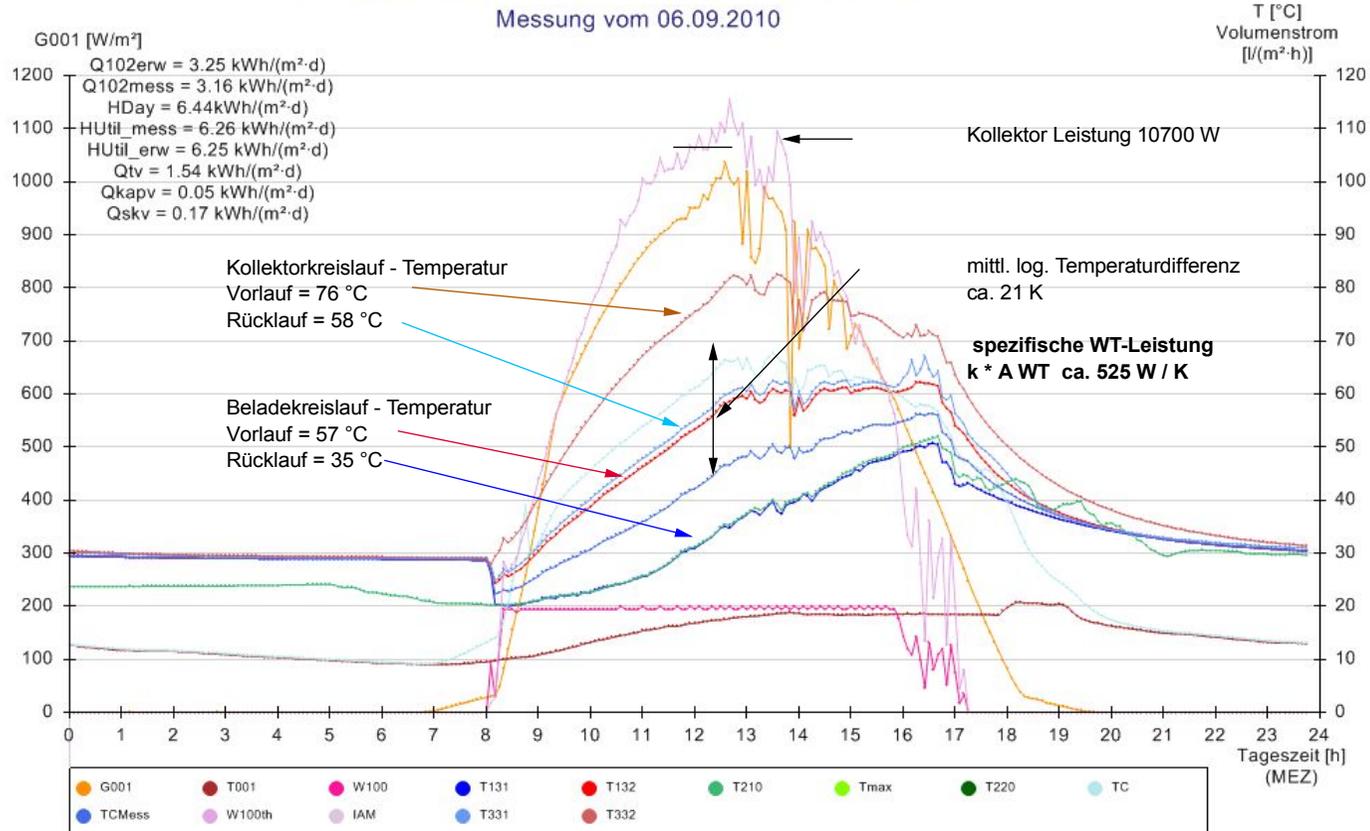
7. Beispiel

NEUER Wärmetauscher im Kollektorkreislauf



Anlage: Elsa-Brandströmstr. 2 Heimkehr

Datum der Auswertung:
25.09.2010 20:49:55



Keine Fehler aufgetreten

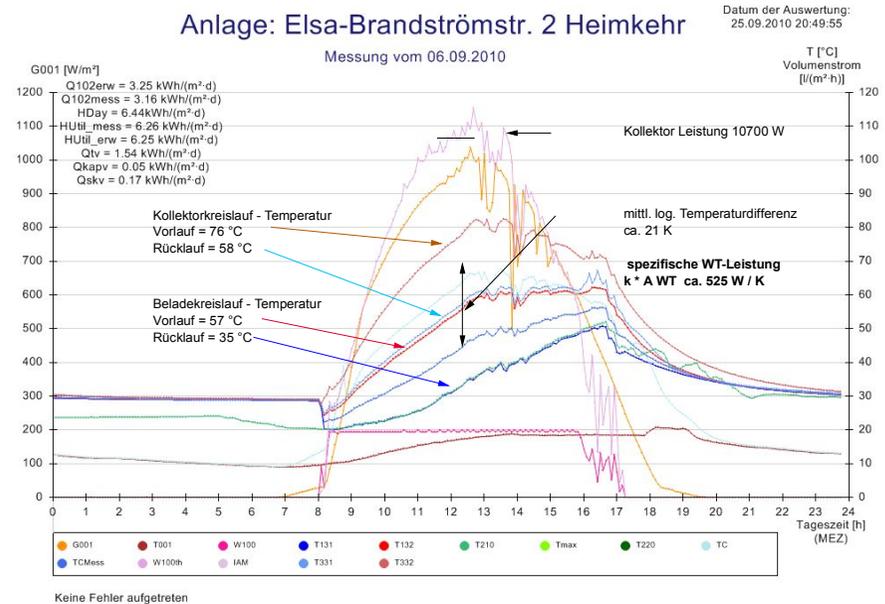
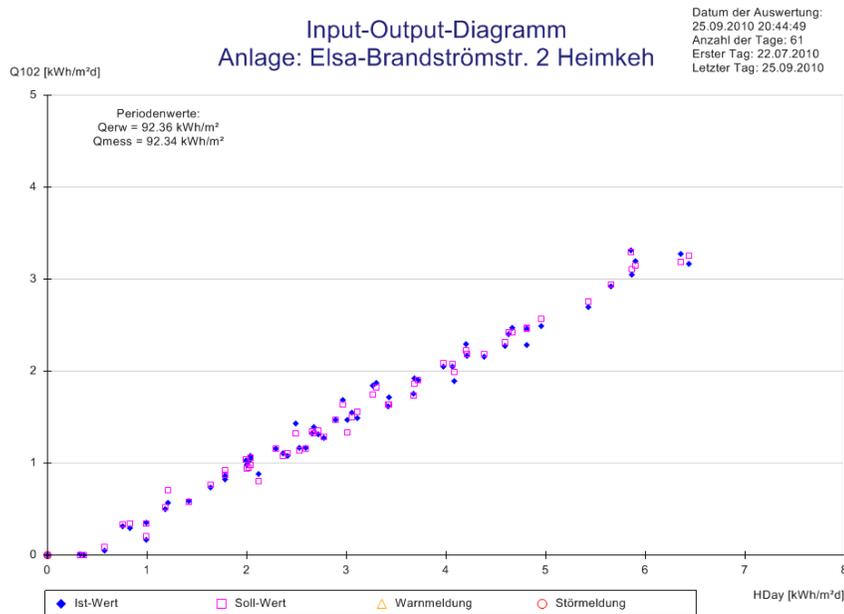
7. Beispiel

NEUER Wärmetauscher im Kollektorkreislauf in Juli 2010



Neue Parametervariation für 61 Tage nach dem Umbau ergibt im Mittel: $k \cdot A$ -Wert = 643 W/K

Beispiel 06.09.10: $\Delta T_{log} = 21$ K zw. Kollektor- und Beladekreislauf bei Kollektorleistung 10700 W ergibt $k \cdot A = 525$ W/K



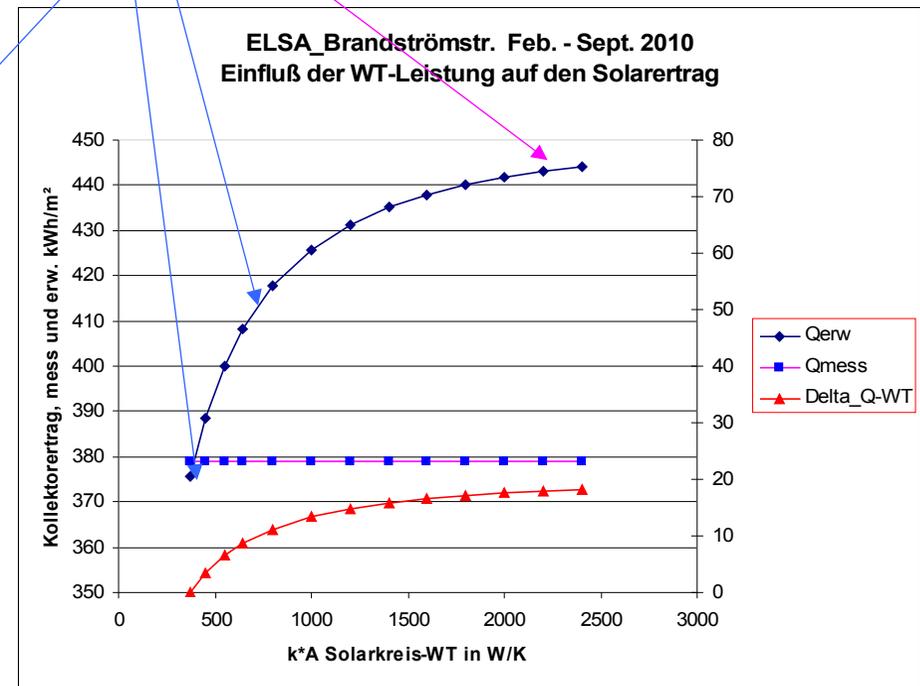
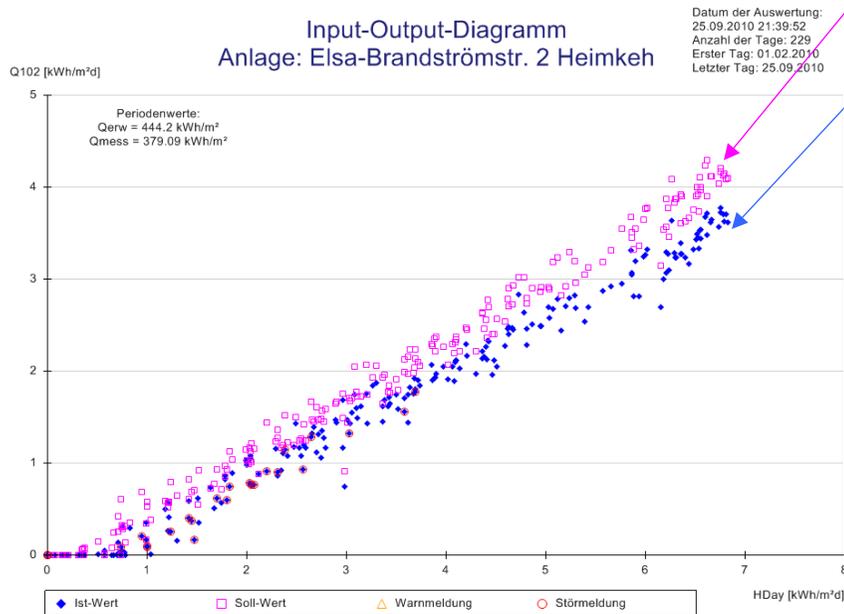
7. Beispiel

Einfluss des Wärmetauschers im Kollektorkreislauf



Feb.-Sept.2010: 17.2 % Minderertrag gegenüber WT-Auslegung nach VDI 6002

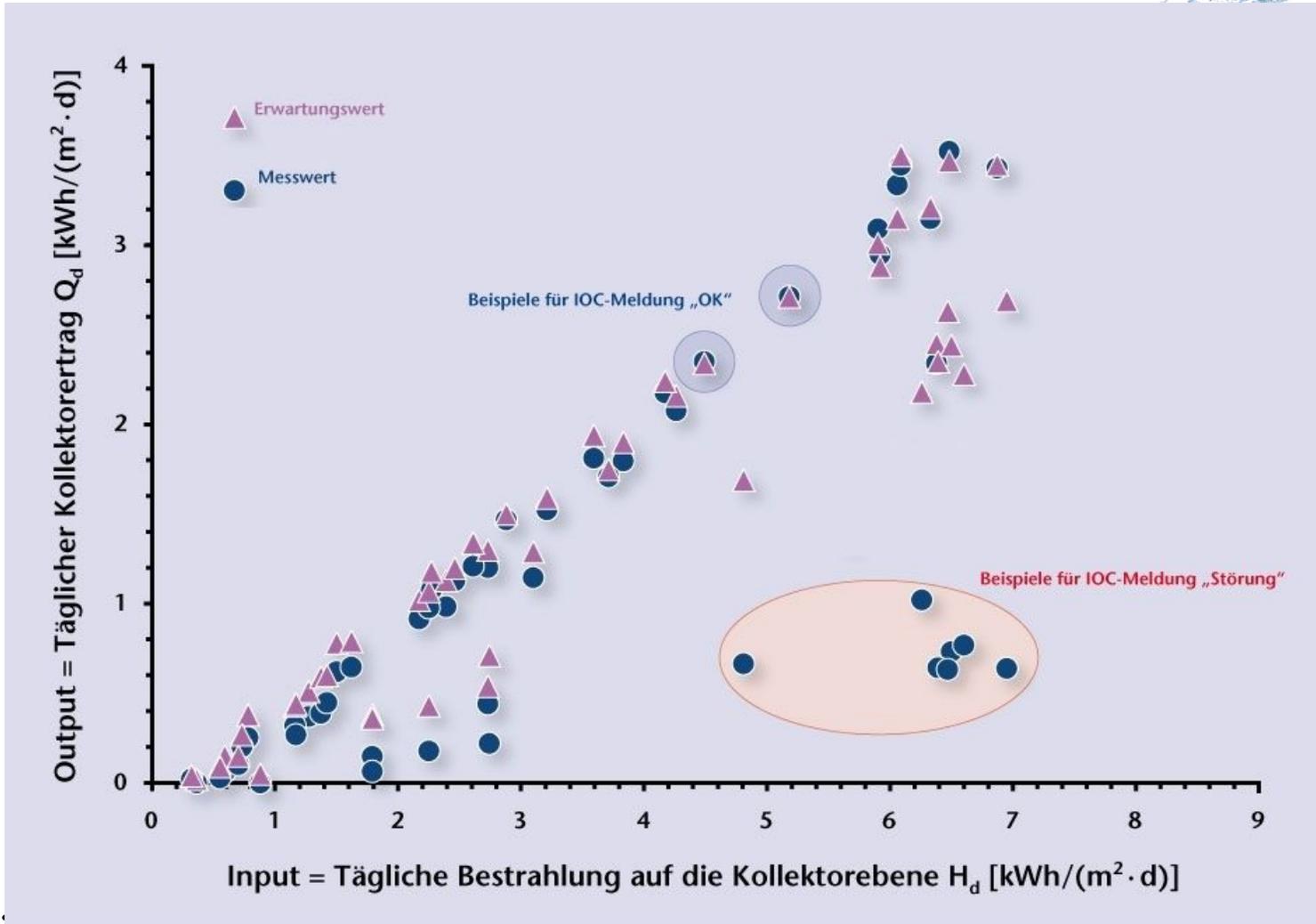
VDI-Empfehlung 2300 W/K
neuer WT ab Juli 2010 ca. 643 W/K
erster WT bis Juli 2010 ca. 370 W/K



Einfluß der spezifischen Wärmetauscher-Übertragungsleistung auf den solaren Ertrag

Institut für Solarenergieforschung
Hameln

Heute: automatischer Vergleich von Erwartungswert und Messwert



Allgemeine Differentialgleichung für Kollektorkreislauf

$$(C_K + C_R \cdot ON) \cdot \frac{d\overline{\vartheta}_{KK}}{dt} = \eta_0 \cdot K_{\theta, g} \cdot G_g - (k_{eff} + k_R \cdot ON) \cdot (\overline{\vartheta}_{KK} - \vartheta_a) - k'_{WT} \cdot (\overline{\vartheta}_{KK} - \vartheta_{TSL}) \cdot ON$$

$$ON = \begin{cases} 1 & \forall (\overline{\vartheta}_{KK} > \vartheta_{TSL}) \wedge (\vartheta_{Tmax} < T_{max, Last}) \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

- **Modell ist von etwa 40 Anlagenparametern abhängig, die alle in einem gut dokumentierten Planungsprozess bekannt sind !**
- **Modell ist analytisch lösbar und für viele Systemvarianten anwendbar.**

Institut für Solarenergieforschung
Hameln

Integration über der erwarteten Betriebsdauer,
also wenn ON=1

$$Q_{erw} = \underbrace{\eta_0 \cdot \int_{t_{Start}}^{t_{Stop}} K_{\theta, g} \cdot G_g dt}_{\text{absorbierte nutzbare Bestrahlung}} - \underbrace{\int_{t_{Start}}^{t_{Stop}} k_{ges}(\overline{\vartheta_{KK}}, \vartheta_a) \cdot (\overline{\vartheta_{KK}} - \vartheta_a) dt}_{\text{thermische Verluste im Betrieb}} - \underbrace{(C_K + C_R) \cdot \left(\overline{\vartheta_{KK}^{Stop}} - \overline{\vartheta_{KK}^{Start}} \right)}_{\text{kapazitive Verluste}}$$

absorbierte nutzbare
Bestrahlung

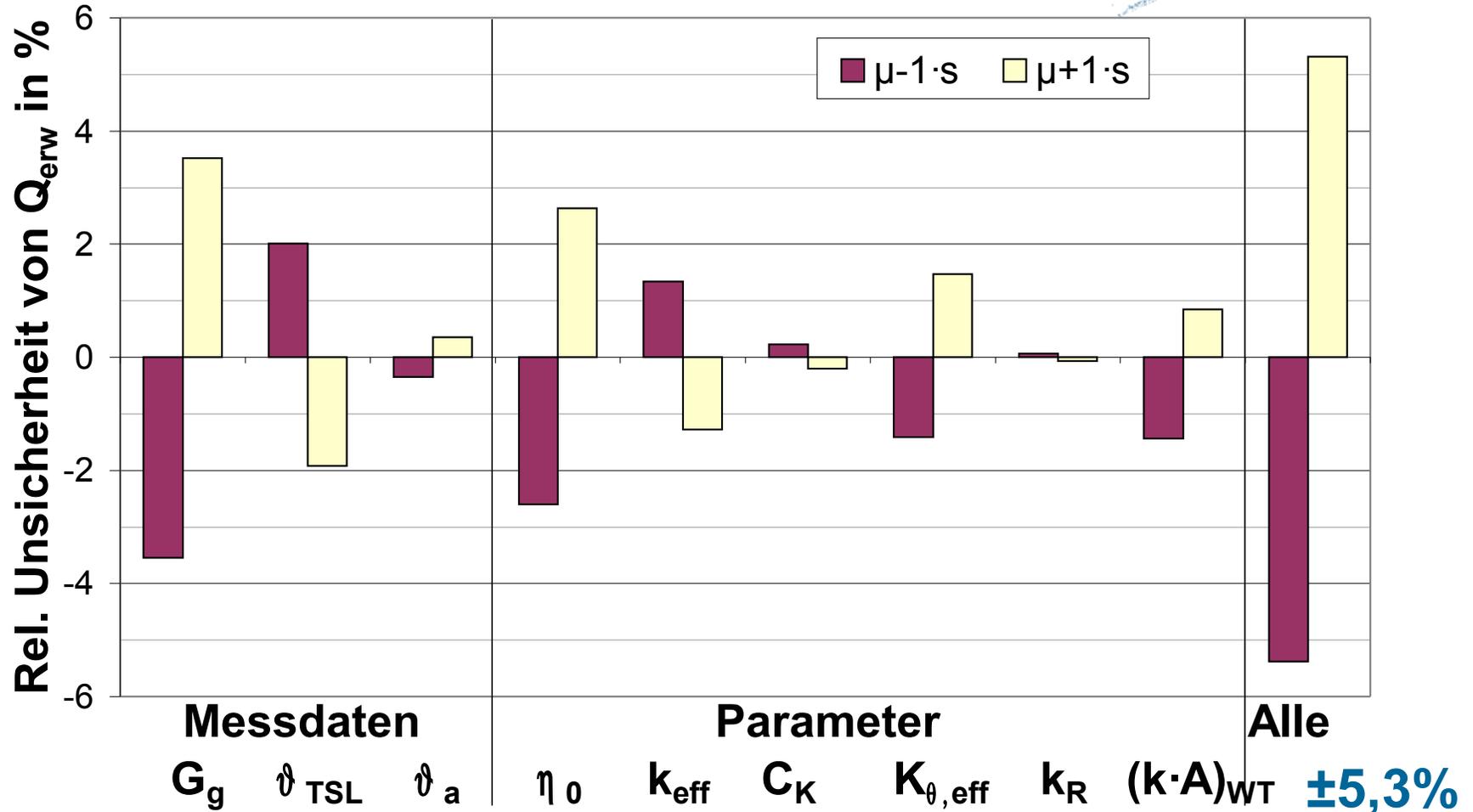
thermische Verluste
im Betrieb

kapazitive Verluste

$$Q_{erw} = \eta_0 \cdot K_{\theta, eff} \cdot H_{util} - Q_{th} - Q_{kap}$$

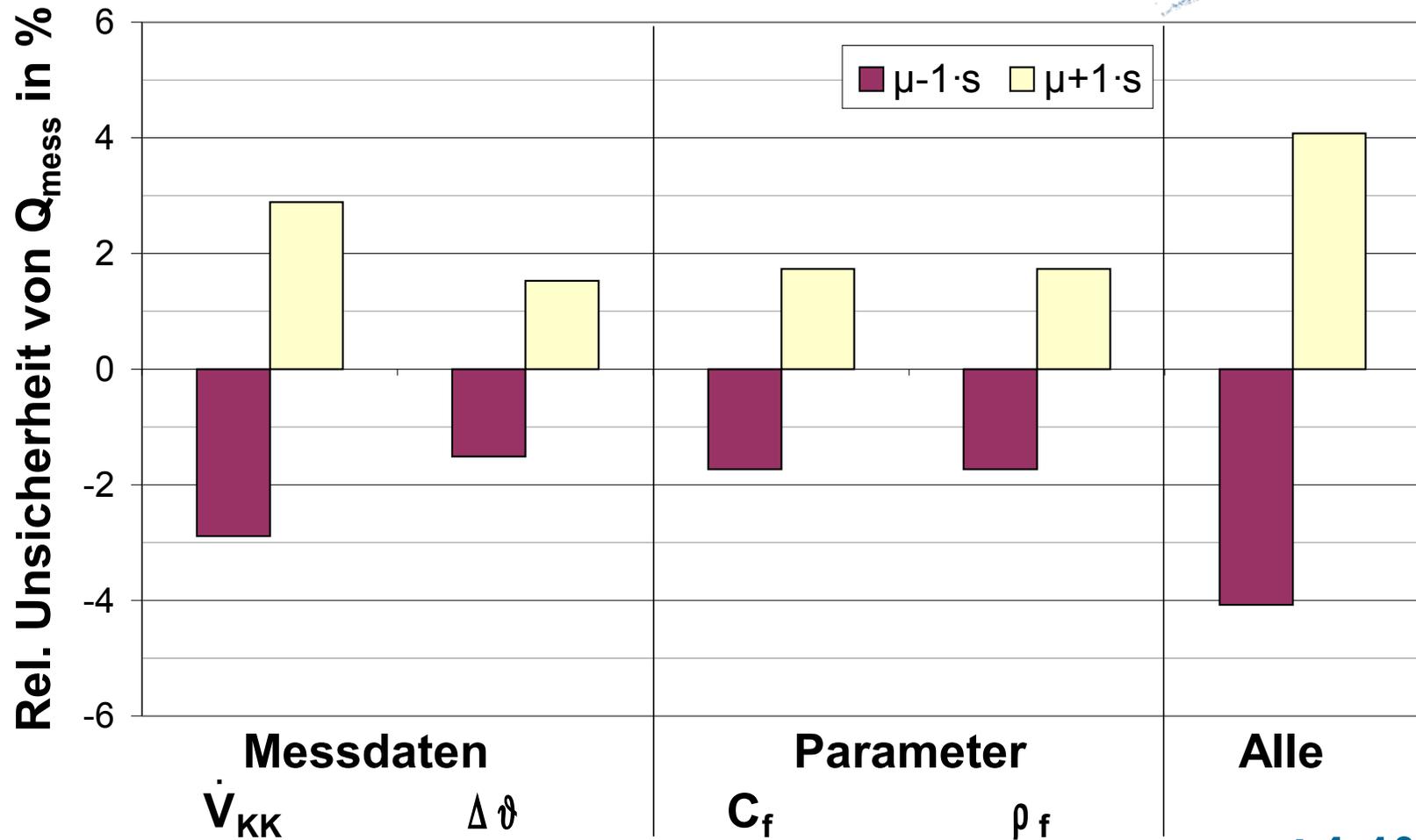
$$Q_{erw} = \eta_0 \cdot K_{\theta, eff} \cdot \left(H_{Day} - H_{insuf} \right) - Q_{th} - Q_{kap}$$

Unsicherheit des Erwartungswerts



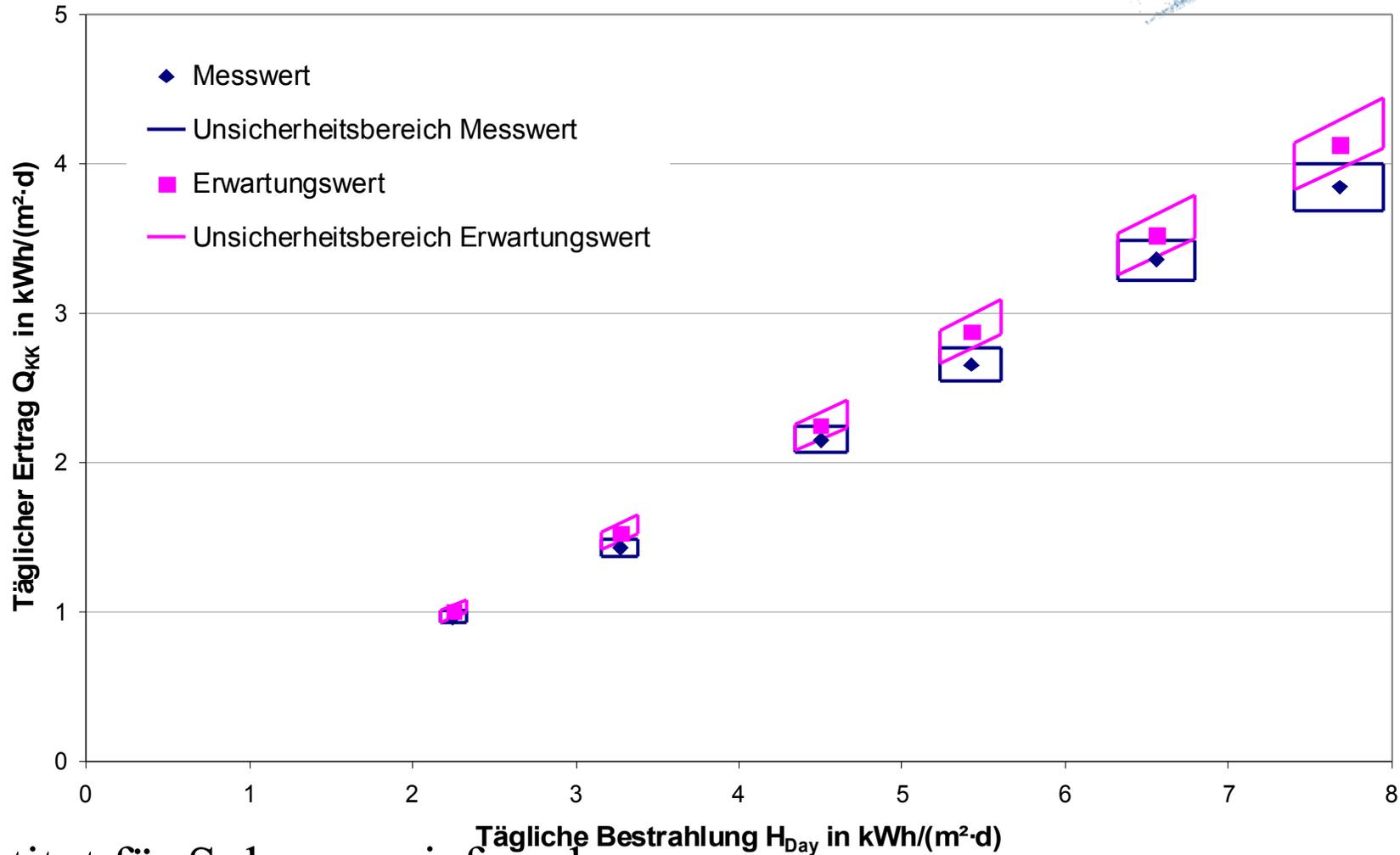
Institut für Solarenergieforschung
Hameln

Unsicherheit des Messwerts



±4,1%

Gesamt Verfahrensunsicherheit 6.7% ISFH



Institut für Solarenergieforschung
Hameln

- Verifizierung des mathematischen Modells anhand von 19 unterschiedlichen, vermessenen Solaranlagen.
- rund 7% einfache Verfahrensunsicherheit
- automatische Ertragsbewertung des Kollektorkreislaufs auf Basis eines täglichen Soll-/ Ist-Vergleichs.
- Es sind kostengünstige Input/Output-Controller verfügbar

- Überprüfung der Solaranlage anhand von Herstellerangaben und Planungsdaten.
- IOC-Verfahrenstyp I zur automatischen Ertragsbewertung von Solaranlagen ist reif für die Serie !
- Abbau von Investitionshemmnissen und Vertrauensbildung

Unser Dank geht an:



- das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)
- Projektträger Jülich PtJ
- proklima Hannover
- die Partnerfirmen:



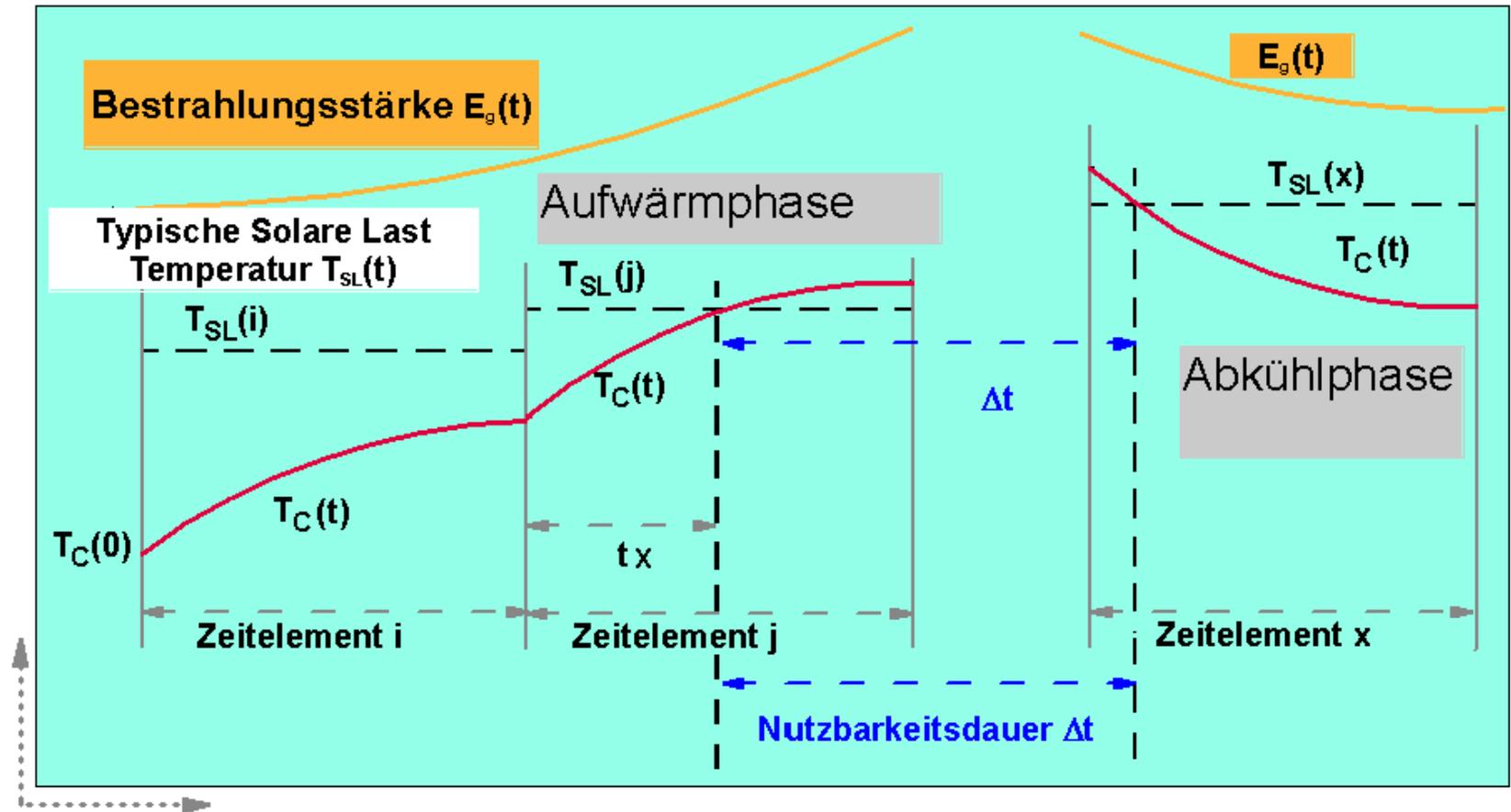
- und Sie alle (hoffentlich) als zukünftige Anwender !

Institut für Solarenergieforschung
Hameln

Kern des neuen IOC-Algorithmus: die Nutzbarkeitsbestrahlung H_{util}



in-situ Bestimmung der Nutzbarkeits-Bestrahlung H_{util}



Effizienz-Lessons-learned:



- **Größere Beachtung für die Anlagenhydraulik**
- **Auslegung der Wärmeübertrager** nach der erforderlichen spezifischen Übertragungsleistung in kW/K. Richtwerte gibt die VDI 6002 (5 K zwischen Kollektor- und Beladekreislauf bei Nennleistung der Anlage)
- **Solare WW-Bereitung mit reinem Vorwärmbetrieb** erhöht den jährlichen Solarertrag um 40-50 % gegenüber einem Betrieb der Pufferspeicher auf WW-Soll-Temperatur.
- **Keinerlei Aufheizung von solaren (Puffer-)Speichern** durch konventionelle Kesselanlagen

- Das **Input/Output-Verfahren** ist ein intelligentes Mess- und Auswerteverfahren für Handwerker, Planer, Betreiber und Energieberater
- Der Soll-/Ist-Wert-Vergleich täglicher Erträge schafft eine sehr kompakte Datenbasis für die Funktionskontrolle und eine schnelle Effizienzbewertung
- Die Kombination täglicher Soll/Ist-Ertragsvergleiche mit dem täglichen Verlauf hoch aufgelöster 5-Minuten Datenreihen ermöglicht ergänzende Detail-Analysen

Ausblick: Schulungsangebot



- Die Verknüpfung
 - von kostengünstiger Messtechnik und
 - Schulung betroffener Akteure in der Interpretation leicht zugänglicher und praxisrelevanter Messdatenbietet ein enormes Potenzial für die Effizienzoptimierung und ihre langfristige Absicherung !
- Dieser Beitrag ist kein Ersatz für eine Schulung !
- Bitte melden Sie sich bei Interesse im ISFH !

Wir danken für Ihre Aufmerksamkeit !

Institut für Solarenergieforschung
Hameln

Beispiele für Effizienz-Verbesserungen...



- Fehlanpassung des Heizkesselvolumenstromes bewirkt Durchmischung des Pufferspeichers
- Vertauschung von Vor- und Rücklauf im Kollektorkreislauf
- Thermosiphon-Fehlzirkulation im Kollektorkreislauf
- Kollektorpumpe schaltet nicht ein oder zu spät ein
- Abschalten der Solarkreisläufe bei hoher Bestrahlungsstärke
- Optimierung der Pufferspeicherauskuhlung durch KW-Vorwärmbetrieb
- zu kleiner Wärmetauscher im Kollektorkreislauf
- Rücklauf der Raumheizung strömt durch den WW-Nachheiz-WT
- Fehlzirkulation der Kesselpumpe durch den Kombianlagen-Pufferspeicher

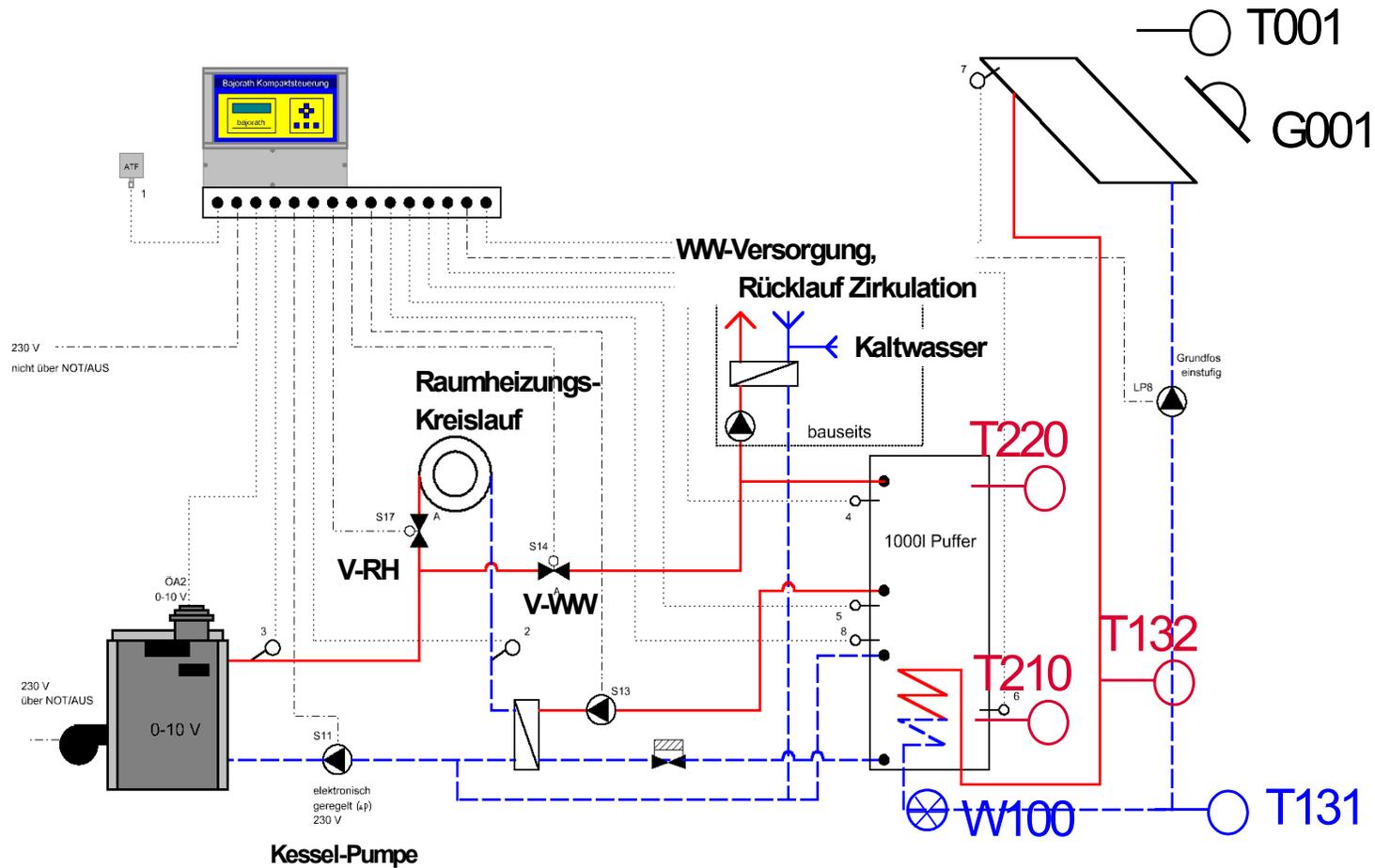
1. Beispiel für Effizienz-Verbesserungen...



- **Fehlanpassung des Heizkesselvolumenstromes bewirkt Durchmischung des Pufferspeichers**
- Vertauschung von Vor- und Rücklauf im Kollektorkreislauf
- Thermosiphon-Fehlzirkulation im Kollektorkreislauf
- Kollektorpumpe schaltet nicht ein oder zu spät ein
- Abschalten der Solarkreisläufe bei hoher Bestrahlungsstärke
- Optimierung der Pufferspeicheraus Kühlung durch KW-Vorwärmbetrieb
- zu kleiner Wärmetauscher im Kollektorkreislauf
- Rücklauf der Raumheizung strömt durch den WW-Nachheiz-WT
- Fehlzirkulation der Kesselpumpe durch den Kombianlagen-Pufferspeicher

1. Beispiel: Fehlanpassung des Heizkesselvolumenstromes

Schaltschema Schneidemühler Weg 10 und 16



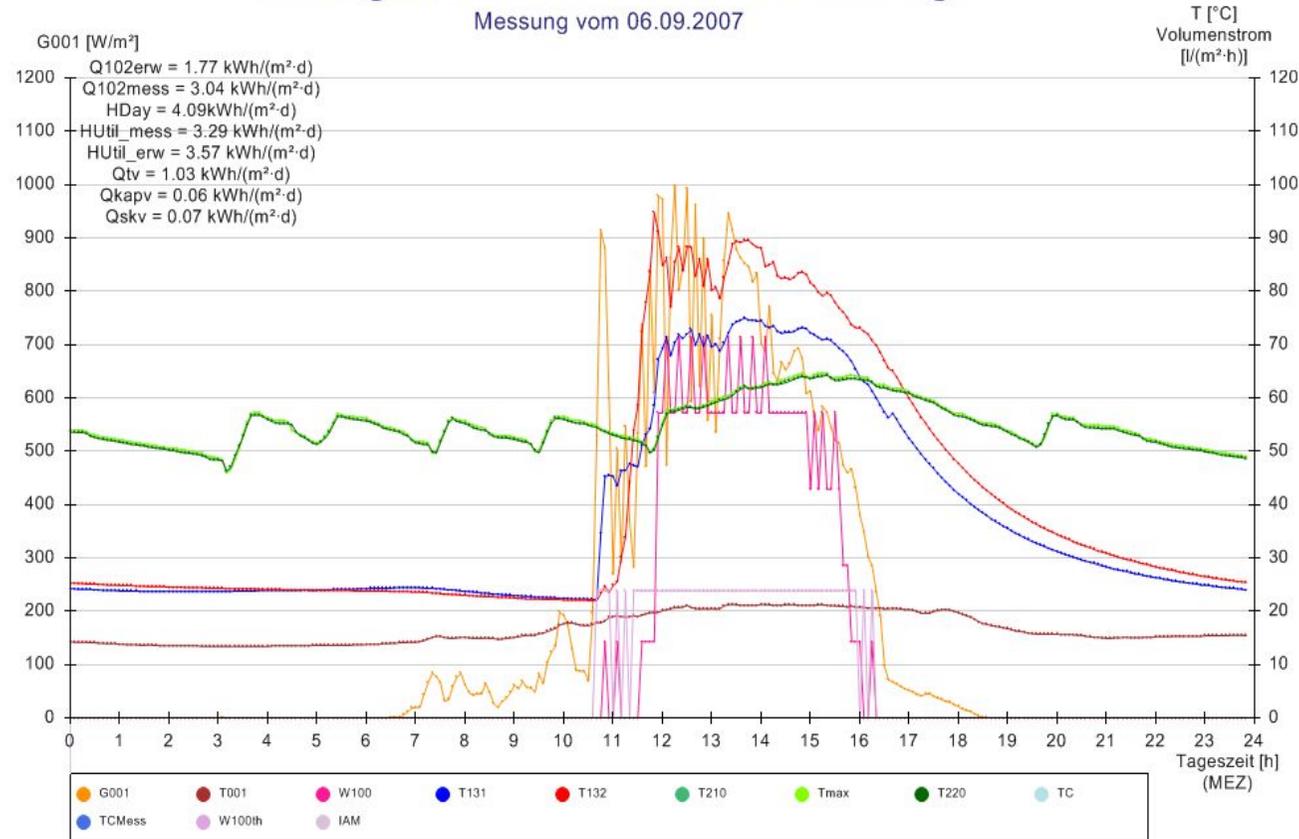
1. Beispiel: Fehlanpassung des Heizkesselvolumenstromes



vollständige Durchmischung des Pufferspeichers

Anlage: SchneideMühlerWeg10

Datum der Auswertung:
20.09.2010 15:04:52



Institut für Solarenergieforschung
Hameln

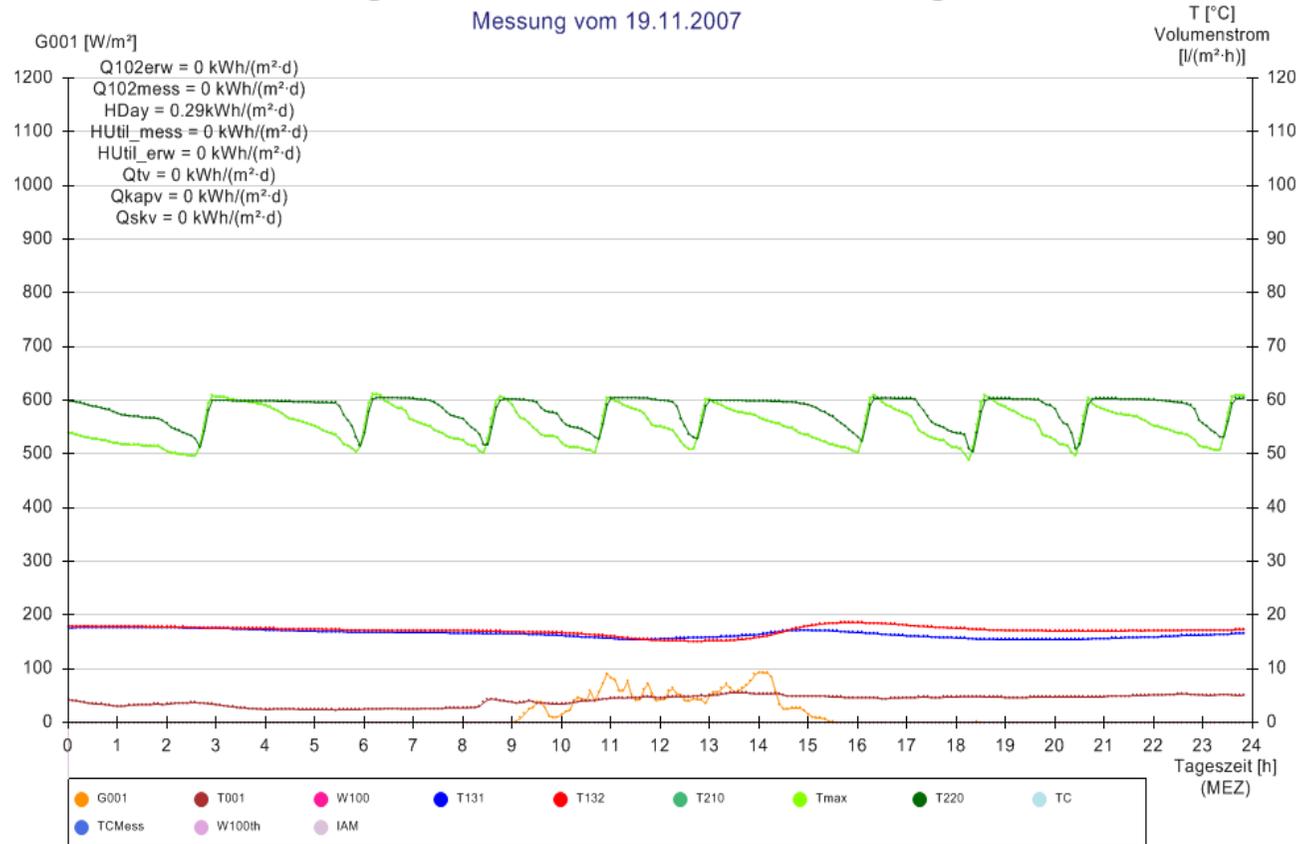
1. Beispiel: Fehlanpassung des Heizkesselvolumenstromes



verbesserte Schichtung des Puffer-speichers

Anlage: SchneideMühlerWeg10

Datum der Auswertung:
20.09.2010 14:50:23



2. Beispiel für Effizienz-Verbesserungen...

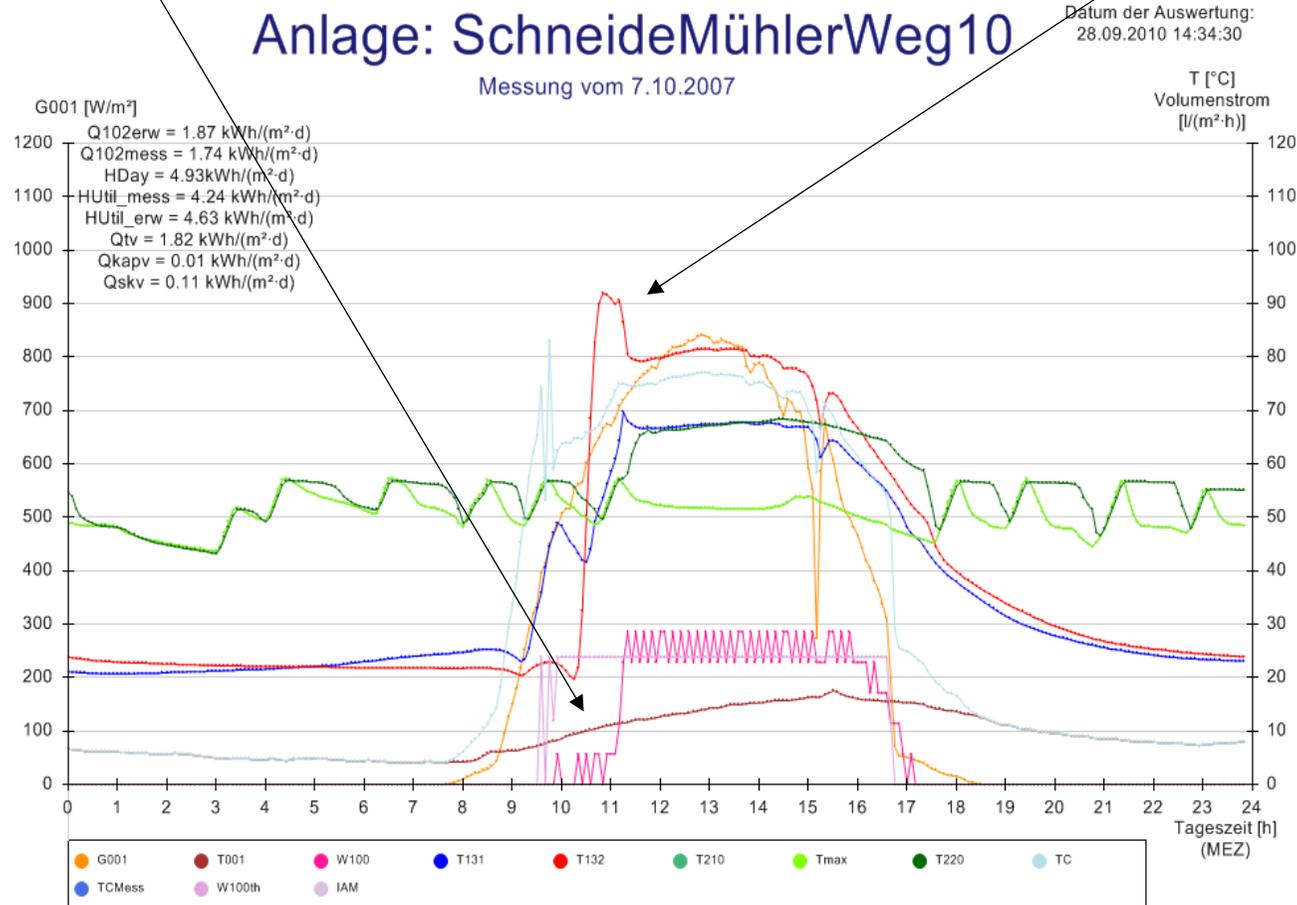


- Fehlanpassung des Heizkesselvolumenstromes bewirkt Durchmischung des Pufferspeichers
- **Vertauschung von Vor- und Rücklauf im Kollektorkreislauf**
- Thermosiphon-Fehlzirkulation im Kollektorkreislauf
- Kollektorpumpe schaltet nicht ein oder zu spät ein
- Abschalten der Solarkreisläufe bei hoher Bestrahlungsstärke
- Optimierung der Pufferspeicheraus Kühlung durch KW-Vorwärmbetrieb
- zu kleiner Wärmetauscher im Kollektorkreislauf
- Rücklauf der Raumheizung strömt durch den WW-Nachheiz-WT
- Fehlzirkulation der Kesselpumpe durch den Kombianlagen-Pufferspeicher

2. Beispiel: Vertauschung von Vor- und Rücklauf



taktendes Einschaltverhalten des Kollektorkreislaufs führt zur Überhitzung



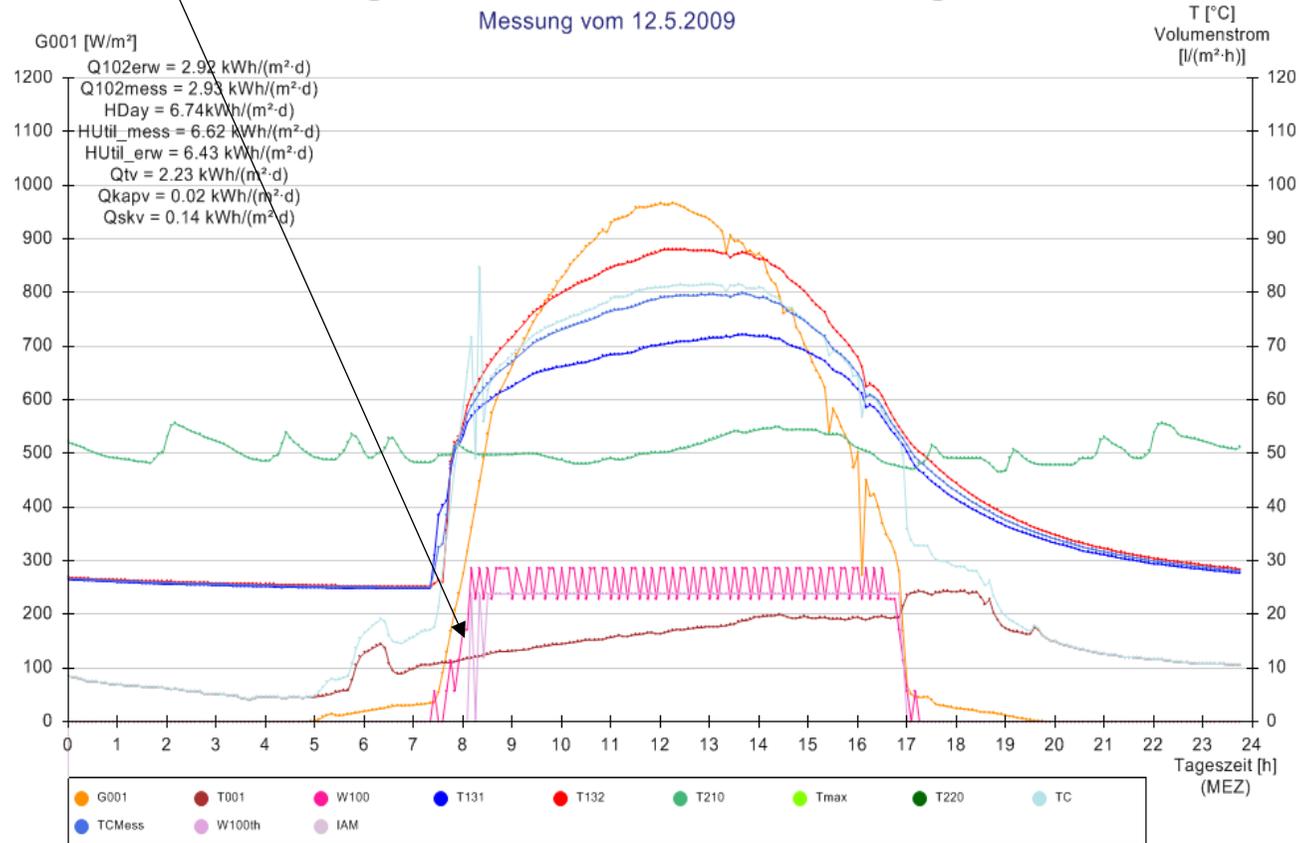
2. Beispiel: Vertauschung von Vor- und Rücklauf



Korrektes Einschaltverhalten nach der Reparatur

Anlage: SchneideMühlerWeg10

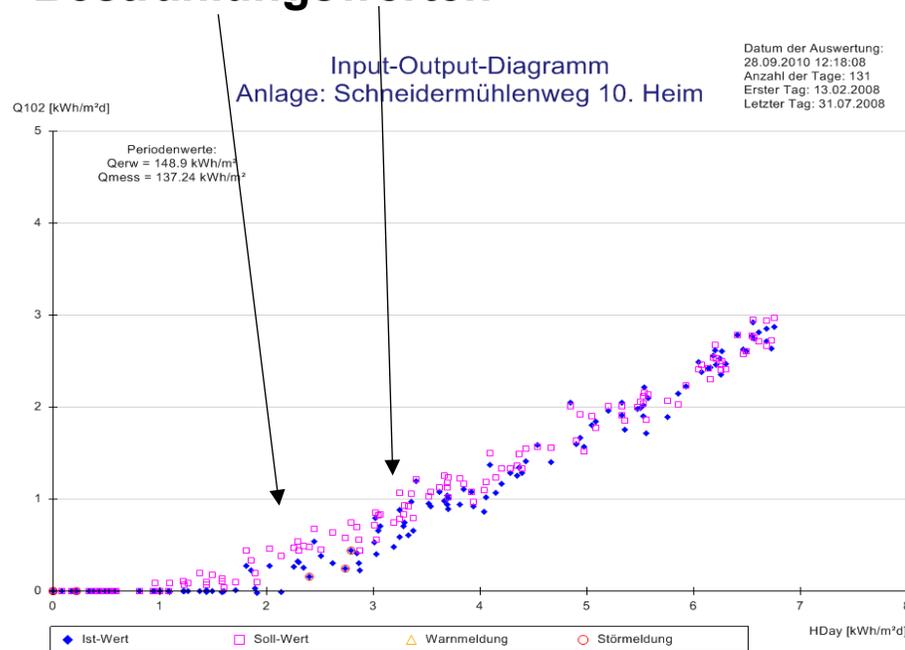
Datum der Auswertung:
28.09.2010 14:39:38



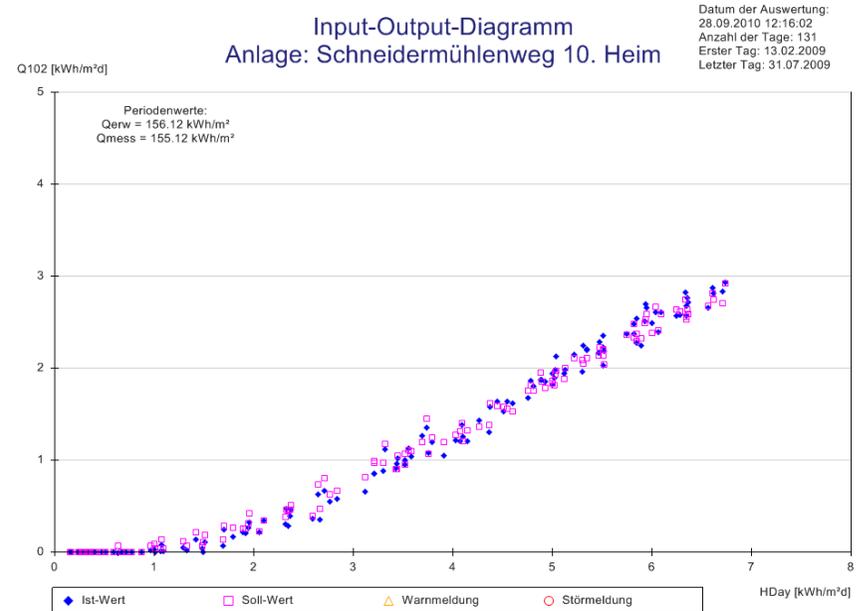
2. Beispiel: Vertauschung von Vor- und Rücklauf



**Minderertrag in 311-tägiger
Messperiode etwa 11 %,
hauptsächlich bei mittleren
Bestrahlungswerten**



**Gute Übereinstimmung von Mess- u.
Erwartungsertrag nach der Reparatur**



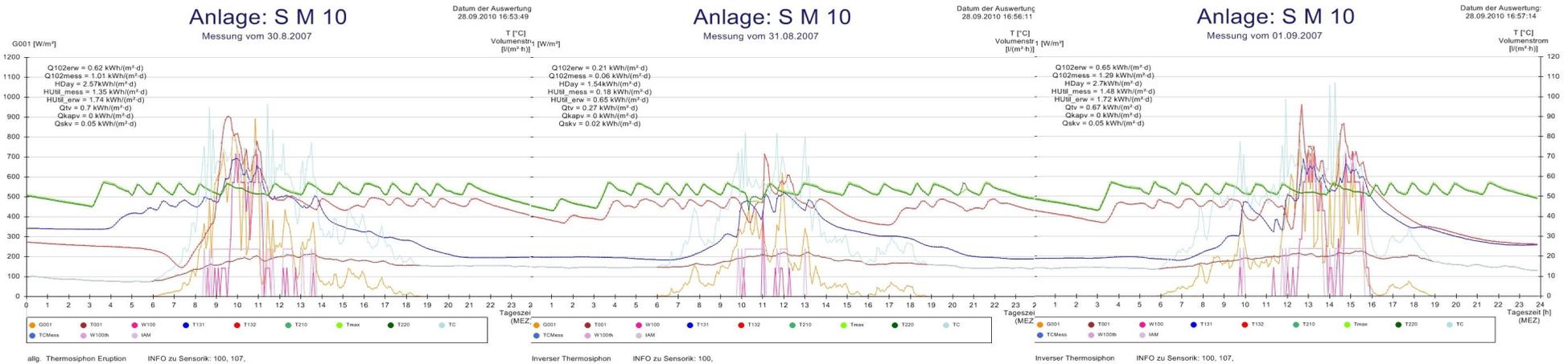
3. Beispiel für Effizienz-Verbesserungen...



- Fehlanpassung des Heizkesselvolumenstromes bewirkt Durchmischung des Pufferspeichers
- Vertauschung von Vor- und Rücklauf im Kollektorkreislauf
- **Thermosiphon-Fehlzirkulation im Kollektorkreislauf**
- Kollektorpumpe schaltet nicht ein oder zu spät ein
- Abschalten der Solarkreisläufe bei hoher Bestrahlungsstärke
- Optimierung der Pufferspeicheraus Kühlung durch KW-Vorwärmbetrieb
- zu kleiner Wärmetauscher im Kollektorkreislauf
- Rücklauf der Raumheizung strömt durch den WW-Nachheiz-WT
- Fehlzirkulation der Kesselpumpe durch den Kombianlagen-Pufferspeicher

3. Beispiel:

Thermosiphon-Fehlzirkulation im Kollektorkreislauf



3. Beispiel:

Thermosiphon-Fehlzirkulation im Kollektorkreislauf



Anlage: INGA DEMO DAT

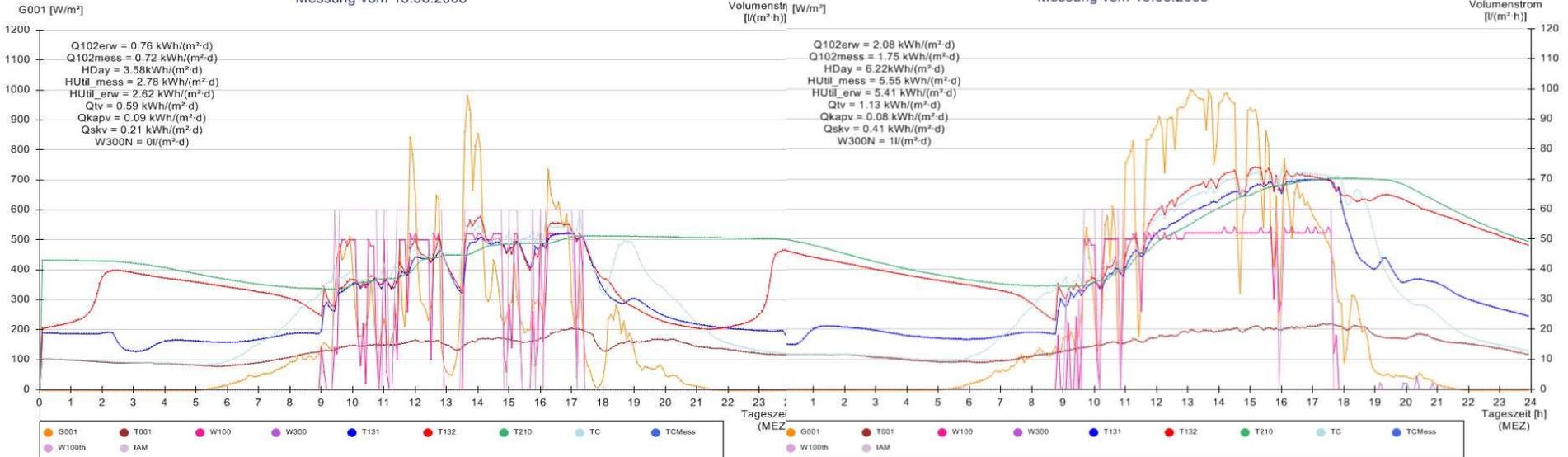
Datum der Auswertung:
11.07.2008 21:29:27

Anlage: INGA DEMO DAT

Datum der Auswertung:
11.07.2008 21:31:05

Messung vom 15.06.2008

Messung vom 16.06.2008



Inverser Thermosiphon INFO zu Sensorik: 100,

allg. Thermosiphon Eruption INFO zu Sensorik: 100,

4. Beispiel für Effizienz-Verbesserungen...

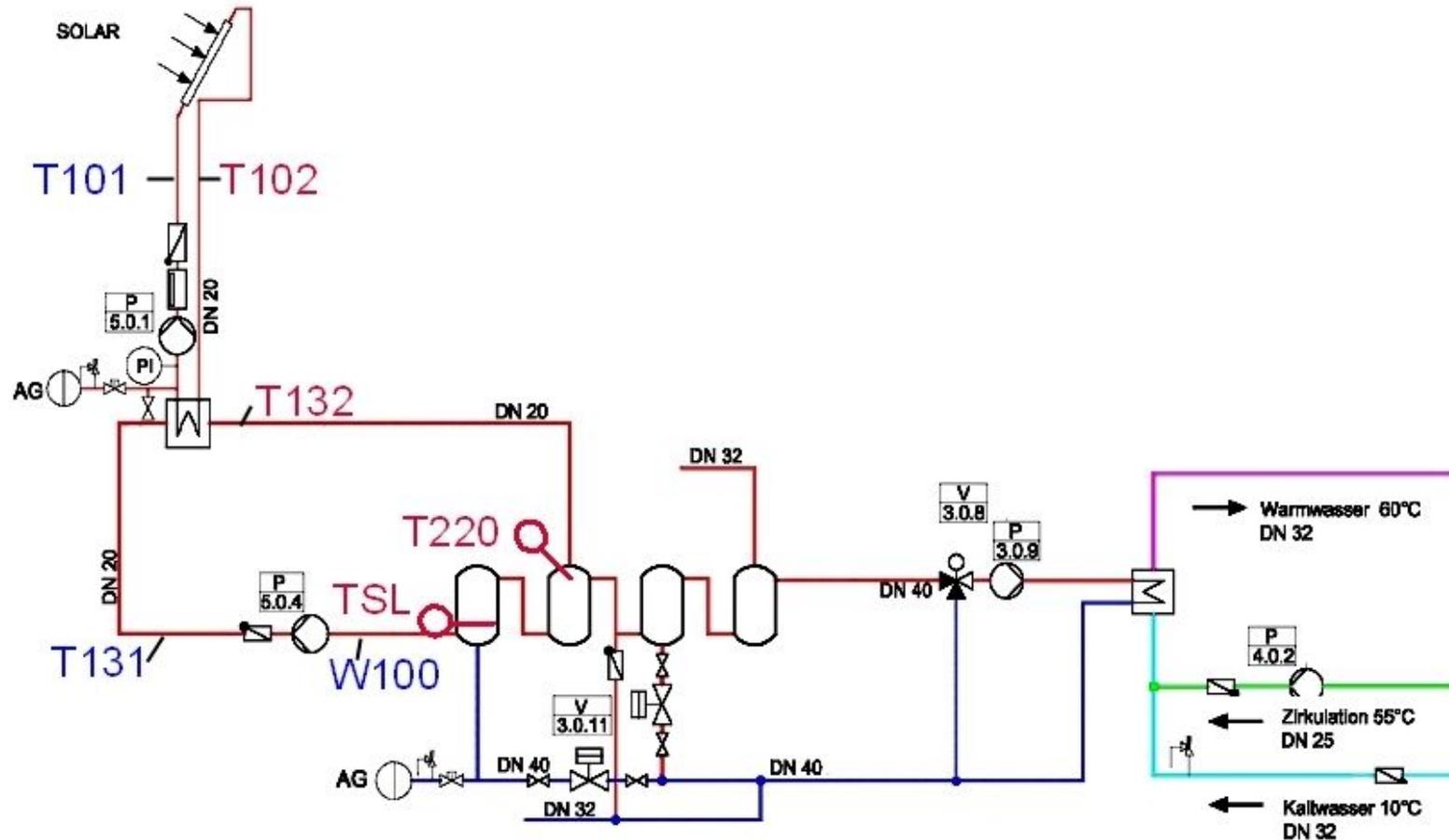


- Fehlanpassung des Heizkesselvolumenstromes bewirkt Durchmischung des Pufferspeichers
- Vertauschung von Vor- und Rücklauf im Kollektorkreislauf
- Thermosiphon-Fehlzirkulation im Kollektorkreislauf
- **Kollektorpumpe schaltet nicht ein oder zu spät ein**
- Abschalten der Solarkreisläufe bei hoher Bestrahlungsstärke
- Optimierung der Pufferspeicheraus Kühlung durch KW-Vorwärmbetrieb
- zu kleiner Wärmetauscher im Kollektorkreislauf
- Rücklauf der Raumheizung strömt durch den WW-Nachheiz-WT
- Fehlzirkulation der Kesselpumpe durch den Kombianlagen-Pufferspeicher

4. Beispiel:

Kollektorpumpe schaltet nicht ein oder zu spät ein

Anlage Alemannstr. mit 2 x 1000 l Pufferspeicher im Solarkreislauf



4. Beispiel:

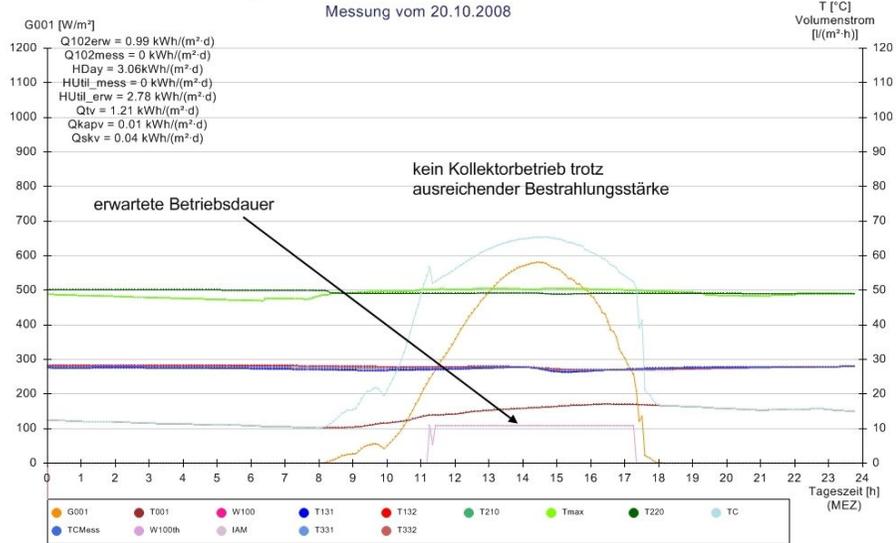
Kollektorpumpe schaltet nicht ein, zu spät ein oder ...



Kein bzw. zu spätes Einschalten von Kollektor- bzw. Beladekreislauflauf

Anlage: Alemannstr. 06 Heimkehr

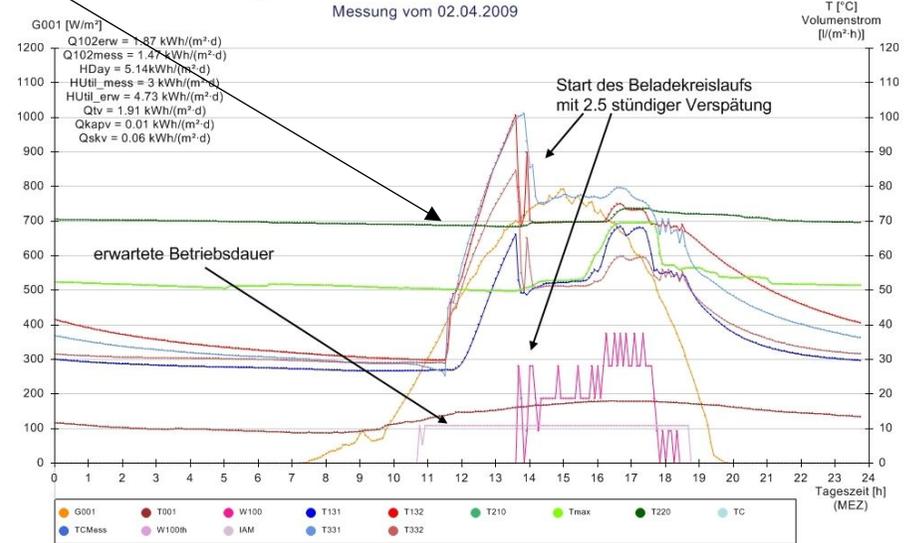
Datum der Auswertung:
01.10.2010 11:57:13



Ineffiziente Regelung oder Pumpe defekt: Betriebszeit zu kurz

Anlage: Alemannstr. 06 Heimkehr

Datum der Auswertung:
01.10.2010 12:13:43



Ineffiziente Regelung oder Pumpe defekt: Betriebszeit zu kurz

5. Beispiel für Effizienz-Verbesserungen...



- Fehlanpassung des Heizkesselvolumenstromes bewirkt Durchmischung des Pufferspeichers
- Vertauschung von Vor- und Rücklauf im Kollektorkreislauf
- Thermosiphon-Fehlzirkulation im Kollektorkreislauf
- Kollektorpumpe schaltet nicht ein oder zu spät ein

- **Abschalten der Solarkreisläufe bei hoher Bestrahlungsstärke**
- Optimierung der Pufferspeicherauskuhlung durch KW-Vorwärmbetrieb
- zu kleiner Wärmetauscher im Kollektorkreislauf
- Rücklauf der Raumheizung strömt durch den WW-Nachheiz-WT
- Fehlzirkulation der Kesselpumpe durch den Kombianlagen-Pufferspeicher

5. Beispiel: Abschalten der Solarkreisläufe bei hoher Bestrahlungsstärke

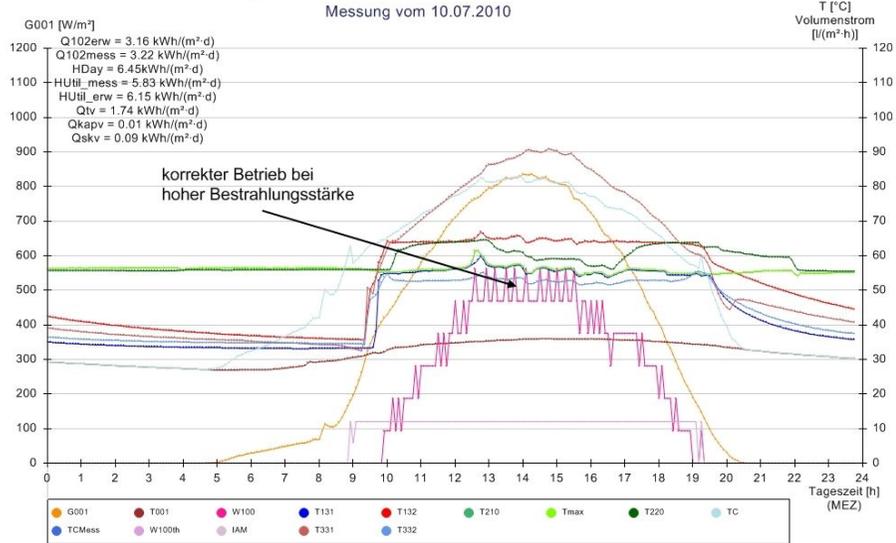


Korrektur Betrieb bei hoher Bestrahlungsstärke

Abschalten der Solarkreisläufe: Stagnation im Kollektorkreislauf Auskühlung im Beladekreislauf

Anlage: Alemannstr. 06 Heimkehr

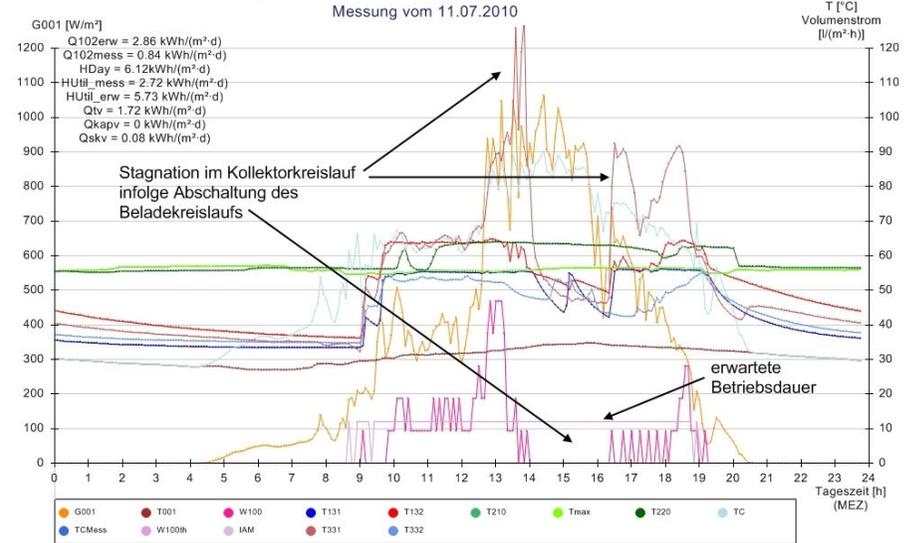
Datum der Auswertung:
13.10.2010 19:20:15



Keine Fehler aufgetreten

Anlage: Alemannstr. 06 Heimkehr

Datum der Auswertung:
13.10.2010 19:22:27

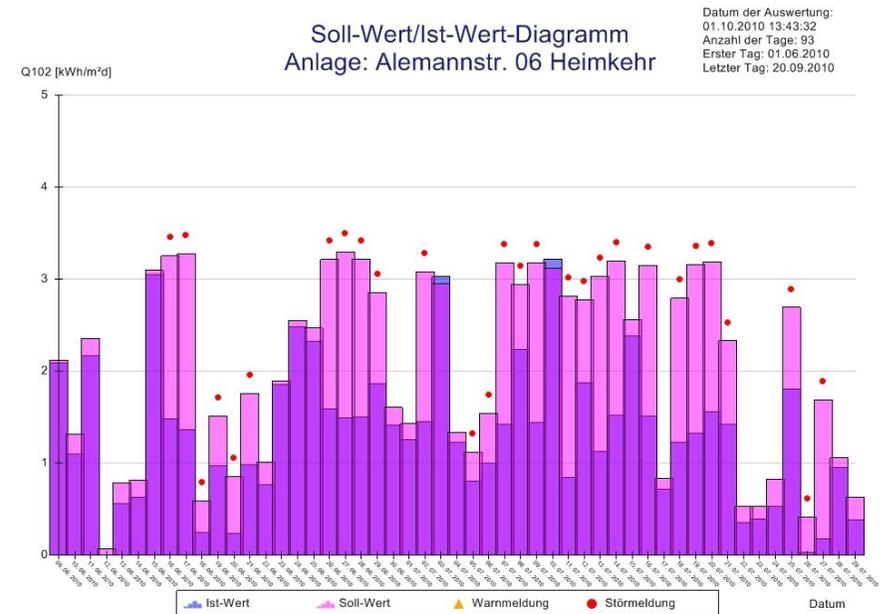
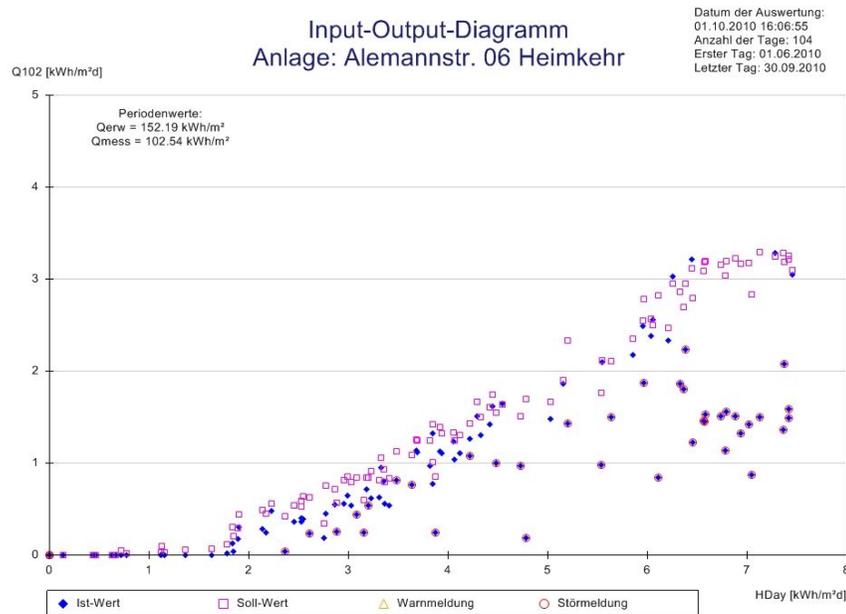


Ineffiziente Regelung oder Pumpe defekt: Betriebszeit zu kurz

5. Beispiel: Abschalten der Solarkreisläufe bei hoher Bestrahlungsstärke



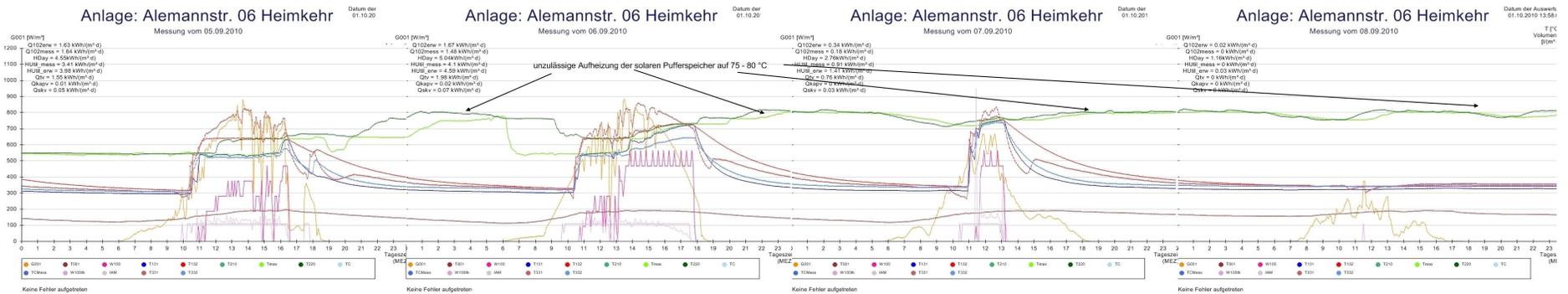
Minderertrag von 33 % während 104-tägiger Periode im Hochsommer 2010



5. Beispiel: Beeinträchtigung der Solarkreisläufe ...



durch Aufheizen der Solar-Pufferspeicher deutlich über WW-Last-Temperatur
(05.09. – 08.09.10)



8. Beispiel für Effizienz-Verbesserungen...



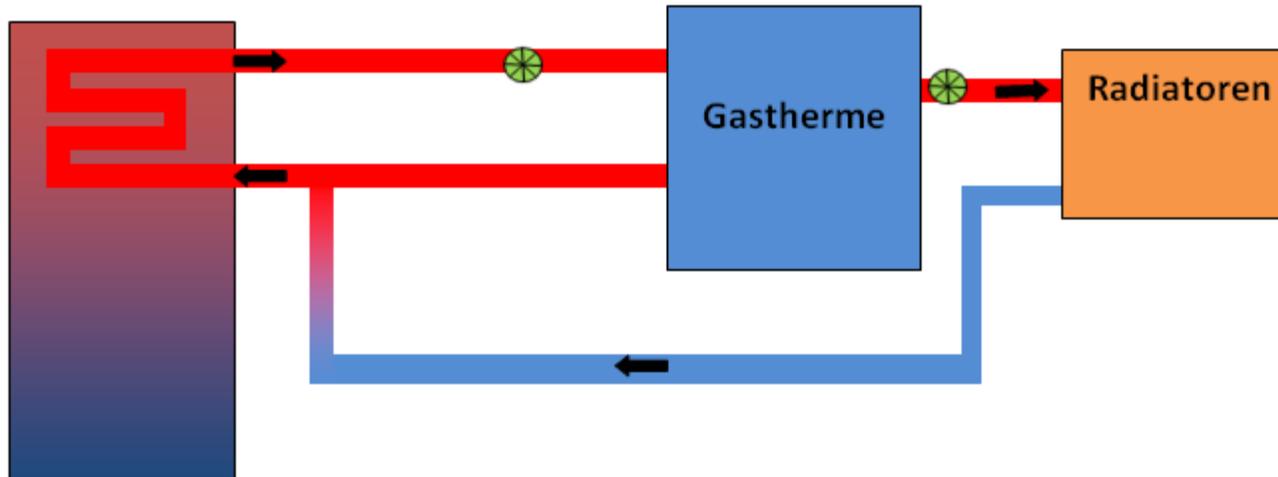
- Fehlanpassung des Heizkesselvolumenstromes bewirkt Durchmischung des Pufferspeichers
- Vertauschung von Vor- und Rücklauf im Kollektorkreislauf
- Thermosiphon-Fehlzirkulation im Kollektorkreislauf
- Kollektorpumpe schaltet nicht ein oder zu spät ein
- Abschalten der Solarkreisläufe bei hoher Bestrahlungsstärke
- Optimierung der Pufferspeicherauskuhlung durch KW-Vorwärmbetrieb
- zu kleiner Wärmetauscher im Kollektorkreislauf
- **Rücklauf der Raumheizung strömt durch den WW-Nachheiz-WT**
- Fehlzirkulation der Kesselpumpe durch den Kombianlagen-Pufferspeicher

8. Beispiel:

Rücklauf der Raumheizung strömt durch den WW-Nachheiz-WT



Rücklauf der Raumheizung strömt durch den WW-Nachheiz-WT



Einbindung des WW-Nachheiz-WT in die konventionelle Wärmeversorgung

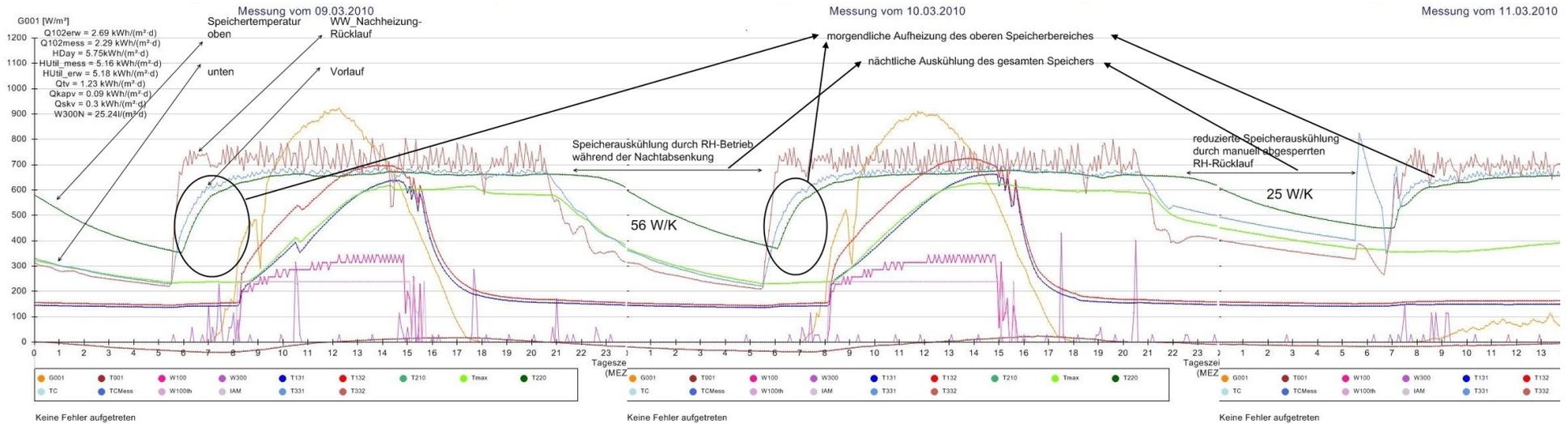
Institut für Solarenergieforschung
Hameln

8. Beispiel:

Rücklauf der Raumheizung strömt durch den WW-Nachheiz-WT



Rücklauf der Raumheizung strömt durch den WW-Nachheiz-WT

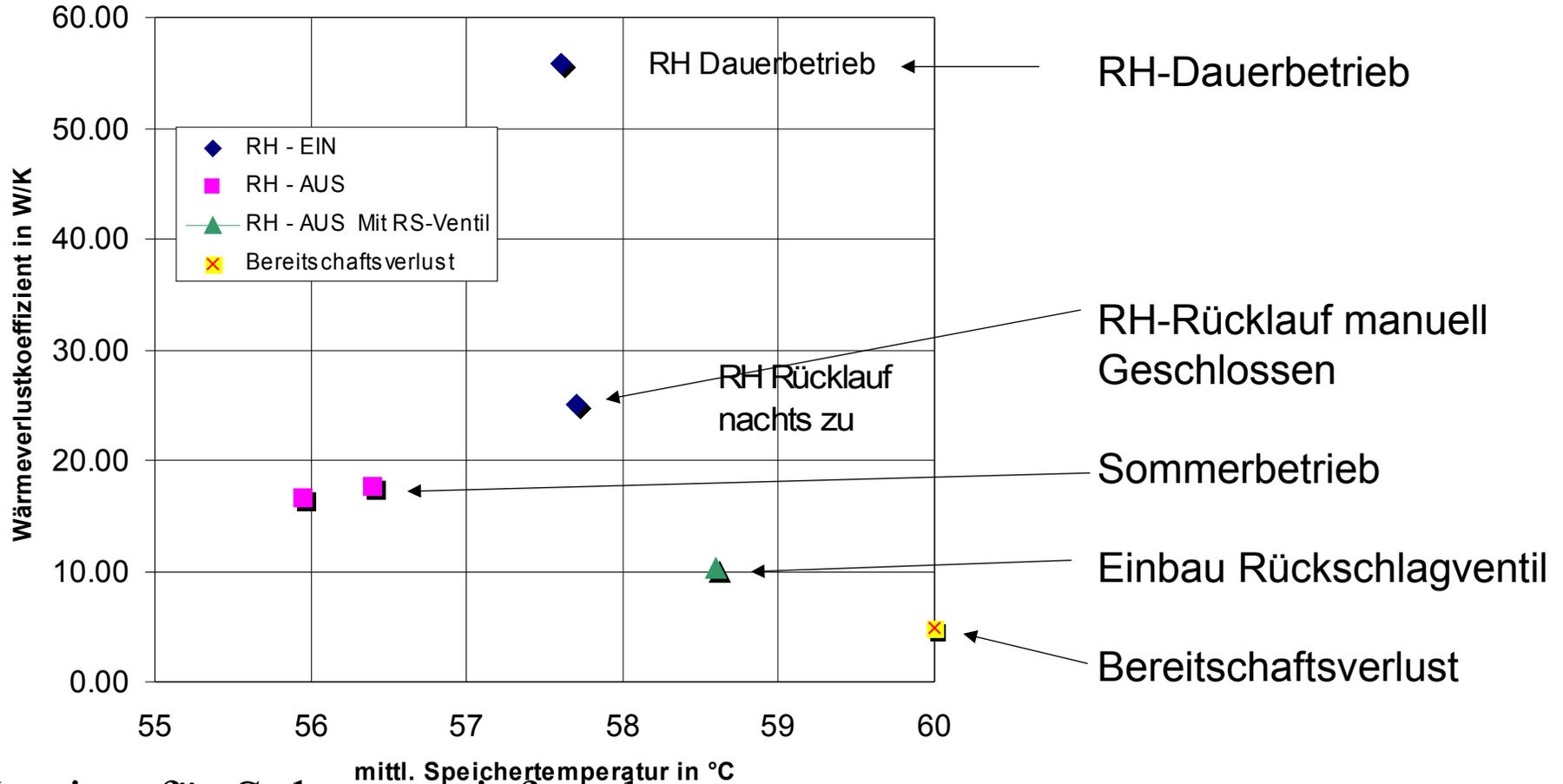


8. Beispiel:

Rücklauf der Raumheizung strömt durch den WW-Nachheiz-WT



Wärmeverlustkoeffizient bei verschiedenen Betriebsweisen

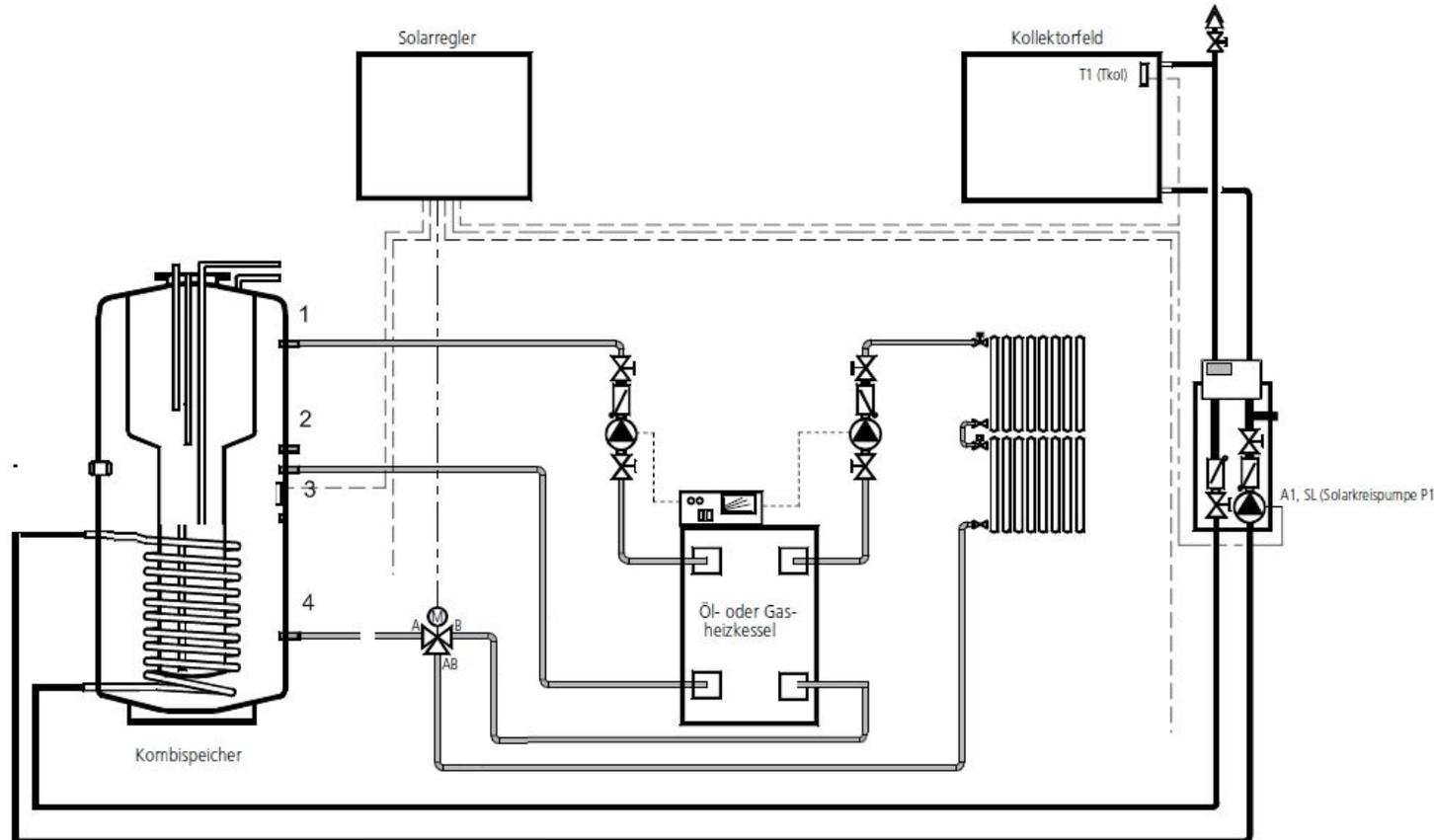


9. Beispiel für Effizienz-Verbesserungen...



- Fehlanpassung des Heizkesselvolumenstromes bewirkt Durchmischung des Pufferspeichers
- Vertauschung von Vor- und Rücklauf im Kollektorkreislauf
- Thermosiphon-Fehlzirkulation im Kollektorkreislauf
- Kollektorpumpe schaltet nicht ein oder zu spät ein
- Abschalten der Solarkreisläufe bei hoher Bestrahlungsstärke
- Optimierung der Pufferspeicherauskuhlung durch KW-Vorwärmbetrieb
- zu kleiner Wärmetauscher im Kollektorkreislauf
- Rücklauf der Raumheizung strömt durch den WW-Nachheiz-WT
- **Fehlzirkulation der Kesselpumpe durch den Kombianlagen-Pufferspeicher**

9. Beispiel: Fehlzirkulation der Kesselpumpe durch den Kombianlagen-Pufferspeicher

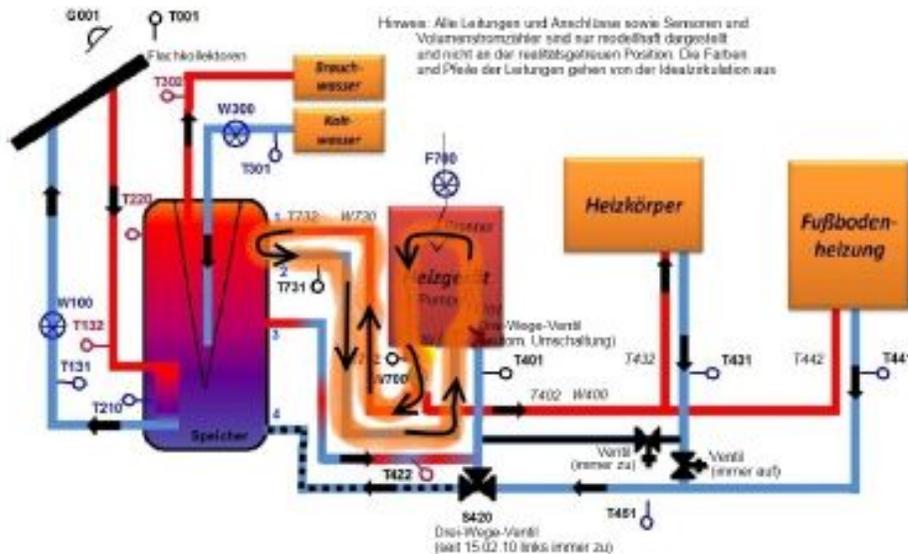


Schaltbild einer solaren Kombi-Anlage für WW- und RH-Versorgung (Firmenvorgabe)

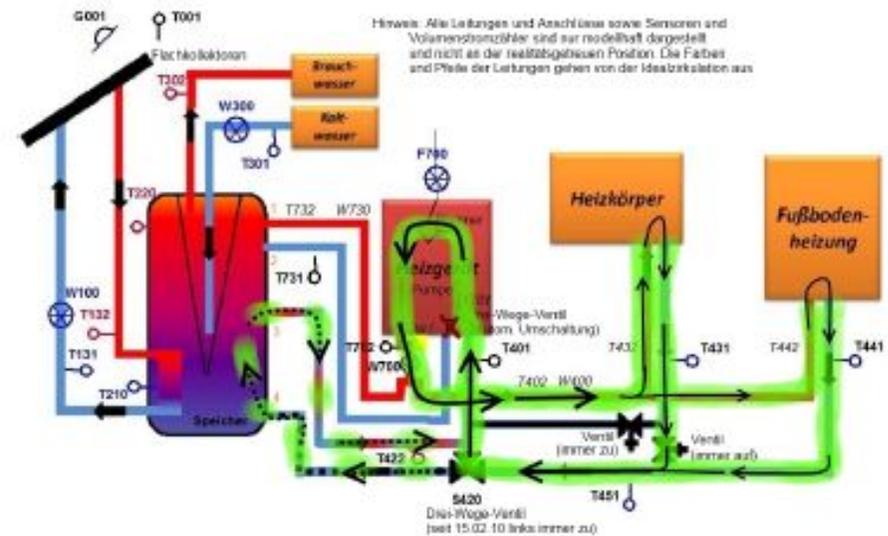
9. Beispiel: Fehlzirkulation der Kesselpumpe durch den Kombianlagen-Pufferspeicher

Betriebsweisen der realisierten solaren Kombi-Anlage

bei WW-Vorrangschaltung

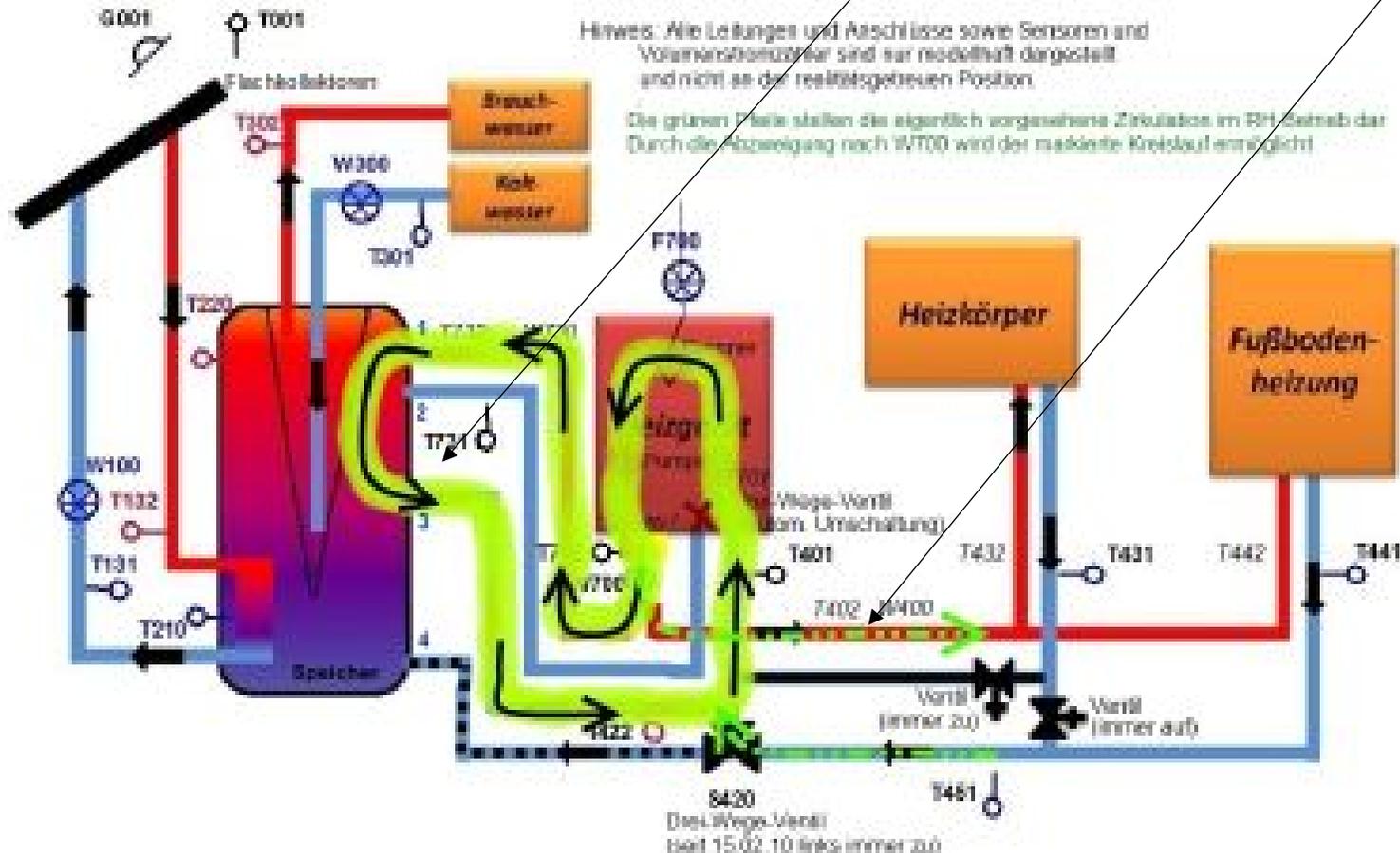


bei RH-Versorgung



9. Beispiel: Fehlzirkulation der Kesselpumpe durch den Kombianlagen-Pufferspeicher

Ausbildung einer Fehlzirkulation durch den Pufferspeicher parallel zum RH-Betrieb



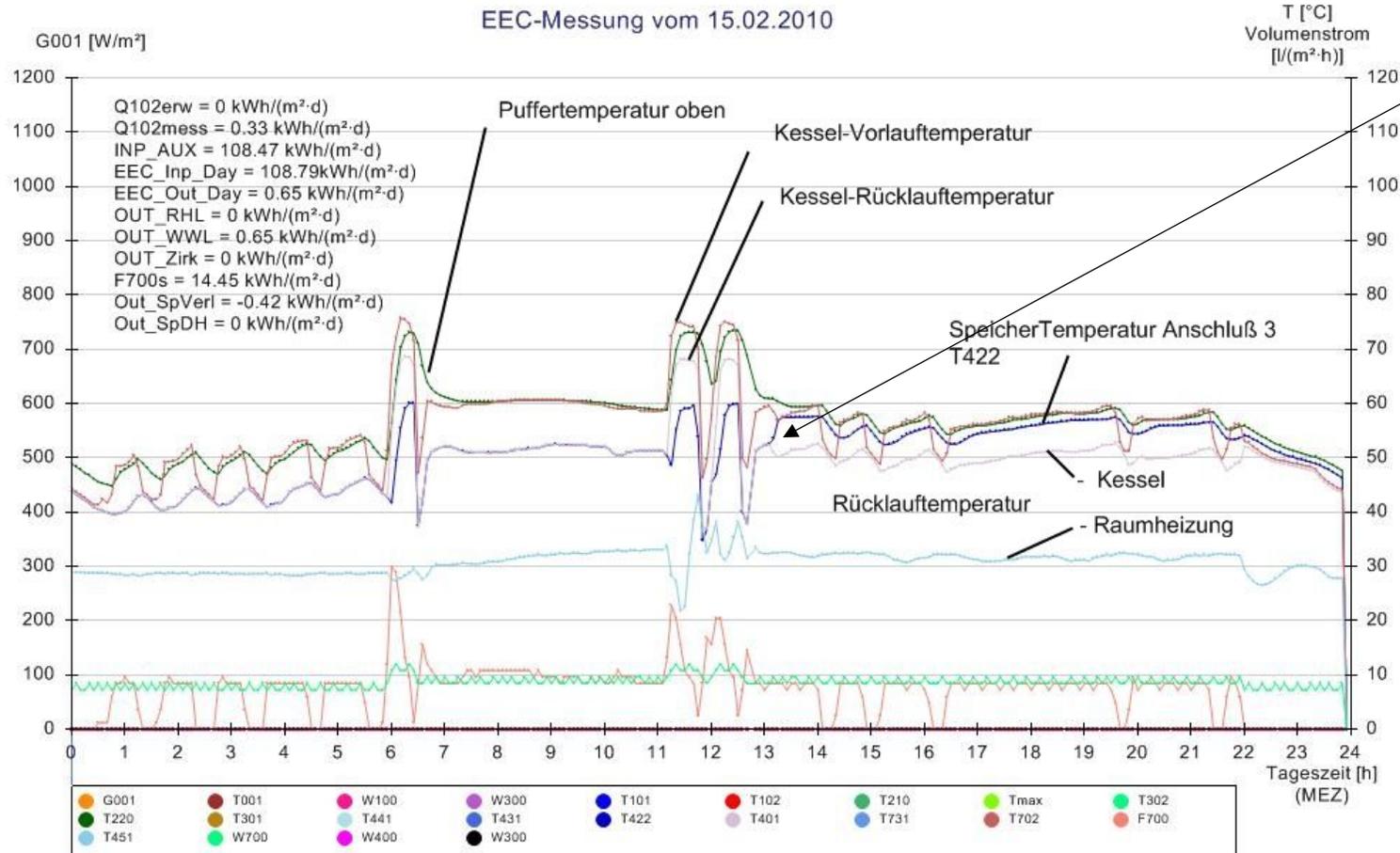
9. Beispiel: Fehlzirkulation der Kesselpumpe durch den Kombianlagen-Pufferspeicher



Detektion der Fehlzirkulation durch Analyse von RH- und Speichertemperaturen

Anlage: NILS-TEC-Solar-Kombi-Anlage-Hildesheim

Datum der Auswertung:
04.10.2010 23:02:40



manuelle
Abschaltung der
Rücklaufvor-
wärmung im
unteren
Pufferspeicher

Parameter und Messtechnik kontrollieren

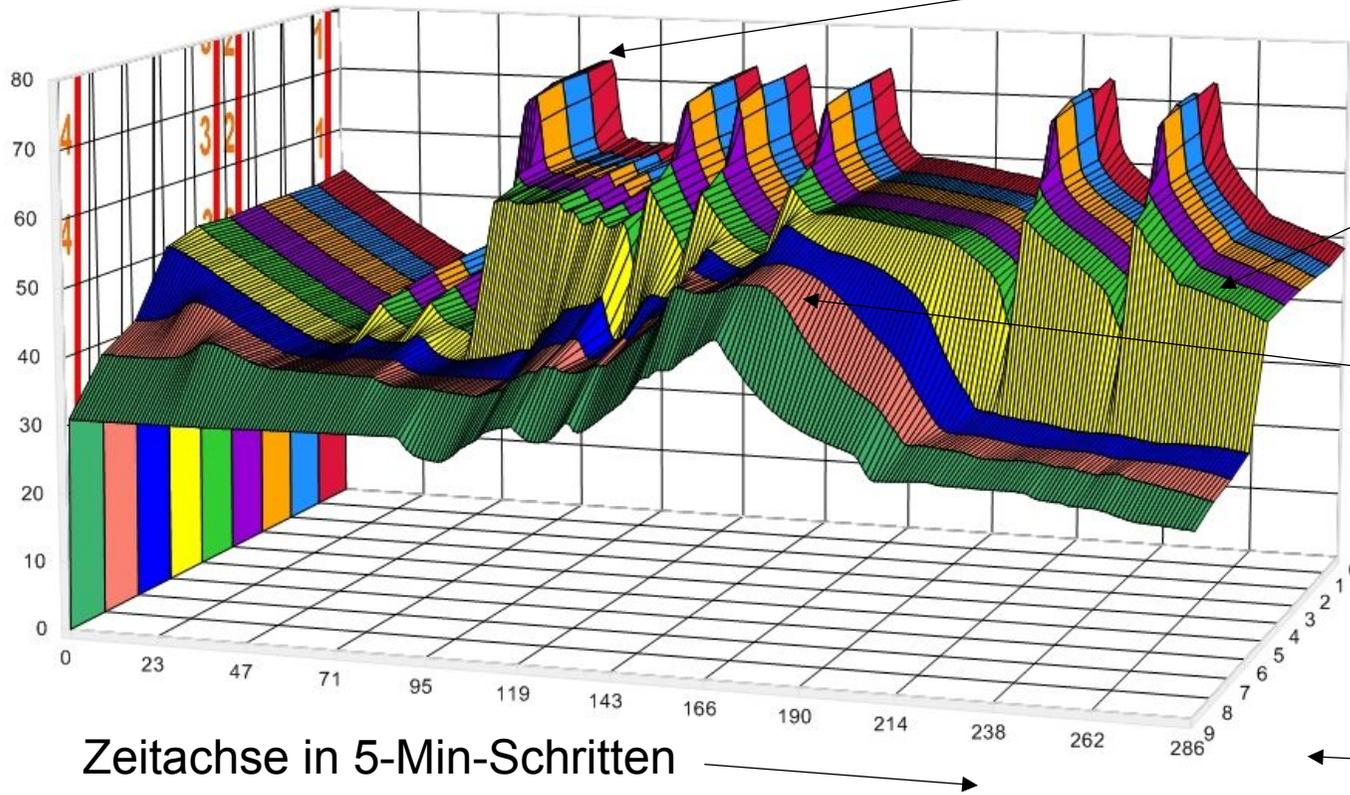
9. Beispiel: Fehlzirkulation der Kesselpumpe durch den Kombianlagen-Pufferspeicher



EEC-Messung vom 05.03.2010

Datum der Auswertung:
08.04.2010 10:15:02

3D-Speicher-Temperatur-Schichtung



Überhitzung des
oberen Puffer-
speichers bei WW-
Vorrang

Im RH-Betrieb
Wärmetransport von
Schichten Nr. 1-4 bis
in Schichten Nr. 5-6

Solareinspeisung

← Speicher oben

← Speicher unten

Series 0 Series 1 Series 2 Series 3 Series 4 Series 5 Series 6 Series 7 Series 8 Series 9

Hameln

