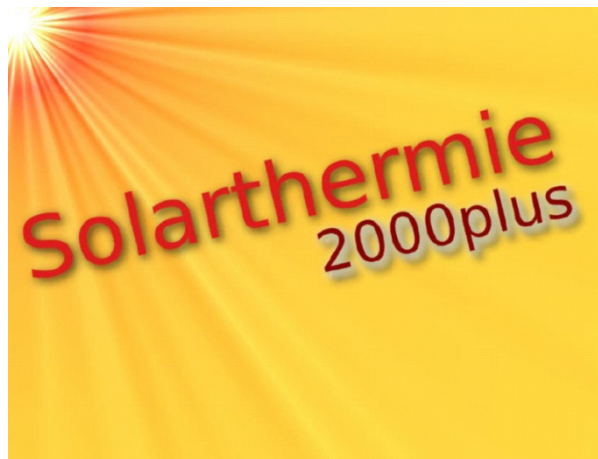




TECHNISCHE UNIVERSITÄT
CHEMNITZ

FAKULTÄT FÜR MASCHINENBAU
PROFESSUR TECHNISCHE THERMODYNAMIK

Abschlussbericht
zu Vorhaben 032 9601 S



Solarthermie2000plus:
Anwendungsorientierte Grundlagenuntersuchung
zur Monitoring-Messtechnik und wissenschaftliche Begleitung
von Pilot- und Demonstrationsanlagen

Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2008 – 31.03.2013

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Mike Wutzler

Projektleiter: Dr.-Ing. Ulrich Schirmer

ISBN 978-3-9812586-1-5

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|------------|---|------------|
| 1 | Aufgabenstellung | 3 |
| 2 | Ablauf des Vorhabens | 5 |
| 3 | Zusammenarbeit mit anderen Stellen | 6 |
| 4 | Verwertung der FE-Ergebnisse | 7 |
| 5 | Ausführliche Darstellung der Ergebnisse | 9 |
| 5.1 | Fortführung des Solarthermie2000-Monitorings | 10 |
| 5.2 | Monitoring in Solarthermie2000plus | 46 |
| 5.2.1 | Messprogramm solare Klimatisierung am Berufsschulzentrum Rodewisch | 46 |
| 5.2.2 | Solare Klimatisierung Ärztehaus „Rheineck“ in Berlin | 47 |
| 5.2.3 | Solare Prozesswärmeerzeugung der Hofmühl Brauerei in Eichstätt | 66 |
| 5.3 | Untersuchungen zu Monitoring-Messtechnik | 105 |
| 5.3.1 | Durchflussmessung | 105 |
| 5.3.2 | Temperaturmessung | 130 |
| 5.3.3 | Sonstige | 132 |
| 6 | Allgemeine Auswertung | 134 |
| | Messtechnik für das Monitoring | 134 |
| | Erfahrungen aus den messtechnisch gestützten Bewertungen der Solarsysteme | 135 |
| | Sonstige Erfahrungen während des Monitoring | 136 |
| | Weiterführung der messtechnischen Betreuung | 137 |
| | Internetpräsentation | 138 |
| | Fazit | 143 |
| 7 | Publikationen | 145 |

Hinweis

Der Nachdruck, die Vervielfältigung und die Wiedergabe des Berichtes bzw. von Teilen des Berichtes sowie die Übersetzung ist nur mit schriftlicher Genehmigung der Verfasser zulässig.

Präambel

Mit Beginn des Förderkonzeptes Solarthermie2000plus im Jahre 2004 wurde die Fortführung der wissenschaftlichen Betreuungsaktivitäten aus Solarthermie2000 in die Aktivitäten innerhalb des Förderkonzeptes Solarthermie2000plus übernommen. Insofern enthält dieser Abschlussbericht auch einen abschließenden Bericht zu Ergebnissen aus Solarthermie2000.

Mit Abschluss von Solarthermie2000plus sind somit auch alle Aktivitäten zu Solarthermie2000 beendet.

1 Aufgabenstellung

Teilaufgabe 1

Vertiefende Untersuchungen zum Messtechnikeinsatz an solarthermischen Anlagen

Versuchsstand zum vergleichenden Test von Durchflussmessgeräten

Unter Einbeziehung der vorhandenen Laborkapazitäten war ein Teststand zu schaffen, der es ermöglicht, vom Messprinzip unterschiedliche Durchflussmessgeräte vergleichbaren Messbereichs im Einsatz zu vergleichen. Dabei interessierte sowohl die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Messwerte als auch das Reagieren auf Unzulänglichkeiten beim Einordnen des Gerätes in die Einbausituation (Strömungsvor- und – nachgeschichte).

Ziel dieser Untersuchungen war es, eine weitestgehend vollständige Übersicht zur grundsätzlich in Frage kommenden Gerätevielfalt zu liefern und dabei wertend eigene Messerfahrungen einzubeziehen. Wichtig war dabei die mögliche unterschiedliche Empfindlichkeit auf nicht normgerechte Einbau- und Betriebsbedingungen und die immer wieder wichtige Feststellung, „Was kostet Genauigkeitsgewinn?“

Mit Bezug auf die sich oft diametral gegenüberstehenden Kostenvorstellungen und Genauigkeitsanforderungen sollen tragbare Kompromisslösungen erarbeitet werden. (Denk- ansatz: Einbau preiswerter Einfachfühler – Nachkalibrierung im Bedarfsfall mit transportablem Präzisionsfühler oder vorherige Kalibrierung).

Systematisierende Zusammenstellung weiterer relevanter Messtechnik

Temperaturmessung

Mit dem Blickwinkel Kosteneinsparpotential war die aktuelle Sensorsituation zu sondieren und der dominierende Einsatz von Pt-Widerstandsfühlern in Vierleiterschaltung kritisch zu hinterfragen (Kostenfaktor doppelte Portzahl bei Wandler- bzw. Loggertechnik).

Strahlungsmessung

Auch auf diesem Gebiet sollte eine Recherche mögliche Alternativen zur bisher dominierenden Technik erbringen.

Datenerfassung und –verarbeitung

In Erwartung einer größeren Zahl unterschiedlicher solarthermischer Großanlagen in Solarthermie2000plus wurden deutliche Unterschiede in der Anforderung an die Realisierung der Datenerfassung und –weiterverarbeitung in Betracht gezogen. Hieraus sollten Schlussfolgerungen gezogen werden, inwieweit die bisherige Philosophie eines sich wiederholenden Loggersystems mit vergleichbaren Auswertealgorithmen noch durchsetzbar ist. Als ein alternativer Ansatz war festzustellen, ob die Einbeziehung von Messsignalen der regelungstechnischen Anlagenausstattung in das Monitoring zu Erleichterungen ohne nennenswerte Genauigkeitseinbusen führen könnte. Leider ging die Erwartung bezüglich der Anlagenanzahl nicht in Erfüllung.

Teilaufgabe 2

Wissenschaftliche Begleitung noch bestehender Anlagen aus Solarthermie2000 und neu errichteter Anlagen in Solarthermie2000+

Sofern bei noch in Betrieb befindlichen solarthermischen Großanlagen aus Solarthermie2000 die Betreiber kooperierten, wurde die kontinuierliche Erfassung, Interpretation und Veröffentlichung der Messdaten in Abhängigkeit der Funktionalität der vorhandenen Messtechnik weiter geführt. Auch kleinere Reparatur- bzw. Optimierungsaktivitäten konnten noch in Angriff genommen werden.

Die wissenschaftliche Begleitung innerhalb von Solarthermie2000plus war wie folgt vorzunehmen:

Die einzelnen Aktivitäten bestanden in der Mitwirkung bei der Auswahl geeigneter Objekte zur Solaranlagenerrichtung durch Ortsbesichtigungen, der kritischen Begleitung des Planungs- und Ausschreibungsprozesses einschließlich der Beratung von Antragsteller, Planer und Installateur, und der messtechnischen Kontrolle des Anlagenbetriebes. Zur messtechnischen Beobachtung gehörten die Konzeption der jeweiligen messtechnischen Ausstattung, die Abnahme dieser Technik, die kontinuierliche Messdatenauswertung der fertigen Anlagen, die Beseitigung von Störungen im Messbetrieb, die Dokumentation der Messergebnisse und die kritische Analyse der Messergebnisse. Daraus konnten bzw. können gegebenenfalls Vorschläge zur Optimierung des Anlagenbetriebes oder des Anlagenaufbaues erwachsen.

Eine wesentliche Teilaufgabe ist die Propagierung der Ergebnisse durch Präsentation in der Öffentlichkeit durch Vorträge und Veröffentlichungen und Einbeziehung in die Lehre.

2 Ablauf des Vorhabens

Teilaufgabe 1

Vertiefende Untersuchungen zum Messtechnikeinsatz an solarthermischen Anlagen

Die Konzeption und der Bau einschließlich Erprobung des Versuchsstandes zur Überprüfung von Durchflussmesstechnik erstreckten sich über den Zeitraum von Projektbeginn bis 12/2010. Ab 2011 bis Projektende lief die Messung diverser Sensoren in unterschiedlichen Einbausituationen bei unterschiedlichen Durchflussmengen.

Parallel zu allen anderen Aktivitäten fanden Recherchen zu den messtechnischen Zielstellungen während des gesamten Bearbeitungszeitraumes statt.

Teilaufgabe 2

Wissenschaftliche Begleitung noch bestehender Anlagen aus Solarthermie2000 und neu errichteter Anlagen in Solarthermie2000+

Für Altanlagen aus Solarthermie2000 belief sich die wissenschaftliche Begleitung durchgängig allein auf die fortgesetzte Messwerterfassung.

Innerhalb von Solarthermie2000plus konnten bis 31.12.2008 Förderanträge zur Errichtung von solarthermischen Großanlagen entsprechend der Randbedingungen des Förderkonzepts gestellt werden.

Insofern gehörten bis zu diesem Zeitpunkt folgende Aktivitäten zur Projektbearbeitung:

- Öffentlichkeitsarbeit zur Propagierung des Fördervorhabens, um Anträge zu generieren
- Rückinformation bei Voranfragen zu einem Demonstrationsvorhaben
- Mindestens eine Objektbesichtigung im Vorfeld
- Erstellung einer Vergabeempfehlung zur Förderung der Solaranlage
- Beratung des Planers bei der Erstellung der Ausschreibung und bei der Vergabe des Auftrages
- Erstellung der messtechnischen Ausschreibung
- Anschluss und Inbetriebnahme der Messtechnik
- Aufnahme und Auswertung der Messwerte
- Ableitung von Aussagen zum Anlagenbetrieb und gegebenenfalls Einleitung erforderlicher Optimierungsmaßnahmen
- Veröffentlichung der Projekterfahrungen.

Ab dem 01.01.2009 entfielen die Aktivitäten zur Generierung von Projektanfragen und zu Vorfeldbegutachtungen.

3 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen der Restaktivitäten zu Solarthermie2000 bestand Kooperation mit den beiden Unterauftragnehmern Steinbeis-Innovationszentrum Energie- und Umwelttechnik Oelsnitz/Erzgeb. und Ingenieurbüro D.E.U.T. Teuchern.

Im Rahmen von Solarthermie2000plus kam es zu Kontakten, zeitweisen Kooperationen und Informationsaustausch mit anderen im Förderkonzept involvierten Forschungseinrichtungen: Arbeitsgruppe Solarthermie am Institut Thermodynamik der Universität Stuttgart, Abteilung solare Kühlung am Fraunhofer ISE Freiburg, Fachgebiet Solar- und Anlagentechnik an der Universität Kassel.

In beiden Förderprogrammen bestand Zusammenarbeit in Form von Daten- und Informationsaustausch mit ZfS - Rationelle Energietechnik GmbH bis zu deren Liquidation.

4 Verwertung der FE-Ergebnisse

Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Das projektbegleitende Messprogramm diente dazu, die für die diversen Bewertungen der zu demonstrierenden thermischen Solartechnik notwendigen Daten zu liefern. Es soll ermöglichen, abgesicherte Aussagen zu folgenden Punkten zu machen:

- Allgemeine Betriebserfahrungen mit den Systemen (Probleme bei der Installation, Betriebsverhalten, Wartungsaufwand, Akzeptanz durch den Betreiber)
- Effizienz der Solarsysteme (Nutzungsgrade, solare Deckungsanteile)
- Vor- und Nachteile unterschiedlicher Systemkonfigurationen
- Wirtschaftlichkeit der Demonstrationsanlagen
- Optimierungspotential an den installierten Systemen und für künftig zu errichtende Anlagen mit ähnlicher Nutzung
- Langzeitstabilität der Komponenten und des Betriebsverhaltens
- Erweiterungsfähigkeit der Solarthermie von der einfachen Brauchwassererwärmung auf weitere Wärmeabnehmer wie Gebäudeheizung, Prozesswärme, thermisch angetriebene Kühlprozesse.

Die Erkenntnisse aus diesem Messprogramm wurden und werden in geeigneter Form der Öffentlichkeit (Planern, Herstellern, Handwerkern, Verbänden, Forschern, Privatpersonen usw.) zur Verfügung gestellt (durch Seminare, Broschüren, Zeitschriftenartikel etc.), siehe auch Kapitel 7.6 und Kapitel 8. Auf diesem Weg soll die Kenntnis über die Möglichkeiten der Solartechnik, aber auch über ihre Einsatzgrenzen verbreitet und vertieft werden. In Verbindung mit einer sorgfältigen Auswahl der Demonstrationsanlagen wird zudem belegt, dass die thermische Solartechnik durchaus eine wirtschaftlich interessante Ergänzung zu konventionellen Wärmeerzeugungssystemen darstellen kann.

Know-how-Transfer

Der Erfolg eines Forschungsprojektes oder -programms hängt nicht nur von der Qualität der geleisteten Arbeiten ab, sondern auch von der Vermittlung der Ergebnisse an die interessierten Kreise, damit sie an der für sie maßgeblichen Stelle dazu beitragen können, die neue Technik weiterzuentwickeln oder ihre Vorzüge bekanntzumachen.

Im Rahmen des Projektes wurde die Möglichkeit genutzt, z.B. im Rahmen von Studien- und Diplomarbeiten sowie durch Kooperation mit anderen Hochschulen und Bildungseinrichtungen, den Studenten oder anderen Auszubildenden die Solartechnik näherzubringen. Zusätzlich wurden im Rahmen von Seminaren, Fachveranstaltungen etc. die Projektergebnisse in geeigneter Form präsentiert.

Die Technische Universität Chemnitz bildet traditionell seit mehr als 40 Jahren Diplomingenieure in der Fachrichtung Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik aus.

Zur Hauptfachausbildung gehören die mit Prüfungen abzuschließenden Fächer "Grundlagen der HLK-Technik" und "Regenerative Energietechnik". Hier wirken sich die Ergebnisse des Programms "Solarthermie 2000" des Förderkonzeptes „Solarthermie 2000plus“ besonders befruchtend, sowohl auf Vorlesungen als auch auf Übungen, Seminare und Praktika, aus.

Der Know-how-Transfer ist jedoch keineswegs auf die wissenschaftliche Ebene beschränkt, er wurde vielmehr mit großer Intensität auch auf folgende Bereiche ausgedehnt:

- Behörden
- planende Stellen
- Komponentenhersteller
- installierendes Gewerbe
- Betreiber

Wie bereits erläutert, wurden die für derartige Maßnahmen zuständigen Behörden, die Planer und die Betreiber bereits bei der Systemdefinition in das Programm eingebunden. Selbstverständlich wurde und wird dieser Personenkreis auch über die im Rahmen des begleitenden Messprogramms ermittelten Betriebsergebnisse informiert; Verbesserungsvorschläge werden in diesem Kreis diskutiert und abgestimmt, so dass der Kenntnisstand ständig erweitert werden kann. Ein dritter Schwerpunkt des Erfahrungsaustausches liegt im Bereich des produzierenden und des installierenden Gewerbes. Damit sollten mit fortschreitender Projektdauer immer mehr Firmen mit der neuen Technik vertraut werden. In regelmäßig stattfindenden Seminaren wurden allen Beteiligten (den Ministerien und ihren nachgeordneten Behörden, den Kommunen, dem Handwerk, dem produzierenden Gewerbe und anderen interessierten Beteiligten, z.B. Verbänden etc.) die Ergebnisse in einem intensiven Erfahrungsaustausch übermittelt.

Internetpräsentation

In der Bearbeitungszeit des Vorhabens wurden die beiden Internetauftritte zu Solarthermie2000 und zu Solarthermie2000plus, die vom Berichtersteller schon in den Vorläuferprojekten angelegt worden waren, weiter gepflegt, ausgebaut und aktualisiert.

Besonders aufmerksam wurde von Interessenten die interaktive Messdatenpräsentation ausgewählter Objekte innerhalb Solarthermie2000 aufgenommen.

5 Ausführliche Darstellung der Ergebnisse

Einleitung

Die Darstellung der Ergebnisse gliedert sich in die drei inhaltlichen Bearbeitungsgebiete des Forschungsvorhabens. Unter 5.1 werden die bewerteten Monitoringergebnisse der noch betreuten Solarthermie2000-Anlagen präsentiert. Generelle Feststellungen und Schlussfolgerungen basieren natürlich auch auf den in den Vorgängervorhaben gewonnenen Ergebnissen.

Innerhalb Kapitel 5.2 werden die Monitoring-Ergebnisse des Förderkonzeptes Solarthermie2000plus beschrieben.

Kapitel 5.3 dient der Darstellung der Ergebnisse zur Teilaufgabenstellung 1 dieses Vorhabens.

.

5.1 Fortführung des Solarthermie2000-Monitorings

Statistische Angaben

Alle 26 von der Arbeitsgruppe Solarthermie an der TU Chemnitz ständig oder zeitweise wissenschaftlich begleiteten Anlagen

| | |
|--|------------|
| Kreispflegeheim in Hilbersdorf (Landkreis Freiberg) | 108 m² FK |
| Berufliches Schulzentrum für Technik in Zschopau | 122 m² FK |
| Städtisches Alten- und Pflegeheim "M. A. Nexö" in Leipzig *) | 294 m² FK |
| Studentenwohnheim Joh.-R.-Becher Str. in Leipzig | 198 m² FK |
| Studentenwohnheim Innere Schneeberger Str. in Zwickau | 158 m² FK |
| Großgarage der Stadtreinigung Dresden | 151 m² FK |
| Stadtbad Chemnitz | 288 m² FK |
| Pleißenburgwerkstätten Leipzig | 100 m² FK |
| Kreiskrankenhaus Kirchberg | 180 m² FK |
| Studentenwohnheim Reichenhainer Str. 35/37 in Chemnitz | 100 m² VRK |
| Wohngebäude Glauchau, Lungwitzer Straße | 114 m² FK |
| Geibeltbad Pirna | 105 m² FK |
| Malteserkrankenhaus Bln./Charlottenburg **) | 286 m² FK |
| Pflegewohnheim Bln./Pankow **) | 110 m² FK |
| Seniorenheim Bln./Lichtenberg **) | 136 m² FK |
| Seniorenheim Bln./Mitte **) | 110 m² FK |
| Klinik Bosse Wittenberg **) | 152 m² FK |
| Universitätsklinik Rostock **) | 144 m² FK |
| KIEZ Ahrendsee **) | 80 m² FK |
| Kreiskrankenhaus Belzig **) | 196 m² FK |
| Wohngebäude Gradestraße Bln./Britz **) | 100 m² FK |
| Altenpflegeheim Koserow **) | 101 m² FK |
| TU-Mensa Magdeburg **) | 655 m² FK |
| Zoo Magdeburg **) | 115 m² FK |
| BSR Bln./Marzahn **) | 104 m² FK |
| Kreiskrankenhaus Wolgast **) | 172 m² FK |

FK...Flachkollektor VKR...Vakuumröhrenkollektor

*) zum Monitoring an ZFS- Rationelle Energietechnik GmbH übergeben

**) zum Monitoring von anderen Einrichtungen übernommen

Die Anlage in Glauchau ist innerhalb der 26 Demonstrationsanlagen zur Brauchwarmwasserbereitung die einzige mit zusätzlicher Gebäudeheizungsunterstützung

Abschließender Stand der Garantieverfüllung

| | |
|---|------------|
| ▪ Kreispflegeheim in Hilbersdorf (Landkreis Freiberg) | 108 m² FK |
| ▪ Berufliches Schulzentrum für Technik in Zschopau | 122 m² FK |
| ▪ Städtisches Alten- und Pflegeheim "M. A. Nexö" in Leipzig | 294 m² FK |
| ▪ Studentenwohnheim Joh.-R.-Becher Str. in Leipzig | 198 m² FK |
| ▪ Studentenwohnheim Innere Schneeberger Str. in Zwickau | 158 m² FK |
| ▪ Großgarage der Stadtreinigung Dresden | 151 m² FK |
| ▪ Stadtbad Chemnitz | 288 m² FK |
| ▪ Pleißenburgwerkstätten Leipzig | 100 m² FK |
| ▪ Kreiskrankenhaus Kirchberg | 180 m² FK |
| ▪ Studentenwohnheim Reichenhainer Str. 35/37 in Chemnitz | 100 m² VRK |
| ▪ Wohngebäude Glauchau, Lungwitzer Straße | 114 m² FK |
| ▪ Geibeltbad Pirna | 105 m² FK |
| ▪ Malteserkrankenhaus Bln./Charlottenburg | 286 m² FK |
| ▪ Pflegewohnheim Bln./Pankow | 110 m² FK |
| ▪ Seniorenheim Bln./Lichtenberg | 136 m² FK |
| ▪ Seniorenheim Bln./Mitte | 110 m² FK |
| ▪ Klinik Bosse Wittenberg | 152 m² FK |
| ▪ Universitätsklinik Rostock *) | 144 m² FK |
| ▪ KIEZ Ahrendsee | 80 m² FK |
| ▪ Kreiskrankenhaus Belzig | 196 m² FK |
| ▪ Wohngebäude Gradestraße Bln./Britz | 100 m² FK |
| ▪ Altenpflegeheim Koserow | 101 m² FK |
| ▪ TU-Mensa Magdeburg | 655 m² FK |
| ▪ Zoo Magdeburg | 115 m² FK |
| ▪ BSR Bln./Marzahn | 104 m² FK |
| ▪ Kreiskrankenhaus Wolgast | 172 m² FK |

Rote Schrift → Ertragsgarantie entsprechend der Vorgaben im Förderprogramm (siehe auch Abschlussbericht zum Vorgängerprojekt ISBN 978-39812586-0-8) erfüllt

*) Rostock noch kein störungsfreies Messjahr seit

Anlagen zum Monitoring im Berichtszeitraum

| | |
|---|------------|
| ▪ Kreispflegeheim in Hilbersdorf (Landkreis Freiberg) | 108 m² FK |
| ▪ Berufliches Schulzentrum für Technik in Zschopau | 122 m² FK |
| ▪ Städtisches Alten- und Pflegeheim "M. A. Nexö" in Leipzig | 294 m² FK |
| ▪ Studentenwohnheim Joh.-R.-Becher Str. in Leipzig | 198 m² FK |
| ▪ Studentenwohnheim Innere Schneeberger Str. in Zwickau | 158 m² FK |
| ▪ Großgarage der Stadtreinigung Dresden *) | 151 m² FK |
| ▪ Stadtbad Chemnitz *) | 288 m² FK |
| ▪ Pleißenburgwerkstätten Leipzig | 100 m² FK |
| ▪ Kreiskrankenhaus Kirchberg | 180 m² FK |
| ▪ Studentenwohnheim Reichenhainer Str. 35/37 in Chemnitz | 100 m² VRK |
| ▪ Wohngebäude Glauchau, Lungwitzer Straße | 114 m² FK |
| ▪ Geibeltbad Pirna | 105 m² FK |
| ▪ Malteserkrankenhaus Bln./Charlottenburg | 286 m² FK |
| ▪ Pflegewohnheim Bln./Pankow | 110 m² FK |
| ▪ Seniorenheim Bln./Lichtenberg | 136 m² FK |
| ▪ Seniorenheim Bln./Mitte *) | 110 m² FK |
| ▪ Klinik Bosse Wittenberg | 152 m² FK |
| ▪ Universitätsklinik Rostock | 144 m² FK |
| ▪ KIEZ Ahrendsee | 80 m² FK |
| ▪ Kreiskrankenhaus Belzig | 196 m² FK |
| ▪ Wohngebäude Gradestraße Bln./Britz | 100 m² FK |
| ▪ Altenpflegeheim Koserow *) | 101 m² FK |
| ▪ TU-Mensa Magdeburg | 655 m² FK |
| ▪ Zoo Magdeburg | 115 m² FK |
| ▪ BSR Bln./Marzahn | 104 m² FK |
| ▪ Kreiskrankenhaus Wolgast | 172 m² FK |

Blaue Schrift → Solaranlage nicht mehr vorhanden

Grüne Schrift → Anlage nicht mehr in Betrieb oder Datenübermittlung nicht mehr möglich

*) Datenübermittlung über längere Zeiträume gestört

Das Alten- und Pflegeheim in Leipzig wurde im Berichtszeitraum von der ZFS- Rationelle Energietechnik GmbH messtechnisch betreut.

Anmerkungen zu den weiterhin begleiteten Anlagen

Aufgrund des Alters der Messtechnik (das letzte Softwareupdate erfolgte 2002, die genutzten Geräte sind bis zu 20 Jahre alt) kommt es immer wieder und relativ häufig zu Ausfällen der Datenlogger. Aufgrund des nicht mehr möglichen Supports durch den Hersteller und dem Mangel an Ersatzgeräten konnten nicht alle Ausfälle zeitnah behoben werden. Fehler in der Software führen zu Messwerten mit falscher Zeit und Datumsangabe, die rückwirkend nicht mehr korrigiert werden können. Dies betrifft alle Anlagen. Teilweise treten die Fehler bei mehreren Anlage gleichzeitig bei überschreiten eines bestimmten Datums auf.

Trotz größerer zeitlicher Lücken bei der Messwertaufzeichnung kann die prinzipielle Funktion der Anlagen meist gut über die Systemnutzungsgrade, Wirkungsgrade und Arbeitszahlen überprüft werden.

Bei fast allen Anlagen kann über den Messzeitraum eine Abnahme der Leistungsfähigkeit festgestellt werden. Es kann aber nicht mit Sicherheit gesagt werden, dass diese Abnahme auf eine verringerte Ertragssituation der Anlage zurückzuführen ist. Aufgrund des hohen Alters der Volumenstromzähler (bis zu 15 Jahre) kann dieser Leistungsverlust auch ein Meßfehler sein. Es ist erwiesen, dass Volumenstromzähler mit wachsendem Alter einen höheren Anlaufvolumenstrom aufweisen. Da in allen Anlagen die gleichen Zählertypen eingebaut sind (mech. Flügelrad- oder Voltmannzähler) kann auch kein Unterschied zwischen den Anlagen festgestellt werden. Ein Ausbau der Zähler mit anschließender Überprüfung konnte aus finanziellen Gründen und (begründet) fehlendem Interesse der Betreiber nicht durchgeführt werden.

Die messtechnische Betreuung der nachfolgend beschriebenen Solaranlagen erfolgte im Berichtszeitraum im Unterauftrag durch

Steinbeis Innovationszentrum Energie- und Umwelttechnik

Dr.-Ing. Thomas Freitag

Hauptstraße 17

09376 Oelsnitz

und

Ingenieurbüro D.E.U.T.

Dipl.-Ing. V. Kranz

Steigerstraße 10

06682 Teuchern

Verwendete Bezeichnungen in den tabellarischen Übersichten:

| Symbol | Bezeichnung | Bemerkung |
|---------------|--|--|
| Tage | Messwerttage | Anzahl der Tage mit Messwertaufzeichnung |
| HI | Einstrahlung [kWh] | Kumulierte Solareinstrahlung auf Kollektorfeld |
| Koll_N_B | Kollektornutzungsgrad [%] brutto | $QKT / HI * 100\%$ ohne Abzug von Hilfsenergien |
| SYS_N_B | Systemnutzungsgrad [%] brutto | $QSV / HI * 100\%$ ohne Abzug von Hilfsenergien |
| SYS_AZ | Systemarbeitszahl | $QSV / \text{elektr. Hilfsenergie}$ |
| DCK_B_OZ | Solarer Deckungsgrad [%] | $QSV / \text{Gesamtwärmeaufwand ohne Zirkulation}$ |
| QKT | Energie am WÜ Solarkreis [kWh] | |
| QSP | Energieeintrag in Pufferspeicher [kWh] | |
| QSV | Solare Vorwärmung [kWh] | Energiebilanz am Trinkwasserstrom |
| SV | Volumen Vorwärmung [m³] | |
| VV | Gesamtwarmwasserverbrauch [m³] | |

Studentenwohnheim Johannes-R.-Becher-Straße in Leipzig

Förderkennzeichen 0329602 T



Diese Anlage gehörte von Beginn an zu den am besten funktionierenden Systemen. Die Datenerfassung verlief bis zum Projektende problemlos.

Die gute Performance der Demonstrationsanlage veranlasste das Studentenwerk als Betreiber der Anlage eine zweite Anlage ohne Fördermittel zu errichten.

Warmwasserverbrauch und Auslastung der Anlage sind seit Inbetriebnahme relativ gleichbleibend. Eine Tendenz zur Abnahme des Systemnutzungsgrades ist bei dieser Anlage nicht erkennbar. Die Anlage unterliegt einer regelmäßigen Wartung!

| Jahr | Tage | Koll_N_B | SYS_N_B | SYS_AZ | DCK_B_OZ | HI | QKT | QSV | VV | Auslastung |
|---------|------|----------|---------|--------|----------|---------|---------|---------|--------|------------|
| | | % | % | % | % | kWh | kWh | kWh | m³ | l/(m²/d) |
| MW** | 3108 | 41,7 | 48,4 | 31 | 23,3 | 4229116 | 1765465 | 2048848 | 173923 | 120 |
| 2008 | 328 | 45,5 | 38,8 | 24 | 25,7 | 455557 | 207064 | 176925 | 14658 | 112 |
| 2009 | 305 | 38,4 | 49 | 64 | 24,2 | 418104 | 160384 | * | 15897 | 130 |
| 2010 | 239 | 47,7 | 49 | * | 21,4 | 285425 | 136014 | 139954 | 11469 | 120 |
| 2011 | 153 | 47 | 51,4 | 29 | 22,1 | 185867 | 88574 | * | 8886 | 146 |
| ***2012 | 111 | 48,9 | 35,9 | 21 | 27,3 | 168893 | 82611 | 60574 | 4530 | 102 |

Bemerkungen:

* Keine sinnvollen Werte vorhanden

** Nutzungsgrade Mittelwert seit Inbetriebnahme bis 31.12.2007, Energien kumuliert, Auslastung im Jahr der Inbetriebnahme

*** 1.1.2012-30.6.2012

Studentenwohnheim Innere Schneeberger Straße in Zwickau

Förderkennzeichen 0329602 O



Die Datenerfassung konnte grundsätzlich bis zuletzt fortgesetzt werden. Allerdings hatte der Betreiber kein Interesse, nach Ablauf der Garantiephase die dann ausgefallenen Wasserzähler zu ersetzen. Damit sind die erfassten Daten im Berichtszeitraum nicht vollständig und nicht mehr zur Energiebilanz geeignet.

Zähler VV, SV, HAT, VZ ausgefallen, Ermittlung der Werte teilweise mit dem Rechenwerk; seitens des Betreibers kein Interesse am Weiterbetrieb der Messtechnik

2010 8.2.-13.9. Ausfall der Anlage

| Jahr | Tage | Koll_N_B | SYS_N_B | SYS_AZ | DKK_B_OZ | HI | QKT | QSV | VV | Auslastung |
|---------|------|----------|---------|--------|----------|---------|--------|-------|----------------|-----------------------|
| | | % | % | % | % | kWh | kWh | kWh | m ³ | l/(m ² /d) |
| MW** | 3462 | 38,2 | 34,6 | 34 | 19 | 1883946 | 719893 | * | * | 102 |
| 2008 | 284 | 41,4 | 40,6 | * | * | 153756 | 63678 | 62369 | * | * |
| 2009 | 249 | 33 | 33,0 | * | * | 127010 | 41451 | 41892 | * | * |
| 2010 | 307 | * | 6,2 | * | * | 170315 | 10778 | 10601 | * | * |
| 2011 | 287 | 44 | 37,9 | * | * | 185491 | 82288 | 70345 | * | * |
| ***2012 | 180 | * | * | * | * | * | * | 47449 | * | * |

Bemerkungen:

- * Keine sinnvollen Werte vorhanden
- ** Mittelwert seit Inbetriebnahme bis 31.12.2007
- *** 1.1.2012-30.6.2012

Stadtbad Chemnitz

Förderkennzeichen 0329602 X



Im Ergebnis von Rekonstruktionsarbeiten an der Badtechnik, die auch zu Beginn des Berichtszeitraumes noch andauerten, waren Komponenten der Monitoring-Technik grundsätzlich nicht mehr ansprechbar. Zeitweise war auch die gesamte Monitoring-Technik nicht nutzbar. Nach erfolgter Rekonstruktion wurde die Technik in großem Umfang durch das Augusthochwasser 2010 wieder beschädigt.

Im Verlaufe des aktuellen Berichtszeitraumes bestand beim Betreiber wenig Interesse an einem ordnungsgemäßen Betrieb der Anlage, was sicherlich auch in den mehrfachen Hochwasserstörungen begründet ist. Durch Umbaumaßnahmen an der Wärmeversorgung und drastisch reduzierten Warmwasserverbrauch fand keine nennenswerte Nutzung der Solaranlage für die Warmwasserbereitung mehr statt. Ein geringer Teil der Energie wurde in der Beckenwassererwärmung genutzt. Seit Juni 2012 gibt es Bestrebungen, die Solaranlage zusammen mit der Warmwassererzeugung umzubauen und auf den geringeren Verbrauch abzustimmen. Damit wäre wieder eine vollständig Nutzung der Energie möglich.

Letzte Feststellungen: Seitens des Betreibers ist vorgesehen, die Solaranlage weiter zu nutzen. Die entsprechenden Planer und Techniker erhielten hierbei Unterstützung von der Projektgruppe Solarthermie der TU Chemnitz. Inwieweit die Monitoring-Technik nochmals genutzt werden soll, dazu gab es bis Ende des Berichtszeitraumes widersprüchliche Aussagen.

| Jahr | Tage | Koll_N_B | SYS_N_B | SYS_AZ | DCK_B_OZ | HI | QKT | QSV | SV | VV | Auslastung |
|---------|------|----------|---------|--------|----------|--------|--------|-------|----------------|----------------|-----------------------|
| | | % | % | % | % | kWh | kWh | kWh | m ³ | m ³ | l/(m ² /d) |
| MW** | 3011 | 41,4 | 25,6 | 19 | * | * | * | * | * | * | 100 |
| 2008 | 272 | 46,7 | 7,6 | 6,9 | * | 257009 | 120143 | 19487 | 1138 | 4383 | 56 |
| 2009 | 243 | 44,3 | 23,4 | 17,4 | * | 203905 | 90362 | 47653 | 5954 | 6700 | 95 |
| 2010 | 160 | 43,4 | 27,7 | 18,5 | * | 167535 | 72713 | 46452 | 7253 | 5430 | 117 |
| 2011 | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| ***2012 | 24 | 0 | 0 | 0 | * | 16561 | 0 | 1353 | 202 | 366 | 52 |

Bemerkungen:

- * Keine sinnvollen Werte vorhanden
- ** Nutzungsgrade Mittelwert seit Inbetriebnahme bis 31.12.2007, Energien kumuliert, Auslastung im Jahr der Inbetriebnahme
- *** 1.1.2012-30.6.2012

Pleißenburgwerkstätten Leipzig

Förderkennzeichen 0329602 A



Die Betreiber sind sehr interessiert am Fortbestand der Anlagen- und Monitoring-Technik. Insofern wurde im Berichtszeitraum der defekte Datenlogger durch Austauschteile aus stillgelegten Anlagen funktionsfähig gehalten. Zudem wurden von der Projektgruppe Solarthermie der TU Chemnitz mehrere Kleinreparaturen zur weiteren Nutzung der Schautafel durchgeführt.

Die Datenerfassung lief bis Ende des Berichtszeitraumes relativ problemlos. Trotzdem kam es zu zeitweisen Ausfällen, so dass Aussagen zu kompletten Jahreserträgen und somit einer möglichen Entwicklungstendenz der solaren Erträge schwer fallen.

Warmwasserverbrauch und Auslastung der Anlage sind seit Inbetriebnahme relativ gleichbleibend. Eine gewisse Tendenz zur Abnahme des Systemnutzungsgrades ist erkennbar. Ob dies auf einem Meßfehler (siehe allgemeine Probleme Volumenstrommessung) basiert, kann aufgrund fehlender Vergleichswerte nicht festgestellt werden.

| Jahr | Tage | Koll_N_B | SYS_N_B | SYS_AZ | DKK_B_OZ | HI | QKT | QSV | SV | VV | Auslastung |
|---------|------|----------|---------|--------|----------|-------|-------|-------|----------------|----------------|-----------------------|
| | | % | % | % | % | kWh | kWh | kWh | m ³ | m ³ | l/(m ² /d) |
| MW** | 2827 | 28 | 20,6 | * | 37,6 | * | * | * | * | * | 36 |
| 2008 | 167 | 33,6 | 23 | 22,6 | 44,3 | 46479 | 15630 | 10718 | 469 | 469 | 29 |
| 2009 | 83 | 30,1 | 26 | 25,6 | 42,9 | 30530 | 9179 | 8066 | 324 | 324 | 40 |
| 2010 | 178 | 23,4 | 21 | 21 | 42,8 | 59025 | 13802 | 12643 | 614 | 614 | 35 |
| 2011 | 182 | 18,3 | 18 | 17,8 | 33,4 | 57918 | 10619 | 10632 | 887 | 887 | 50 |
| ***2012 | 156 | 24,4 | 20 | 19,2 | 34 | 59381 | 14466 | 11728 | 655 | 655 | 43 |

Bemerkungen:

* Keine sinnvollen Werte vorhanden

** Nutzungsgrade Mittelwert seit Inbetriebnahme bis 31.12.2007, Energien kumuliert, Auslastung im Jahr der Inbetriebnahme

*** 1.1.2012-30.6.2012

Kreiskrankenhaus Kirchberg

Förderkennzeichen 0329602 H



Die Datenerfassung ist prinzipiell bis Projektende durchgelaufen. Allerdings schaltete der Betreiber aus später nicht mehr nachvollziehbaren Gründen hin und wieder Modem oder Logger ab. Zur Wiederaufnahme der Messwerterfassung machten sich dann vor Ort Besuche erforderlich.

Warmwasserverbrauch und Auslastung der Anlage sind seit Inbetriebnahme von $\sim 70 \text{ l/m}^2\text{d}$ auf $\sim 50 \text{ l/m}^2\text{d}$ zurückgegangen. Infolge dessen ist eine Tendenz zur Abnahme des Systemnutzungsgrades zu erkennen. Diese Anlage weist im Vergleich zu den anderen Anlagen den besten Wartungsstand auf.

| Jahr | Tage | Koll_N_B | SYS_N_B | SYS_AZ | DCN_B_OZ | HI | QKT | QSV | VV | Auslastung |
|---------|------|----------|---------|--------|----------|---------|--------|--------|----------------|-----------------------|
| | | % | % | % | % | kWh | kWh | kWh | m ³ | l/(m ² /d) |
| MW** | 7950 | 41 | 39,8 | 54 | 33 | 1442949 | 590938 | 574942 | 28535 | 70 |
| 2008 | 93 | 41,6 | 36,1 | 47,3 | 53,3 | 75427 | 31119 | 25078 | 779 | 46 |
| 2009 | 250 | 38 | 37 | 50 | 35 | 152638 | 57539 | 52412 | 2372 | 52 |
| 2010 | 284 | 36,2 | 35,6 | 48,3 | 36,3 | 173272 | 62165 | 58473 | 2643 | 51 |
| 2011 | 289 | 36,6 | 35,8 | 49 | 39 | 177044 | 63280 | 60128 | 2424 | 46 |
| ***2012 | 167 | 35,4 | 31,8 | 45,1 | 35 | 102723 | 35087 | 31156 | 1394 | 47 |

Bemerkungen:

- * Keine sinnvollen Werte vorhanden
- ** Nutzungsgrade Mittelwert seit Inbetriebnahme bis 31.12.2007, Energien kumuliert, Auslastung im Jahr der Inbetriebnahme
- *** 1.1.2012-30.6.2012

Großgarage der Stadtreinigung Dresden

Förderkennzeichen 0329602 P



Nach dem Anlagenumbau im Jahr 2003 wurden zusätzliche Verbraucher an die Anlage angeschlossen, ohne dass damals in Abstimmung mit der Projektgruppe die Monitoring-Technik angepasst werden konnte (vergl. Bericht zum Zeitraum 2000 – 2008). Dadurch wird nicht der gesamte Warmwasserverbrauch messtechnisch erfasst. Eine Bilanzierung ist dadurch nur mit der Speicherbeladung QSP möglich. Außerdem sind die Zähler KT, SE schleichend ausgefallen. Somit werden alle Werte hilfsweise mit QSP errechnet.

Das Interesse des Betreibers an Kommunikation mit Projektgruppe wurde aufgrund Personalwechsels immer geringer.

Der Warmwasserverbrauch kann aus o.g. Gründen nicht festgestellt werden. Die dargestellten Systemnutzungsgrade wurden mit der Speicherentladung errechnet. Eine eindeutige Tendenz kann daraus nicht festgestellt werden.

| Jahr | Tage | Koll_N_B | SYS_N_B | SYS_AZ | DCK_B_OZ | HI | QKT | QSP | VV |
|---------|-------|----------|---------|--------|----------|--------|-----|-------|----------------|
| | | % | % | % | % | kWh | kWh | kWh | m ³ |
| MW** | 10821 | 25,8 | 16,7 | 20 | 34,6 | * | * | * | * |
| 2008 | 58 | 24 | 24 | 30 | * | 23771 | * | 5622 | 189,3 |
| 2009 | 263 | 20 | 20 | 31 | * | 131026 | * | 26170 | 947 |
| 2010 | 221 | 16 | 16 | 22 | * | 94260 | * | 14959 | 770 |
| 2011 | 184 | 15 | 15 | 15 | * | 89013 | * | 13151 | 787 |
| ***2012 | 86 | 17 | 17 | 23 | * | 35961 | * | 6247 | 823 |

Bemerkungen:

- * Keine sinnvollen Werte vorhanden
- ** Nutzungsgrade Mittelwert seit Inbetriebnahme bis 31.12.2007, Energien kumuliert, Auslastung im Jahr der Inbetriebnahme
- *** 1.1.2012-30.6.2012

Technische Universität Chemnitz, Professur Technische Thermodynamik, Projektgruppe Solarthermie, 09126 Chemnitz

Telefon 0371 / 531 32546 und 531 37367 Telefax 0371 / 531 832546, Internet: <http://www.tu-chemnitz.de/mb/TechnThDyn/>

Studentenwohnheim Reichenhainer Straße 35/37 in Chemnitz

Förderkennzeichen 0329602 F



Die Messdatenerfassung lief fast durchgängig. Kleinere Ausfälle konnten kurzfristig wieder korrigiert werden.

Die Einstrahlungsmessung EI1 in Kollektorebene ist fehlerbehaftet, da die Anlage an senkrechter Wand montiert ist und dort keine zuverlässige Messung möglich ist (Teilverschattung u.ä. Probleme).

Warmwasserverbrauch und Auslastung der Anlage sind seit Inbetriebnahme relativ gleichbleibend. Eine Tendenz zur Abnahme des Systemnutzungsgrades ist bei dieser Anlage nicht erkennbar. Im Gegensatz zu den anderen vermessenen Anlage handelt es sich bei dieser Anlage um Vakuumröhrenkollektoren. Deshalb ist eine mögliche Erklärung für den stabileren Systemnutzungsgrad eine geringere Degradation von Vakuumröhren gegenüber Flachkollektoren. Andererseits könnten hier jedoch auch die Wasserzähler stabiler geblieben sein.

| Jahr | Tage | Koll_N_B | SYS_N_B | SYS_AZ | DCK_B_OZ | HI | QKT | QSV | SV | VV | Auslastung |
|---------|------|----------|---------|--------|----------|-------|--------|--------|------|------|------------|
| | | % | % | % | % | kWh | kWh | kWh | m³ | m³ | l/(m²/d) |
| MW** | 2195 | * | * | 24,1 | 12,6 | * | 209499 | 203829 | * | * | 129 |
| 2008 | 216 | * | * | * | * | 35601 | 19281 | * | 2166 | 2166 | 100 |
| 2009 | 190 | 51 | 49,8 | 20 | 8,1 | 43940 | 14797 | 14423 | 2226 | 2226 | 117 |
| 2010 | 220 | 42 | 43,8 | 22,4 | 9,2 | 51554 | 20799 | 21673 | 2510 | 2510 | 114 |
| 2011 | 293 | 41 | 43 | 24,8 | 9,7 | 76910 | 30594 | 31707 | 3702 | 3702 | 126 |
| ***2012 | 115 | 45 | 36 | 19,6 | 7 | 26051 | 11314 | 8993 | 1364 | 1364 | 103 |

Bemerkungen:

- * Keine sinnvollen Werte vorhanden
- ** Nutzungsgrade Mittelwert seit Inbetriebnahme bis 31.12.2007, Energien kumuliert, Auslastung im Jahr der Inbetriebnahme
- *** 1.1.2012-30.6.2012

Technische Universität Chemnitz, Professur Technische Thermodynamik, Projektgruppe Solarthermie, 09126 Chemnitz

Telefon 0371 / 531 32546 und 531 37367 Telefax 0371 / 531 832546, Internet: <http://www.tu-chemnitz.de/mb/TechnThDyn/>

Wohngebäude Glauchau Lungwitzer Straße

Förderkennzeichen 0329602 S



Wegen der unerklärlich schlechten Betriebsergebnisse der Anlage war gegen Ende des Vorgängerprojektes von der Projektgruppe der TU Chemnitz eine Kontrolle des Pufferspeichers angeregt worden. Dies erbrachte auch tatsächlich die Feststellung eines nicht funktionsfähigen Beladesystems.

Zu Beginn des Berichtszeitraumes erfolgte der Umbau der nicht funktionsfähigen Beladelenzen im Pufferspeicher. Im Herbst 2008 ging die Anlage mit dem umgebauten Pufferspeicher wieder in Betrieb. Ein direkter Vergleich der Messergebnisse vor und nach Umbau ist deshalb nicht möglich, weil auch am Regelungsschema geändert wurde (betrif Kesselregelung, ohne konkrete Information an die Projektgruppe).

Im Zuge des Anlagenumbaus wurden von der TU Chemnitz Empfehlungen ausgesprochen, in aufeinanderfolgenden Zeiträumen unterschiedliche Formen des Pufferspeicherbetriebes zu testen. Betriebsphase 1 ist ein Pufferspeicherbetrieb mit einem konventionell nachgeheizten Bereitschaftsvolumen. Für Betriebsphase 2 wäre ein reiner Pufferbetrieb mit Nachheizung im Wärmeübertrager des Brennwertkessels vorgesehen.

Zur Umsetzung von Stufe 2 kam es in der Projektlaufzeit nicht mehr.

Ab 2008 wurde der Durchsatz im Kollektorkreis von 6-9 l/m²h auf 15-20 l/m²h erhöht. Dadurch ist eine Erhöhung des Anlagenwirkungsgrades um 3-5% Punkte erkennbar. Im Sommer 2009 wurde in Abstimmung mit der TU Chemnitz die Solarregelung optimiert, vor allem angepasste Volumenströme.

Damit konnte im Juli 2009 ein neuer Garantiemesszeitraum gestartet werden. Im Verlauf des geplanten Messzeitraumes fiel der Datenlogger mehrmals aus und musste wieder in Stand gesetzt werden. Es konnte bis zum Ende der Projektlaufzeit kein vollständiger Jahresmesszeitraum realisiert werden. Die tendenzielle Aussage lautet: Die solaren Erträge konnten nach dem Anlagenumbau erhöht werden. Die vorgegebene Ertragsgarantie wird weiterhin verfehlt.

Warmwasserverbrauch und Auslastung der Anlage seit Inbetriebnahme relativ gleichbleibend. Tendenz zur Abnahme des Systemnutzungsgrades ist nicht erkennbar. Bemerkenswert ist die hohe und ansteigende Systemarbeitszahl. Dies ist höchstwahrscheinlich Fehlmessungen geschuldet. Aufgrund der häufigen und nicht vollständig nachvollziehbaren Umbauten kann nicht mit Sicherheit davon ausgegangen werden, dass der Stromverbrauch aller Pumpen und Regler erfasst wird.

Die Schautafel zur Darstellung der Betriebswerte ist seit 2010 ausgefallen. 2012 wurden Schautafel und Modemverbindung abgebaut. Dadurch ist keine Messwerterfassung mehr möglich. Ein Interesse des Betreibers an weiterer Zusammenarbeit ist offensichtlich nicht mehr vorhanden.

| Jahr | Tage | Koll_N_B | SYS_N_B | SYS_AZ | DCK_B_OZ | HI | QKT | QSV | VV | Auslastung |
|---------|------|----------|---------|--------|----------|--------|--------|-----|------|------------|
| | | % | % | % | % | kWh | kWh | kWh | m³ | l/(m²/d) |
| MW** | 1942 | 18,6 | 18,6 | 96 | 7,4 | 655733 | 121902 | *4 | 4882 | *4 |
| 2008 | 241 | 5,9 | 5,9 | 36 | 5,4 | 96052 | 5668 | *4 | 456 | *4 |
| 2009 | 105 | 21 | 21 | 127 | 11,5 | 72449 | 15203 | *4 | 479 | *4 |
| 2010 | 247 | 24,4 | 24,4 | 141 | 12,3 | 87187 | 21275 | *4 | 508 | *4 |
| 2011 | 282 | 28 | 28 | 137 | 15,4 | 109001 | 30415 | *4 | 546 | *4 |
| ***2012 | 46 | 12,2 | 12,2 | 81 | 1,9 | 8029 | 982 | *4 | 72 | *4 |

Bemerkungen:

- * Keine sinnvollen Werte vorhanden
- ** Nutzungsgrade Mittelwert seit Inbetriebnahme bis 31.12.2007, Energien kumuliert, Auslastung im Jahr der Inbetriebnahme
- *** 1.1.2012-30.6.2012
- *4 Aufgrund der Anlagenhydraulik nicht messbar, Anlage zur Heizungsunterstützung

Geibeltbad Pirna

Förderkennzeichen 0329602 U



Die Datenerfassung verlief weitgehend störungsfrei. Die Ertragssituation der Solaranlage ist nahezu unverändert. Sie entspricht den zu erwartenden Werten.

Vom 1.1.2009 bis 31.12.2009 wurde nochmals ein Garantieüberprüfungszeitraum in Angriff genommen. Die Messergebnisse erbrachten eine Erfüllung der Garantievorgaben mit 86%. Obwohl die Anlage normal funktioniert, ist dies in erster Linie mit dem von Anfang an zu hoch prognostizierten Wasserverbrauch zu begründen.

Der Betrieb der Anlage ist im Großen und Ganzen unproblematisch. Der Betreiber nimmt allerdings sporadisch Änderungen an Regelung und Anlagenkonzept vor, so dass unterschiedliche Betriebsergebnisse auch darin ihre Ursache haben können. Unter anderem wurde in der Technikzentrale eine Wärmepumpe zur Absenkung der Raumtemperatur eingebaut. Nun ist der Raum zwar relativ kühl aber die Speicher- und Rohrleitungsverluste sind viel höher. Ab und zu wird auch an der Messtechnik "frei variiert".

| Jahr | Tage | Koll_N_B | SYS_N_B | SYS_AZ | DCK_B_MZ | HI | QKT | QSV | VV | Auslastung |
|---------|------|----------|---------|--------|----------|--------|--------|--------|----------------|-----------------------|
| | | % | % | % | % | kWh | kWh | kWh | m ³ | l/(m ² /d) |
| MW** | 1524 | 40,7 | 36,1 | 50 | 16,2 | 517468 | 210476 | 187038 | 16786 | 70 |
| 2008 | 113 | 30,4 | 32,7 | 40,7 | 10,3 | 18945 | 5757 | 6202 | 1133 | 96 |
| 2009 | 341 | 40,7 | 39,1 | 33,8 | 23,7 | 113201 | 46111 | 44263 | 3325 | 93 |
| 2010 | 365 | 61,3 | 57,9 | 71,2 | 23,5 | 68928 | 42272 | 39890 | 3492 | 91 |
| 2011 | 365 | 39,2 | 36 | 77 | 25,6 | 129617 | 50828 | 46712 | 3573 | 93 |
| ***2012 | 182 | 25,6 | 14,8 | 33,3 | 15,4 | 64095 | 16382 | 9487 | 1341 | 68 |

Bemerkungen:

* Keine sinnvollen Werte vorhanden

** Nutzungsgrade Mittelwert seit Inbetriebnahme bis 31.12.2007, Energien kumuliert, Auslastung im Jahr der Inbetriebnahme

*** 1.1.2012-30.6.2012

Malteser-Krankenhaus Berlin/Charlottenburg

Förderkennzeichen 0329603 D



Die Datenerfassung verläuft ohne größere Ausfälle. Die Ertragswerte bewegen sich innerhalb der Größenordnungen der im Vorgängerbericht dokumentierten Garantieberechnungen.

Die 1999 installierte Solaranlage dient zur Brauchwassererwärmung im Malteser Krankenhaus in Berlin-Charlottenburg. Ausgehend von einem durchschnittlichen Tagesverbrauch von 21.000 l Warmwasser wurde eine Kollektorfläche von 286 m² und ein Pufferspeicher von 15 m³ installiert. Die Solaranlage wurde im Dezember 1999 in Betrieb genommen und hat den garantierten Solarertrag von 145.000 kWh im Messzeitraum erreicht.

Zustand:

Anhand der eingehenden Messdaten kann eine ordnungsgemäße Funktion der Anlage festgestellt werden. Einzig das Mischerventil zur Anhebung des Zirkulationsrücklaufs machte Probleme, so dass die Wärmeabgabe zeitweise nicht optimal funktionierte. Eine Messdatenerfassung und -übertragung findet statt.

Messwerte Rechenwerk (12/99-06/12):

kumulierter Solarertrag: 1.053 MWh; kumulierter Verbrauch: 58.179 m³

Übersicht Messdaten (11/02-11/11):

| Jahr | HI | Koll_N_B | QKT | QSP | QSE | QSV | SYS_N_B | SV |
|--------------|------------|-----------------|------------|------------|------------|------------|----------------|-----------|
| 00-01 | 322.345,00 | 36,1 | 116.327,50 | 113.887,03 | 101.715,67 | 104.921,74 | 32,5 | 5.080 |
| 02-03 | 380.384,68 | 25,0 | 95.222,48 | 93.132,98 | 84.204,61 | 84.304,46 | 22,2 | 6.339 |
| 03-04 | 332.910,71 | 31,8 | 105.804,46 | 103.499,97 | 99.199,79 | 93.672,71 | 28,1 | 5.476 |
| 04-05 | 355.675,26 | 29,9 | 106.479,70 | 104.669,96 | 100.473,71 | 91.135,69 | 25,6 | 4.015 |
| 05-06 | 354.256,55 | 27,1 | 96.092,96 | 94.696,61 | 89.068,48 | 80.740,42 | 22,8 | 3.635 |
| 06-07 | 351.404,93 | 30,6 | 107.516,52 | 83.779,32 | 81.488,36 | 77.171,23 | 22,0 | 4.414 |
| 07-08 | 312.921,38 | 28,6 | 89.646,35 | 67.686,67 | 65.619,45 | 62.090,35 | 19,8 | 3.810 |
| 08-09 | 350.741,73 | 25,7 | 90.275,71 | 69.083,54 | 66.483,92 | 62.339,68 | 17,8 | 3.613 |
| 09-10 | 318.696,93 | 28,8 | 91.642,26 | 75.539,19 | 71.941,41 | 66.143,75 | 20,8 | 3.506 |
| 10-11 | 358.961,32 | 27,0 | 97.010,00 | 85.157,65 | 78.868,74 | 71.530,96 | 19,9 | 3.169 |

Einschätzung:

Die aufsummierten Werte des Rechenwerks zeigen die ordnungsgemäße Funktion der Solaranlage - danach hätte die Anlage in 12,5 Jahren einen Ertrag von etwa 1.812 MWh erbringen sollen - allerdings bei einem WW-Verbrauch von ca 88.750 m³.

Pflegewohnheim Berlin/Pankow

Förderkennzeichen 43P3429



Im vorhergehenden Berichtszeitraum konnte die Anlage in keiner Messphase die Garantievorgaben erfüllen. Nach einem teilweisen Umbau, der leider ohne Abstimmung mit der Projektgruppe erfolgte, erwartete man eine Verbesserung. Zu diesem Zweck musste seitens der wissenschaftlichen Begleitung das Monitoring-System neu angepasst werden.

Die solaren Erträge bewegen sich auch nach dem Umbau unterhalb der Garantievorgaben und sind eher noch schlechter geworden.

Warmwasserverbrauch und Auslastung der Anlage sind seit Inbetriebnahme leicht rückläufig. Eine Tendenz zur Abnahme des Systemnutzungsgrades ist erkennbar.

In wieweit die sehr geringen Arbeitszahlen realistisch sind, kann aufgrund der nicht sicher nachvollziehbaren Verkabelung nicht gesagt werden. Es ist durchaus möglich, dass noch andere elektrische Verbraucher über den Stromzähler der Solaranlage versorgt werden.

| Jahr | Tage | Koll_N_B | SYS_N_B | SYS_AZ | DCK_B_MZ | HI | QKT | QSV | VV | Auslastung |
|---------|------|----------|---------|--------|----------|---------|--------|--------|----------------|-----------------------|
| | | % | % | % | % | kWh | kWh | kWh | m ³ | l/(m ² /d) |
| MW** | 3331 | 23,4 | 25,8 | 16,2 | 14,4 | 1178335 | 275720 | 303863 | 25945 | ~80 |
| 2008 | 311 | 16,1 | 6,4 | 4,4 | 3,4 | 111573 | 17937 | 7155 | 1906 | 47 |
| 2009 | 180 | 16,8 | 16,8 | 10,6 | 5,7 | 56053 | 9404 | 9413 | 959 | 48 |
| 2010 | 311 | 17,6 | 16,8 | 10,5 | 6,5 | 101214 | 17791 | 16966 | 1529 | 45 |
| 2011 | 312 | 15,3 | 9,8 | 7 | 36,2 | 112397 | 17248 | 11062 | 1714 | 50 |
| ***2012 | 112 | 15,6 | 12,5 | 9,2 | 72,9 | 34446 | 5435 | 4356 | 614 | 49 |

Bemerkungen:

- * Keine sinnvollen Werte vorhanden
- ** Nutzungsgrade Mittelwert seit Inbetriebnahme bis 31.12.2007, Energien kumuliert, Auslastung im Jahr der Inbetriebnahme
- *** 1.1.2012-30.6.2012

Seniorenheim "Weinbergsweg" Berlin Mitte

Förderkennzeichen 0329602 E



2008-2010 keine Messwertübertragung möglich, da der Betreiber keinen Telefonanschluss zur Verfügung stellen konnte/wollte. Pyranometer EI1 defekt, Ersatz nicht möglich.

Mehrfach wurde die Telefonleitung für das Messdatenmodem getrennt und anderweitig genutzt. Nach teilweise etwas zäher Kommunikation wurde die Telefonverbindung 2011 wieder in Stand gesetzt.

Der Nutzer des Hauses ist nicht der Eigentümer. Somit ist offensichtlich das Interesse des Betreibers an weiterer Instandhaltung der Messtechnik sehr gering.

| Jahr | Tage | Koll_N_B | SYS_N_B | SYS_AZ | DCK_B_OZ | HI | QKT | QSV | VV | Auslastung |
|---------|------|----------|---------|--------|----------|-----|-----|-------|-----|------------|
| | | % | % | % | % | kWh | kWh | kWh | m³ | l/(m²/d) |
| MW** | 2748 | 32,9 | 33 | 28,2 | 33,7 | * | * | * | * | 60 |
| 2008 | 0 | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| 2009 | 0 | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| 2010 | 0 | * | * | * | * | * | * | * | * | 13 |
| 2011 | 40 | * | * | * | * | * | * | 784 | 160 | 37 |
| ***2012 | 150 | * | * | * | * | * | 136 | 14311 | 769 | 46 |

Bemerkungen:

- * Keine sinnvollen Werte vorhanden
- ** Nutzungsgrade Mittelwert seit Inbetriebnahme bis 31.12.2007, Energien kumuliert, Auslastung im Jahr der Inbetriebnahme
- *** 1.1.2012-30.6.2012

Klinik Bosse Wittenberg**Förderkennzeichen 0329603 C**

Die errichtete Solaranlage dient zur Brauchwassererwärmung in der Klinik Bosse.

Außerdem ist es möglich, bei hoher Einstrahlung und/oder geringem Warmwasserverbrauch den Rücklauf des Bewegungsbeckens anzuheben. Das Objekt wurde 1998/99 errichtet und im Frühjahr 1999 in Betrieb genommen - gleichzeitig mit den Baumaßnahmen wurde die Solaranlage errichtet und im September 1999 der Probetrieb aufgenommen. Ausgehend von einem geplanten Tagesverbrauch von 11.000 l Warmwasser wurde eine Kollektorfläche von 152 m² und ein Pufferspeicher von 8 m³ installiert. Den garantierten Solarertrag von 73.000 kWh hat die Anlage im Messzeitraum erreicht.

Zustand:

Anhand der eingehenden Messdaten kann eine ordnungsgemäße Funktion der Anlage festgestellt werden. Eine Messdatenerfassung und -übertragung findet statt.

Messwerte Rechenwerk (08/99-07/12):

kumulierter Solarertrag: 778,3 MWh;

kumulierter Verbrauch: 33.631 m³

Übersicht Messdaten (08/99-03/12):

| Jahr | HI | Koll_N_B | QKT | QSP | QSE | QSV | SYS_N_B | Verbrauch |
|--------------|---|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|-----------|
| 00-01 | 186.653,81 | 30,7 | 57.264,03 | 57.923,34 | 52.342,95 | 47.379,22 | 25,4 | 1.930 |
| 01-02 | 173.769,78 | 28,9 | 50.222,05 | 50.918,41 | 47.868,05 | 42.428,57 | 24,4 | 1.824 |
| 02-03 | 172.637,94 | 23,9 | 41.234,57 | 41.833,10 | 34.757,46 | 33.274,86 | 19,3 | 2.610 |
| 03-04 | 206.576,35 | 28,3 | 58.429,58 | 59.333,94 | 56.355,68 | 50.299,47 | 24,3 | 2.722 |
| 04-05 | 170.694,86 | 28,9 | 49.332,84 | 50.056,05 | 49.142,10 | 45.184,27 | 26,5 | 2.298 |
| 05-06 | 195.104,88 | 23,7 | 46.149,65 | 47.162,70 | 46.135,37 | 43.867,59 | 22,5 | 2.541 |
| 06-07 | 194.566,05 | 34,8 | 67.626,65 | 69.554,20 | 71.594,68 | 72.012,41 | 37,0 | 2.408 |
| 07-08 | 158.404,31 | 33,2 | 52.563,34 | 54.039,06 | 55.619,98 | 30.406,76 | 19,2 | 1.863 |
| 08-09 | Datenausfall durch Loggerprobleme | | | | | | | |
| 09-10 | Datenausfall durch Loggerprobleme - Einbau neuer Logger | | | | | | | |
| 10-11 | 197.404,66 | 26,7 | 57.479,47 | 57.862,68 | 54.345,33 | 49.627,85 | 25,5 | 2.441 |
| 11-12 | 185.742,44 | 27,4 | 54.327,49 | 54.718,11 | 50.478,85 | 45.268,69 | 25,4 | 2.384 |

Einschätzung:

Die aufsummierten Werte des Rechenwerks zeigen eine ordnungsgemäße Funktion der Solaranlage - den nach 13 Jahren prognostizierten Ertrag von etwa 948 MWh hätte die Anlage bei einem WW-Verbrauch von ca 48.200 m³ erbringen sollen.

Universitätsklinik Rostock-Gehlsdorf

Förderkennzeichen 0329603 N



Die Solaranlage dient zur Brauchwassererwärmung sowie zur Anhebung der Temperatur des Beckenwasserrücklaufs für das Therapiebecken in der Uni-Klinik. Der in Zukunft zu erwartende WW-Verbrauch wurde mit 7 m³ pro Tag prognostiziert und dafür ein Pufferspeichervolumen von 12 m³ und eine Kollektorfläche von 144m² installiert. Die Solaranlage wurde von 2003-2005 installiert und der Probetrieb Ende 2006 aufgenommen. Die Anlage hat den garantierten Solarertrag von 77.200 kWh im Messzeitraum nicht erreicht.

Zustand:

Anhand der eingehenden Messdaten kann eine ordnungsgemäße Funktion der Anlage festgestellt werden, obwohl diese nicht optimal läuft. Die Probleme dafür liegen im Kollektorkreis selbst, worüber der Betreiber bereits vor Jahren informiert wurde. Eine Messdatenerfassung und -übertragung findet aktuell noch statt.

Messwerte Rechenwerk (10/05-06/12):

kumulierter Solarertrag: 158,63 MWh; kumulierter Verbrauch: 15.434 m³

Übersicht Messdaten (04/08-04/12):

| Jahr | HI | Koll_N_B | QKT | QSP | QSE | QSV | SYS_N_B | Verbrauch |
|--------------|------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|-----------|
| 08-09 | 166.456,40 | 18,3 | 30.495,64 | 33.930,16 | 33.290,32 | 35.468,65 | 21,3 | 2.409 |
| 09-10 | 167.584,68 | 25,9 | 43.328,09 | 49.068,49 | 47.832,45 | 48.637,63 | 29,0 | 2.472 |
| 10-11 | 164.465,87 | 23,9 | 39.238,37 | 43.150,55 | 42.763,97 | 43.270,20 | 26,3 | 2.434 |
| 11-12 | 168.986,82 | 11,0 | 18.520,32 | 22.709,77 | 22.520,50 | 23.892,23 | 14,1 | 2.511 |

Einschätzung:

Die aufsummierten Werte des Rechenwerks zeigen deutlich die aufgetretenen Probleme (u.a. monatelanger Anlagenstillstand wegen verspäteten Bezugs des Objektes und Probleme im Kollektorkreis) – daher wurden nur 34% des prognostizierten Energieertrags erreicht. Die Anlage hätte jedoch in 6 Jahren einen Ertrag von etwa 463 MWh bei einem kumulierten Verbrauch von 19.467m³ erbringen sollen.

KIEZ Arendsee

Förderkennzeichen 0329603 B



Die errichtete Solaranlage dient zur Brauchwassererwärmung im KIEZ Arendsee. Im Objekt wurden 1998/99 umfassende Sanierungsmaßnahmen durchgeführt, bei denen unter anderem der Speisesaal rekonstruiert wurde. Die neu errichtete „Synergiefassade“ demonstriert sowohl die aktive als auch passive Nutzung der Solarenergie, in deren Dach die Kollektoren integriert wurden. Aufgrund des im Objekt jahreszeitlich bedingt stark schwankenden Warmwasserverbrauchs wurde nur eine Kollektorfläche von 80 m² und ein Pufferspeicher mit 4,5 m³ installiert. Die Inbetriebnahme der Anlage erfolgte 1999 und der Messzeitraum begann 08/2000. Den garantierten Solarertrag von 37.800 kWh/a hat die Anlage nicht erreicht.

Zustand:

Nach massiven Problemen in der Anlagentechnik (u. a. Undichtigkeiten im Kollektorfeld) und den damit verbundenen rechtlichen Auseinandersetzungen wurde die Anlage vor mehreren Jahren (03/2008) außer Betrieb genommen. Eine Messdatenerfassung und -übertragung findet daher nicht mehr statt.

Übersicht Messdaten (08/00-08/08):

| Jahr | HI | Koll_N_B | QKT | QSE | QSV | SYS_N_B | VV |
|--------------------------|------------|-----------------|------------|------------|------------|----------------|-----------|
| 02-03 | 101.094,76 | 32,1 | 32.348,01 | 33.289,39 | 16.006,74 | 32,9 | 1.054 |
| 03-04 | 91.674,66 | 29,5 | 27.024,93 | 24.912,62 | 18.382,97 | 27,2 | 1.285 |
| 04-05 | 93.566,05 | 23,8 | 22.261,75 | 17.513,56 | 9.160,26 | 18,7 | 1.292 |
| 05-06 | 88.304,61 | 26,7 | 23.545,23 | 20.060,04 | 12.414,72 | 22,7 | 863 |
| 06-07 | 93.607,71 | 28,1 | 26.257,64 | 23.283,09 | 14.436,61 | 24,9 | 700 |
| 07-08 | 87.281,00 | 9,1 | 7.981,20 | 6.477,24 | 7.683,91 | 7,4 | 656 |
| (QSP wird nicht erfasst) | | | | | | | |

Einschätzung:

Bei der Installation und während des anschließenden Betriebes traten in der Anlage immer wieder Probleme auf, die eine ordnungsgemäße Funktion beeinträchtigten. Auch aufgrund des stark schwankenden WW-Verbrauchs hat die Anlage nie die erwarteten Erträge gebracht und wurde wegen der erneuten anlagentechnischen Probleme 2008 stillgelegt.

Kreiskrankenhaus Belzig (neu: Johanniter Krankenhaus)**Förderkennzeichen 0329602 S**

Die errichtete Solaranlage dient zur Brauchwassererwärmung im Kreiskrankenhaus Belzig. Sie versorgt sowohl das Krankenhaus selbst als auch die Wäscherei im Objekt. Ausgehend von einem durchschnittlichen Tagesverbrauch von 14.000 l Warmwasser wurden eine Kollektorfläche von 196 m² und ein Pufferspeicher von 10 m³ installiert. Durch die Auslagerung der Wäscherei ging der Wasserverbrauch drastisch zurück – um die daraus folgende Überdimensionierung zu mildern, wurde die Zirkulation eingebunden (Anhebung des Rücklaufs). Mit dem Bau wurde 2002 begonnen und die Anlage im August 2003 in Betrieb genommen. Den garantierten Solarertrag von 105.000 kWh hat die Anlage im Messzeitraum erreicht.

Zustand:

Anhand der eingehenden Messdaten kann eine ordnungsgemäße Funktion der Anlage festgestellt werden. Probleme bereitet öfter das Abblasen im Stillstand – mit einer Änderung in der Regelung soll das Problem nun behoben sein. Eine Messdatenerfassung und -übertragung findet statt.

Messwerte Rechenwerk (05/03-07/12):

kumulierter Solarertrag: 594,7 MWh; kumulierter Verbrauch: 25.451 m³

Übersicht Messdaten (03/04-11/11):

| Jahr | HI | Koll_N_B | QKT | QSP | QSE | QSV | SYS_N_B | SV |
|--------------|---|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|-------|
| 04-05 | 215.285,55 | 44,2 | 95.094,83 | 92.189,01 | 85.361,86 | 92.481,70 | 43,0 | 5.259 |
| 05-06 | 223.724,61 | 33,0 | 73.815,32 | 71.279,94 | 65.887,04 | 71.311,68 | 29,5 | 4.494 |
| 06-07 | Umbau - Wäscherei raus und dafür Zirkulation rein | | | | | | | |
| 07-08 | 224.024,39 | 38,2 | 85.553,32 | 85.515,55 | 79.220,48 | 80.559,04 | 35,4 | 2.233 |
| 08-09 | 223.233,04 | 40,6 | 90.550,63 | 90.697,85 | 83.299,91 | 69.152,99 | 37,3 | 2.435 |
| 09-10 | 209.205,63 | 38,7 | 80.971,71 | 80.663,08 | 75.100,98 | 75.144,83 | 35,9 | 2.180 |
| 10-11 | 235.894,30 | 37,7 | 89.015,6 | 87.916,05 | 81.011,17 | 65.424,98 | 34,3 | 2.041 |

Einschätzung:

Die aufsummierten Werte des Rechenwerks zeigen die ordnungsgemäße Funktion der Solaranlage - danach hätte die Anlage in 9 Jahren einen Ertrag von etwa 945 MWh erbringen sollen - allerdings bei einem WW-Verbrauch von ca 38.900 m³.

Wohngebäude Berlin Gradestraße

Förderkennzeichen 0329603 L



Die 1999/2000 installierte Solaranlage dient zur Brauchwassererwärmung im Wohngebäude Gradestraße 6 in Berlin-Britz. Der Bauherr ist die gemeinnützige Heimstätten Baugesellschaft der BVG. Im Gebäude befinden sich 128 Wohnungen, in denen etwa 225 Personen wohnen. Die Solaranlage wurde im Januar 2000 in Betrieb genommen. Das Kollektorfeld mit einer Gesamtfläche von 100 m² ist auf dem Dach des Wohngebäudes als In-Dach-Montage ausgeführt worden und im Keller wurde ein Pufferspeicher von 5 m³ installiert. Die Anlage hat den garantierten Solarertrag im Messzeitraum erreicht.

Zustand:

Bei einer Besichtigung im Juni 2012 wurde eine augenscheinlich ordnungsgemäße Funktion der Anlage festgestellt. Aufgrund von Problemen in der Messtechnik (Logger defekt) findet aktuell keine Messdatenerfassung und -übertragung statt.

Messwerte Rechenwerk (01/00-06/12):

kumulierter Solarertrag: 494.754 kWh

kumulierter Verbrauch: 32.389 m³

Übersicht Messdaten (04/02-10/07):

| Jahr | HI | Koll_N_B | QKT | QSP | QSV | SYS_N_B | SV |
|--------------|------------|-----------------|------------|------------|------------|----------------|-----------|
| 02-03 | 106.576,93 | 48,1 | 51.257,85 | 47.019,84 | 44.223,18 | 41,5 | 2462 |
| 03-04 | 98.139,97 | 48,9 | 48.001,99 | 46.667,62 | 44.128,96 | 45,0 | 2407 |
| 04-05 | 104.349,57 | 46,5 | 48.513,47 | 46.839,26 | 44.392,14 | 42,5 | 2607 |
| 05-06 | 75.506,81 | 32,1 | 24.266,26 | 23.751,83 | 22.369,26 | 29,6 | 1135 |
| 06-07 | 92.962,80 | 47,4 | 44.083,13 | 42.330,99 | 40.151,45 | 43,2 | 2201 |
| 07-08 | 106.153,09 | - | 86.703,96 | 83.129,51 | 78.142,86 | - | 4842 |

(QSE wird nicht erfasst)

Einschätzung:

Die aufsummierten Werte des Rechenwerks dokumentieren die ordnungsgemäße Funktion der Anlage - danach hätte die Anlage in 12 Jahren einen Ertrag von etwa 540 MWh bei einem kumulierten Verbrauch von 31.900 m³ erbringen müssen.

Altenpflegeheim Koserow

Förderkennzeichen 0329602 Z



Die 1999 installierte Solaranlage dient zur Brauchwassererwärmung für den Sanitärbereich und die Küche im Senioren- und Pflegeheim Koserow auf der Insel Usedom. Das Objekt wurde von 1992-1997 umfassend saniert und die Solaranlage im Januar 2000 in Betrieb genommen. Nach Auswertung des gemessenen Warmwasserverbrauches wurde der in Zukunft zu erwartende Verbrauch mit 7 m^3 pro Tag angesetzt, ein Pufferspeichervolumen von 4 m^3 und eine Kollektorfläche von 101 m^2 installiert. Ein vollständiger Messzeitraum für die Solaranlage liegt - aufgrund verschiedener Probleme in der Anlage (siehe Zwischenberichte) - jedoch erst von 2008/09 vor.

Die Anlage hat den garantierten Solarertrag von 52.600 kWh im Messzeitraum nicht erreicht.

Zustand:

Bei einer Besichtigung im Mai 2012 wurde eine augenscheinlich ordnungsgemäße Funktion der Anlage festgestellt. Aufgrund von Problemen in der Messtechnik (Logger+PC defekt - wahrscheinlich erneut aufgrund von Überspannung im Hausnetz) findet aktuell keine Messdatenerfassung und -übertragung statt.

Messwerte Rechenwerk (01/00-05/12):

kumulierter Solarertrag: 210.291 kWh

kumulierter Verbrauch: 23.777 m^3

Einschätzung:

Die aufsummierten Werte des Rechenwerks dokumentieren deutlich die aufgetretenen Probleme (u.a. monatelanger Anlagenstillstand wegen defekter Kollektoren) in der Anlage – trotz des relativ gut übereinstimmenden Verbrauchs wurde nur ein Drittel des prognostizierten Energieertrags erreicht. Danach hätte die Anlage in 12 Jahren einen Ertrag von etwa 631 MWh bei einem kumulierten Verbrauch von 26.400 m^3 erbringen müssen.

TU-Mensa Magdeburg**Förderkennzeichen 0329602 A**

Die Solaranlage wurde 1997 auf der Mensa der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg errichtet und dient zur Brauchwasservorwärmung für 11 Studentenwohnheime. Nach Auswertung des gemessenen Warmwasserverbrauches wurde der in Zukunft zu erwartende Verbrauch mit 45 m^3 pro Tag angesetzt, ein Pufferspeichervolumen von 25 m^3 und eine Kollektorfläche von 658 m^2 installiert. Die Inbetriebnahme der Anlage erfolgte 1997 und der Messzeitraum begann 06/97 – in diesem hat die Anlage den garantierten Solarertrag von 297.000 kWh erreicht.

Zustand:

Durch den Betreiber wurde im Juni 2012 eine ordnungsgemäße Funktion der Anlage bestätigt. Eine Messdatenerfassung und -übertragung findet aktuell noch statt.

Messwerte Rechenwerk (06/97-06/12):

kumulierter Solarertrag: 4.505.500 kWh;

kumulierter Verbrauch: 295.576 m^3

Übersicht Messdaten (06/97-06/12):

| Jahr | HI | Koll_N_B | QKT | QSP | QSE | QSV | SYS_N_B | SV |
|--------------|------------|----------|------------|------------|------------|------------|---------|--------|
| 97-98 | 805.335,60 | 46,7 | 376.021,87 | 386.725,62 | 378.842,35 | 389.937,50 | 48,4 | 16.420 |
| 98-99 | 715.670,06 | 42,3 | 302.951,36 | 313.246,91 | 305.769,30 | 317.497,97 | 44,4 | 13.989 |
| 99-00 | 767.429,75 | 37,5 | 287.499,11 | 303.159,68 | 300.517,56 | 309.963,94 | 40,4 | 13.545 |
| 00-01 | 713.831,56 | 38,2 | 272.774,00 | 294.163,18 | 291.827,87 | 305.889,26 | 42,9 | 17.256 |
| 01-02 | 657.465,86 | 43,8 | 287.894,76 | 296.469,57 | 292.307,42 | 307.647,99 | 46,8 | 19.507 |
| 02-03 | 770.851,04 | 39,9 | 307.619,05 | 299.337,41 | 296.445,42 | 312.372,85 | 40,5 | 18.389 |
| 03-04 | 650.520,61 | 41,3 | 268.496,38 | 260.006,61 | 256.811,54 | 274.047,85 | 42,1 | 14.592 |
| 04-05 | 719.074,33 | 40,1 | 288.201,08 | 289.680,79 | 286.646,08 | 309.094,11 | 43,0 | 13.356 |
| 05-06 | 723.256,26 | 38,3 | 277.249,48 | 281.861,18 | 279.263,82 | 303.823,43 | 42,0 | 10.838 |
| 06-07 | 810.099,37 | 39,5 | 319.694,87 | 335.128,55 | 331.435,38 | 389.022,73 | 48,0 | 16.345 |

(Von 2007-2011 fanden Umbauarbeiten an der WW-Versorgung statt, wodurch die Messdaten nur bedingt aussagekräftig sind.)

Einschätzung:

Die aufsummierten Werte des Rechenwerks zeigen eine ordnungsgemäße Funktion der Anlage - danach hätte die Anlage in 15 Jahren einen Ertrag von etwa 4,45 GWh bei einem kumulierten Verbrauch von 446.790 m³ erbringen müssen.

Zoo Magdeburg

Förderkennzeichen 0329602 R



Die 1999 installierte Solaranlage dient zur Trink- und Beckenwassererwärmung im Zoologischen Garten Magdeburg. Mit dem Trinkwasser wird der Sozialtrakt versorgt, während das Beckenwasser im Dickhäuterhaus genutzt wird. Nach Auswertung des gemessenen Warmwasserverbrauches wurde der zu erwartende Verbrauch mit 50 m^3 pro Tag bei 26°C angesetzt, ein Pufferspeichervolumen von 10 m^3 und eine Kollektorfläche von 115 m^2 installiert. Der Messzeitraum begann 08/2000.

Die Anlage hat den garantierten Solarertrag von 69.123 kWh im (zweiten) Messzeitraum erreicht.

Zustand:

Durch den Betreiber wurde im Juni 2012 eine ordnungsgemäße Funktion der Anlage attestiert. Aufgrund einer Änderung in der Telefonanlage im Zoo in 2009 findet seitdem keine Messdatenerfassung und -übertragung mehr statt.

Messwerte Rechenwerk (06/99-06/12):

kumulierter Solarertrag: 485.775 kWh ; kumulierter Verbrauch: 42.067 m^3

Übersicht Messdaten (08/00-09/09):

| Jahr | HI | Koll_N_B | QKT | QSP | QSV | SYS_N_B | SV |
|--------------|------------|-----------------|------------|------------|------------|----------------|-----------|
| 00-01 | 128.807,08 | 36,4 | 46.917,07 | 49.245,44 | 67.060,87 | 52,1 | 7.022 |
| 02-03 | 122.598,49 | 32,8 | 40.209,68 | 42.861,67 | 43.845,48 | 35,8 | 3.225 |
| 03-04 | 132.904,66 | 29,5 | 39.189,40 | 41.993,00 | 41.445,86 | 31,2 | 2.609 |
| 04-05 | 90.598,04 | 28,8 | 26.077,51 | 28.123,37 | 29.030,72 | 32,0 | 1.789 |
| 05-06 | 81.362,23 | 18,4 | 14.985,33 | 16.958,07 | 19.153,25 | 23,5 | 1.812 |
| 06-07 | 66.039,54 | 26,1 | 17.234,87 | 18.809,91 | 21.150,11 | 32,0 | 2.146 |
| 07-08 | 139.136,92 | 18,9 | 26.244,78 | 27.929,99 | 23.440,58 | 16,8 | 2.684 |
| 08-09 | 128.193,09 | 28,5 | 36.523,80 | 39.135,63 | 40.548,14 | 31,6 | 2.189 |

(QSE wird nicht erfasst)

Einschätzung:

Die aufsummierten Werte des Rechenwerks dokumentieren die aufgetretenen Probleme in der Anlage – auch aufgrund des um 38% gesunkenen Verbrauchs wurden nur 57% des prognostizierten Energieertrags erreicht. Danach hätte die Anlage in 13 Jahren einen Ertrag von etwa 846 MWh bei einem kumulierten Verbrauch von 66.898 m³ erbringen können.

Stadtreinigungsbetrieb Berlin/Marzahn

Förderkennzeichen 0329603 M



Die 2002/03 installierte Solaranlage dient zur Brauchwassererwärmung im Sozialgebäude des Betriebshofs Marzahn der Berliner Stadtreinigungsbetriebe. Ausgehend von einem durchschnittlichen Tagesverbrauch von 7.000 l Warmwasser wurde eine Kollektorfläche von 104 m² und ein Pufferspeicher von 6 m³ installiert. Die Solarkollektoren dienen als Dacheindeckung der Cafeteria. Die Solaranlage wurde im Frühjahr 2003 in Betrieb genommen und hat den garantierten Solarertrag von 45.000 kWh im Messzeitraum erreicht.

Zustand:

Bei einer Besichtigung im Juni 2012 wurde eine augenscheinlich ordnungsgemäße Funktion der Anlage festgestellt. Aufgrund von Problemen in der Messtechnik (IPC defekt aufgrund von Softwareproblemen) findet aktuell keine Messdatenerfassung und -übertragung statt.

Messwerte Rechenwerk (05/03-06/12):

kumulierter Solarertrag: 346.754 kWh;

kumulierter Verbrauch: 109.207 m³ (spezielles Nachlade-Prinzip – realer Verbrauch etwa 1.500 - 1.800 m³/a).

Übersicht Messdaten (03/04-03/10):

| Jahr | HI | QKT | Koll_N_B | QSP | QSE | QSV | QWZ | SYS_N_B | SV |
|--------------|------------|-----------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|--------|
| 04-05 | 111.150,09 | 43.192,48 | 38,9 | 43.541,68 | 30.209,28 | 32.001,27 | 7.725,74 | 28,8 | 10.522 |
| 05-06 | 125.633,18 | 49.033,20 | 39,0 | 49.290,71 | 31.853,21 | 34.503,58 | 10.699,76 | 27,5 | 7.775 |
| 06-07 | 123.682,02 | 50.297,08 | 40,7 | 51.865,79 | 32.056,18 | 34.874,70 | 11.293,70 | 28,2 | 6.091 |
| 07-08 | | | Datenausfall | | | | | | |
| 08-09 | 119.660,78 | 39.287,38 | 32,8 | 42.042,24 | 25.183,57 | 28.017,01 | 8.408,92 | 21,0 | 7.280 |
| 09-10 | 107.283,27 | 38.369,60 | 35,8 | 41.263,79 | 23.693,04 | 24.501,24 | 8.594,00 | 22,1 | 11.572 |
| 10-11 | | | Datenausfall | | | | | | |
| 11-12 | | | Datenausfall | | | | | | |

Einschätzung:

Die aufsummierten Werte des Rechenwerks dokumentieren die ordnungsgemäße Funktion der Solaranlage - danach hätte die Anlage in 9 Jahren einen Ertrag von etwa 405 MWh erbringen müssen.

Kreiskrankenhaus Wolgast

Förderkennzeichen 0329602 B



Die Solaranlage im KKH Wolgast wurde 1995 installiert – gleichzeitig wurde das konventionelle Brauchwassersystem modernisiert. Nach Auswertung des gemessenen Warmwasserverbrauchs wurde der in Zukunft zu erwartende Verbrauch mit 12 m³ pro Tag angesetzt, ein Pufferspeichervolumen von 8 m³ und eine Kollektorfläche von 172m² installiert. Der Beginn des Messzeitraums für die Solaranlage war 04/96.

Die Anlage hat den garantierten Solarertrag von 91.000 kWh im Messzeitraum erreicht.

Zustand:

Bei einer Besichtigung im Mai 2012 wurde eine ordnungsgemäße Funktion der Anlage festgestellt. Eine Messdatenerfassung findet hausintern statt – eine Datenfernübertragung zur betreuenden Hochschule jedoch nicht mehr.

Messwerte Rechenwerk (12/95-05/12):

kumulierter Solarertrag: 1.176.088 kWh

kumulierter Verbrauch: 58.872 m³

Einschätzung:

Die aufsummierten Werte des Rechenwerks korrespondieren sehr gut mit den prognostizierten Werten aus der Planung. Danach hätte die Anlage in 16 Jahren einen Ertrag von etwa 1,45 GWh bei einem kumulierten Verbrauch von 74.600 m³ erbringen müssen - aufgrund des geringeren Verbrauchs hat sich jedoch auch der Solarertrag etwas reduziert.

5.2 Monitoring in Solarthermie2000plus

5.2.1 Messprogramm solare Klimatisierung am Berufsschulzentrum Rodewisch

Förderkennzeichen: 0329605B

Diese Projekt wurde schon im Abschlussbericht zum Vorgängerprojekt abschließend behandelt (ISBN 978-39812586-0-8)

Projektpartner

| | |
|-------------------|---|
| Betreiber: | Herr Palme BSZW Rodewisch Parkstraße 5A 08228 Rodewisch |
| Antragsteller: | Dr.-Ing. Schlott Dr. Schlott & Partner GmbH 08248 Klingenthal |
| Projekträger: | Projekträger Jülich Forschungsstelle Jülich GmbH Dr. Donat Außenstelle Berlin Zimmerstraße 26-27 10969 Berlin Herr Petrovic Projekträger Jülich Forschungsstelle Jülich GmbH Wilhelm-Johnen-Straße 52428 Jülich |
| Wiss. Begleitung: | Prof. Dr.-Ing. Franzke Institut für Luft- und Kältetechnik Gemeinnützige Gesellschaft mbH 01309 Dresden Dr.- Ing. Schirmer Projektgruppe Solarthermie TU Chemnitz Fakultät Maschinenbau Reichenhainerstr. 70 9126 Chemnitz |

5.2.2 Solare Klimatisierung Ärztehaus „Rheineck“ in Berlin

Förderkennzeichen: 0325009

Einleitung

Im Pilotprojekt der Solaren Klimatisierung des Ärztehaus Rheineck in Berlin sollte demonstriert werden, dass durch den Einsatz einer solarangetriebenen Absorptionskältemaschine in Kombination mit einem Rückkühler und dem bereits vorhandenen Kältenetz eine ausfallsichere Kälteversorgung im medizinischen Bereich realisiert werden kann.

Objektvorstellung

Die mit Kälte zu versorgende Radiologiepraxis Dr. Reichel und Dr. Gehrman hat sich auf Untersuchungen und radiologische Interventionen spezialisiert. Die dabei eingesetzten medizinischen Großgeräte wie Multislice-Computertomograph (MS-CT) und Magnetresonanztomograph (MRT) und die zugehörige EDV-Technik besitzen einen permanenten ganzjährigen Klimatisierungsbedarf, der bislang kostenintensiv durch konventionelle Klimatechnik bereitgestellt wurde. Zur Senkung der Betriebskosten und Entlastung der Umwelt durch eine CO₂-neutrale Bereitstellung von Kälte entstand seitens der Radiologen im Rahmen eines Praxisumzugs die Idee einer solarunterstützten Klimatisierung. Die neuen Räumlichkeiten der Radiologiepraxis befinden sich in der obersten Etage eines teilweise neuerrichteten, teilweise grundsanitierten Gebäudes am Walter-Schreiber-Platz in Berlin (Abb. 1).



Abb. 1: Ansicht des Ärztehauses Rheineck am Walter-Schreiber-Platz in Berlin vor der Installation der Anlage

Das denkmalgeschützte Gebäude beherbergt die genannte Arztpraxis im Obergeschoss, ein Café, einen Supermarkt sowie weitere Unternehmen. Die Fassade und die davorliegende Terrasse des viergeschossigen Gebäudes sind nahezu ideal nach Süden orientiert. Die Lage des Gebäudekomplexes mit den einzelnen Aufstellorten von Systemteilen der Solaranlage ist in der folgenden Abbildung dargestellt (Abb. 2).

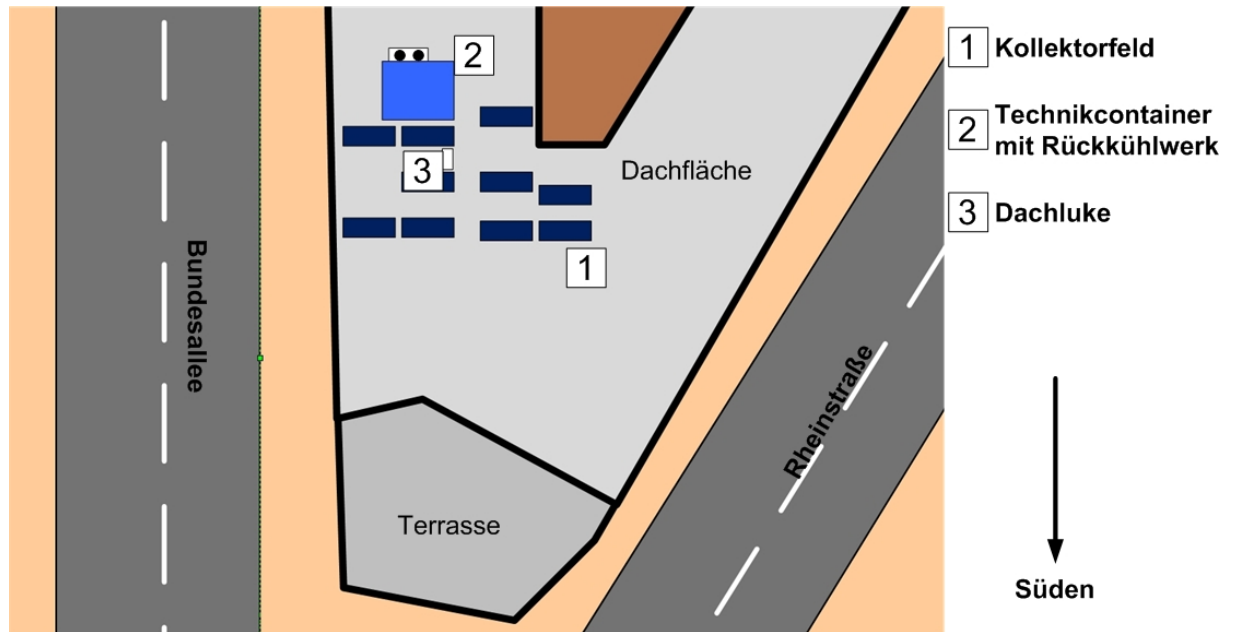


Abb. 2: Lage des Ärztehauses Rheineck am Walther-Schreiber-Platz in Berlin

Das Objekt ist mit einem zentralen Kaltwassernetz für das ganze Gebäude ausgestattet, welches von einer elektrisch angetriebenen Kompressionskältemaschine versorgt wird. Durch die geplante Anlage sollte ein Teil der von der Arztpraxis aus dem Kaltwassernetz bezogenen Kälteleistung substituiert werden. Die eingesetzten Computer- und Magnetresonanztomographen besitzen im Betrieb einen permanenten ganzjährigen Kühlbedarf. Zusätzlich zu diesem Bedarf kommt insbesondere in den Sommermonaten die Klimatisierung der Praxisräume. Während im Winter die benötigte Kälteleistung vollständig durch das Rückkühlsystem bereitgestellt werden soll, wird im Sommer angestrebt, einen möglichst großen Anteil der Kühllast durch die solarunterstützte Absorptionskältemaschine abzudecken. Kann die Kühllast durch die Absorptionskältemaschine bzw. das Rückkühlsystem nicht abgedeckt werden (unzureichendes Solarangebot, hohe Umgebungstemperatur, Ausfall), erfolgt die Kälteversorgung wie vor der Installation des solarunterstützten Kühlsystems aus dem bereits im Gebäude installierten Kältenetz. Die in der Praxis benötigten Kühllasten wurden im Vorfeld wie folgt abgeschätzt und durch das ISE Freiburg auf Basis eines von der Firma Sonnenklima bereitgestellten Kühllastprofils in einer TRNSYS-Simulation verarbeitet.

Abschätzung der Kühllasten:

- | | |
|--|-----------|
| • CT | ca. 20 kW |
| • weitere med. Geräte | ca. 10 kW |
| • Raumklimatisierung ca. 100m ² | ca. 5 kW |

Technische Universität Chemnitz, Professur Technische Thermodynamik, Projektgruppe Solarthermie, 09126 Chemnitz

Telefon 0371 / 531 32546 und 531 37367 Telefax 0371 / 531 832546, Internet: <http://www.tu-chemnitz.de/mb/TechnThDyn/>

Simulationsergebnisse (ISE Freiburg, Referenz el. Kompressionskältemaschine):

- Jährl. Primärenergieeinsparung durch freie Kühlung im Winter:
16,8 % (ca. 3,5 t CO₂ Vermeidung)
- Jährl. Primärenergieeinsparung durch solarthermische Kühlung:
4,5 % (ca. 0,9 t CO₂ Vermeidung)
- Jährl. Primärenergieeinsparung insgesamt: 21,3 % (ca. 4,4 t CO₂ Vermeidung)
- Deckungsanteil Kälte aus thermischer Kältemaschine am Gesamtkältebedarf der Praxis: 6,7 %
- Spezifischer jährlicher Kollektorsertrag: ca. 360 kWh/m²
- Jährlicher Kollektornutzungsgrad: 28 %

Für die Aufstellung der Vakuumröhrenkollektoren mit einer aktiven Gesamtfläche von 33m² eignete sich nur der hintere Teil des Flachdaches, da das Kollektorfeld aus Gründen des Denkmalschutzes von der Straße aus nicht sichtbar sein sollte. Die Technikzentrale der Solaranlage ist daneben in einem Container ebenfalls auf dem Dach untergebracht. Dieser Container beinhaltet sowohl den Pufferspeicher, die Absorptionskältemaschine als auch verschiedene Messtechnik zur Steuerung und Bilanzierung der Anlage.

Die folgenden Fotos dokumentieren einige Punkte der Solaranlage bei der Inbetriebnahme im Juli 2008.



Abb. 3: SW-Ansicht des Gebäudes mit installiertem Kollektorfeld und Technikcontainer



Abb. 4: Ansicht des Technikcontainers mit Pufferspeicher, Absorptionskältemaschine und Steuerung



Abb. 5: SO-Ansicht des Kollektorfeldes



Abb. 6: Rückkühlwerk

Technische Daten der Hauptkomponenten der Solaren Klimatisierung

Die technischen Daten der Hauptkomponenten des Solarsystems wurden am 10.07.2008 bei einer Besichtigung der Anlage aufgenommen. Technische Veränderungen nach diesem Termin sind hier nur berücksichtigt, sofern sie der Projektgruppe bekannt gegeben wurden.

Solarkreis

Die prinzipielle Verschaltung der Kollektoren sowie die Anordnung auf dem Dach ist in der folgenden Abbildung (Abb. 7) dargestellt. Die zehn Kollektoren der Firma Phönix Sonnenwärme AG sind alle einzeln parallel verschaltet.

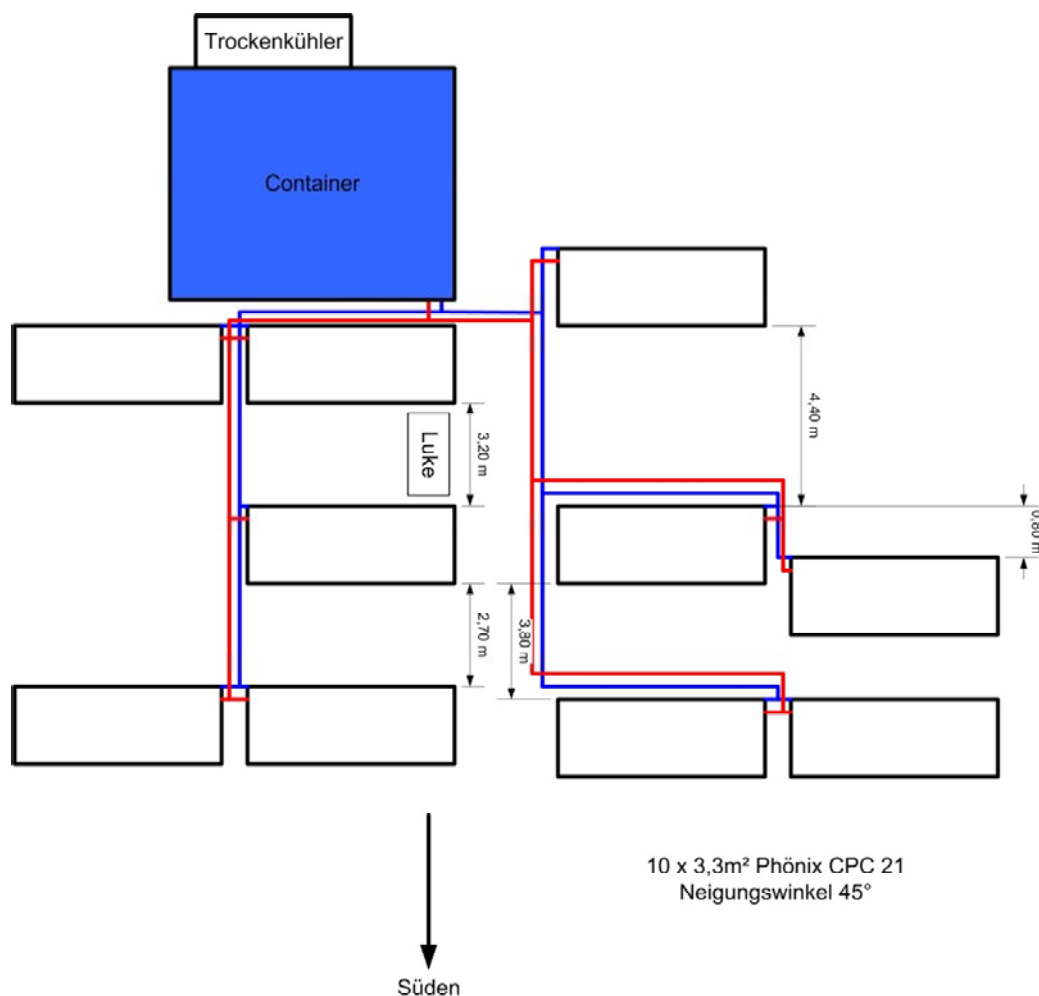


Abb. 7 Verschaltung der Kollektoren und Anordnung auf dem Dach

Kollektoren

| | Gesamtfeld |
|------------------------------------|------------|
| Ausrichtung (S=0°, O=-90°, W=+90°) | Süd |
| Neigung | 45° |

| | |
|--|--|
| Anzahl der Kollektoren | 10 Stück |
| Gesamtaperturfläche | 32,9m ² |
| Kollektorhersteller | Phönix Sonnenwärme AG |
| Hertellertyp | CPC 21 |
| Kollektortyp | Vakuumröhrenkollektor |
| Anzahl Röhren | 21 |
| Bauartzulassung | 08-228-743 |
| Absorberbeschichtung | Aluminium-Nitrit |
| Material Wärmeträgerrohr | Kupfer |
| Material Wärmeleitblech | Aluminium |
| Inhalt Wärmeträger / Kollektor | 1,7 l |
| Konversionsfaktor c_0 | 0,65 |
| Linearer Wärmeverlustkoeff. c_1 | 1,016 W/m ² K |
| Quadratischer Wärmeverlustkoeff. c_2 | 0,002 W/(m ² K ²) |
| Anbindung Röhren | trocken |
| Frontabdeckung, Dicke | Borosilikatglas 3.3mm |
| Zulässiger Betriebsüberdruck | 10 bar |
| Stillstandstemperatur | 265 °C |

Tab. 1 Kollektordaten

Pumpen

| | |
|-----------------------------|------------------------|
| Hersteller | Wilo |
| Typ | Stratos 25/1-6 |
| Pumpenart | Nassläufer |
| Pumpensteuerung | stufenlos regelbar |
| Netzanschluss | 1 x 230 V, 50 Hz |
| Maximale Betriebstemperatur | 110 °C im Dauerbetrieb |
| Maximaler Betriebsüberdruck | 10 bar |

Tab. 2 Pumpendaten für die Solarkreispumpe

Wärmeträger

Zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme wurde das Kollektorfeld aus Sicherheitsgründen, bis ein Regelkonzept für den aktiven Frostschutz erarbeitet ist, mit einem Wasser-Glykol-Gemisch befüllt. Später sollte Wasser als Wärmeträger zum Einsatz kommen.

| | |
|------------|----------------|
| Hersteller | Tyforop Chemie |
| Name | Tyfocor LS |
| Basisstoff | Propylenglykol |

Tab. 3 Wärmeträgerdaten im Antriebskreis der Kältemaschine

Pufferspeicher

| | |
|---------|--|
| Anzahl | 1 Stück |
| Baujahr | 2008 |
| Volumen | 1.000 l |
| Medium | Tyfocor LS --> sollte später mit Wasser betrieben werden |

| | |
|--------------------------------------|--------|
| Material Behälterwand | Stahl |
| Dicke Wärmedämmung | 100 mm |
| Beladesystem | - |
| Verschaltung mehrerer Pufferspeicher | - |

Tab. 4 Pufferspeicherdaten

Absorptionskältemaschine

| | |
|-------------------|------------------------|
| Hersteller | SK Sonnenklima GmbH |
| Herstellertyp | Suninverse |
| Baujahr | 2008 |
| Nennkälteleistung | 10 kW |
| Arbeitsstoffpaar | Lithiumbromid / Wasser |

Tab. 5 Kältemaschinendaten

Rückkühlung

| | |
|----------------------------------|--------------------------|
| Hersteller | Fa. Güntner |
| Typ | Trockene Rückkühlung |
| Rückkühlleistung | 35 kW |
| Anzahl Ventilatoren | 2 |
| Ventilatoren | Ebm-Papst S3G650-AE34-38 |
| Nennleistungsaufnahme elektrisch | 2 x 690 W |

Tab. 6 Daten der Rückkühlung

Funktionsbeschreibung der Solaren Klimatisierung

Das Prinzipschaltbild der solar unterstützten Klimatisierung ist in der folgenden Abbildung (Abb. 8) dargestellt.

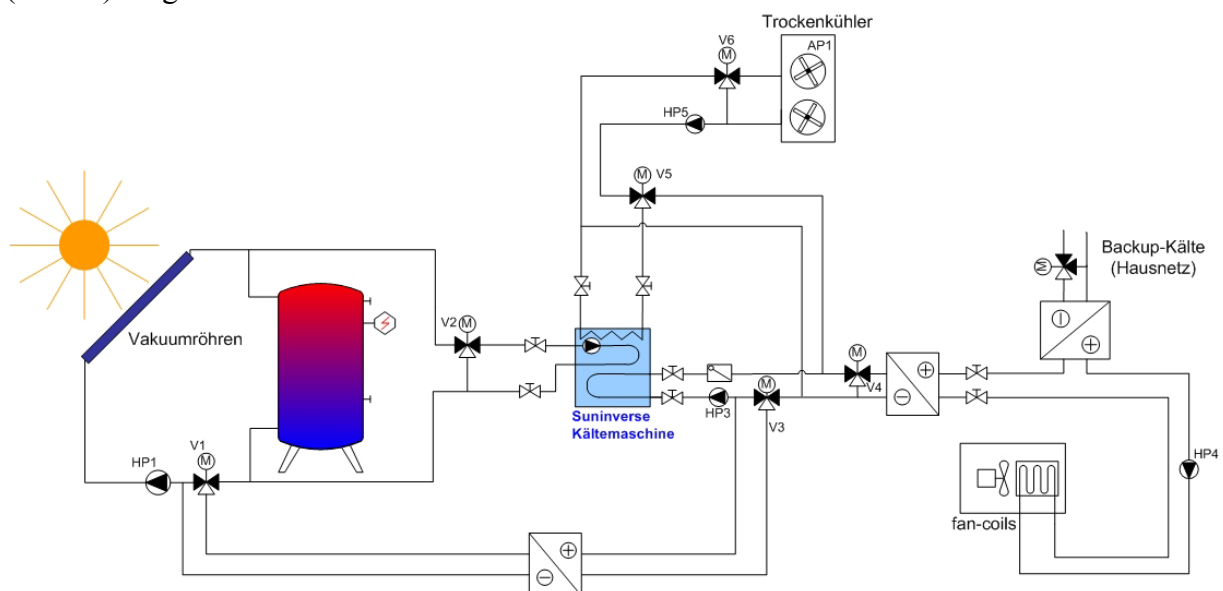


Abb. 8 Prinzipschaltbild der Solaren Kühlung

Die aus der Sonnenstrahlung gewonnene Energie wird mittels eines Wasser-Glykol-Gemischs als Wärmeträger im Solarkreis transportiert. Nach der Erarbeitung eines geeigneten Regelungskonzepts für den aktiven Frostschutzbetrieb sollte hier später, auf Grund seiner besseren hydraulischen und wärmetechnischen Eigenschaften, reines Wasser zum Einsatz kommen.

Mess- und Regelungstechnik

Da das Förderkonzept „Solarthermie2000plus“ im Unterschied zu „Solarthermie2000“ keine Vorabentwurf bezüglich der zu installierenden Monitoringmesstechnik macht, wurde unter Vorgabe der Genauigkeit der zu installierenden Regelungsfühler auf eine Redundanz zwischen Regelungs- und Monitoringsensorik verzichtet. Die TU Chemnitz erhielt ab Dezember 2008 via FTP Zugriff auf die Rohdaten der Steuerung, welche durch eine von Sonnenklima programmierte Software in lesbaren Text umgewandelt werden. Die bereits umgewandelten Messwerte werden dem ISE Freiburg zur Bewertung der Kältemaschine zur Verfügung gestellt. Nachfolgende Abbildung zeigt den Datentransfer schematisch.

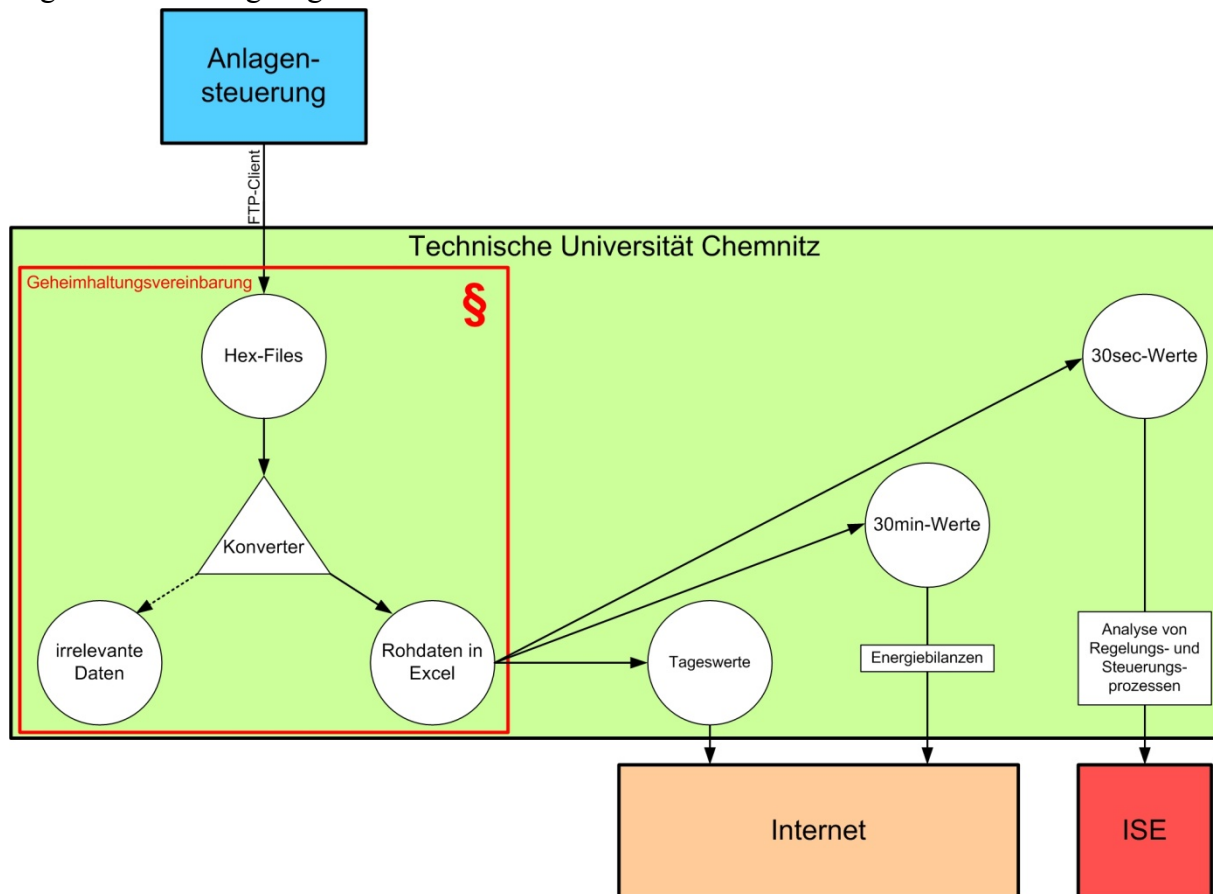


Abb. 9: Datentransfer von der Steuerung zur TU Chemnitz bzw. dem ISE Freiburg

In der Anlagensteuerung werden die Messgrößen Einstrahlung, Volumenströme und die Temperaturen sekundengenau erfasst und im 30-Sekunden-Takt in binären Rohdaten abgespeichert, wobei kürzere Speicherintervalle als 30 Sekunden möglich sind. Schaltzustände bzw. Statussignale von Pumpen und Ventilen werden sekundengenau in ein zweites File geschrieben und bei der Auswertung berücksichtigt. Diese Vorgehensweise stellte sich während der

kurzen Dauer des Anlagenbetriebs als unvorteilhaft heraus, da bei einer Störung der Anlagensteuerung ein Verbinden zu dieser und somit der Zugriff auf die Messwerte nicht möglich ist. Auf Basis der Messwerte wurden Plausibilitätsüberprüfungen durchgeführt und vertauschte Messstellen sowie Fehler der Umwandlungssoftware identifiziert.

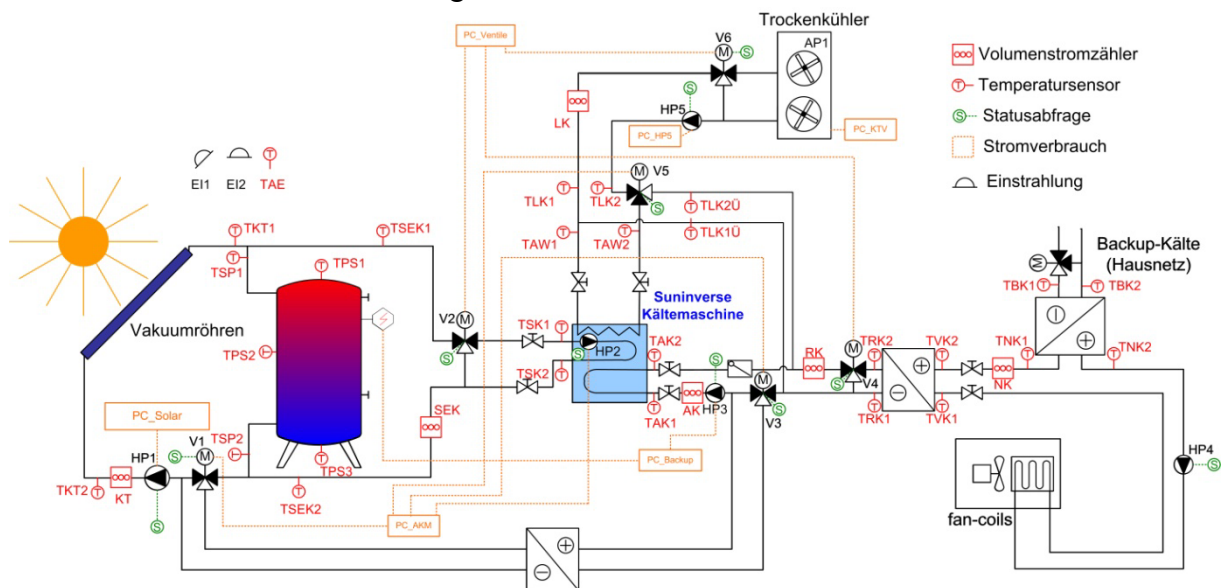


Abb. 10: Prinzipschaltbild inklusive der Mess- und Regelungssensoren

a) Strahlung

| gemessene Größen | | |
|------------------|--|------------------|
| Bezeichnung | Erläuterung | Einheit |
| EI 1 | Intensität der Gesamtstrahlung in Kollektorebene | W/m ² |
| EI 2 | Intensität der Globalstrahlung (horizontal) | W/m ² |

Tab. 7: Strahlungsintensitätsbezeichnungen

b) Durchfluss

| gemessene Größen | | |
|------------------|---|-------------------|
| Bezeichnung | Erläuterung | Einheit |
| KT | Volumenstrom Solarkreis | m ³ /h |
| SEK | Volumenstrom zum Antrieb der Kältemaschine | m ³ /h |
| LK | Volumenstrom Rückkühlung | m ³ /h |
| AK | Volumenstrom Absorptionskälte | m ³ /h |
| RK | Volumenstrom Raumkühlung | m ³ /h |
| NK | Volumenstrom Nachkühlung/Kältekreis im der Praxis | m ³ /h |

Tab. 8: Volumenstrombezeichnungen

c) Temperatur (°C)

| gemessene Größen | | | |
|---------------------|---|-------------------------|---|
| Bezeichnung | Erläuterung | Bezeichnung | Erläuterung |
| höhere Temperaturen | | niedrigere Temperaturen | |
| TKT 1 | Kollektorrücklauf | TKT 2 | Kollektorvorlauf |
| TSP 1 | Speicherbeladung Vorlauf | TSP 2 | Speicherbeladung Rücklauf |
| TSEK 1 | Speicherentladung zur AKM | TSEK 2 | Speicherentladung von der AKM |
| TSK 1 | Eintritt Antriebseite der AKM | TSK 2 | Austritt Antriebseite der AKM |
| TAK 1 | Eintritt Abnahmeseite der AKM | TAK 2 | Austritt Abnahmeseite der AKM |
| TLK 1 | Vorlauf Rückkühlungswerk | TLK 2 | Rücklauf Rückkühlungswerk |
| TAW 1 | Austritt Rückkühlung AKM | TAW 2 | Eintritt Rückkühlung AKM |
| TRK 1 | Austritt WÜ zum Kältenetz der Praxis AKM-seitig | TRK 2 | Eintritt WÜ zum Kältenetz der Praxis AKM-seitig |
| TVK 1 | Eintritt WÜ im Kältenetz der Praxis | TVK 2 | Austritt WÜ im Kältenetz der Praxis |
| TNK 1 | Eintritt Backup-WÜ Praxis-seitig | TNK 2 | Austritt Backup-WÜ Praxis-seitig |
| TBK 1 | Austritt Backup-WÜ im Hausnetz | TBK 2 | Eintritt Backup-WÜ im Hausnetz |
| TLKÜ 1 | Lüftungskühlung Überwachung | TLKÜ 2 | Lüftungskühlung Überwachung |
| TAE | Außen (freie Umwelt) | | |
| TPS 1 | Speicher oben | | |
| TPS 2 | Speicher mitte | | |
| TPS 3 | Speicher unten | | |

Tab. 9: Temperaturbezeichnungen

d) Statusabfrage Pumpen und Ventile

| gemessene Größen | |
|------------------|---|
| Bezeichnung | Erläuterung |
| HP1 | Solarkreispumpe |
| HP2 | Pumpe zum Antrieb der AKM |
| HP3 | Pumpe im Abnahmekreis der AKM |
| HP4 | Pumpe im Kältenetz der Praxis |
| HP5 | Pumpe Rückkühlung |
| | |
| V1 | Wegeventil zum Frostschutz Kollektorkreis |
| V2 | Regelventil zur Steuerung der Antriebstemperatur der AKM |
| V3 | Wegeventil zum Frostschutz Kollektorkreis |
| V4 | Regelventil zur Steuerung der Vorlauftemperatur des WÜ zum Kältenetz der Praxis |
| V5 | Wegeventil zum Umschalten zwischen Freier Kühlung oder Rückkühlen der AKM |
| V6 | Regelventil zur Steuerung der Rückkühltemperatur der AKM |

Tab. 10 Pumpen- und Ventilbezeichnungen in der Statusabfrage

Um Aussagen über die Funktion der Solaranlage in energetischer sowie wirtschaftlicher Sicht treffen zu können, werden aus den gewonnenen Daten Energie- und Verbrauchsmengen errechnet.

e) Berechnete Energie (kWh)

| Bezeichnung | Erläuterung |
|-------------|--|
| HI | Gesamtenergie Solarstrahlung auf Kollektorfeld |
| QKT | Energie Kollektorausstritt |
| QSP | Energie Beladung Pufferspeicher |
| QSEK | Energie Entladung Pufferspeicher für Antrieb der Kältemaschine |
| QSK | Energie Antrieb der Kältemaschine |
| QAK | Energie Kältemaschine |
| QLK | Energie Rückkühlung |
| QAW | Energie Abwärme der Kältemaschine |
| QRK | Energie Kühlung durch Solare Klimatisierung WÜ anlagenseitig |
| QVK | Energie Kühlung durch Solare Klimatisierung WÜ praxisseitig (Vorkühlung) |
| QNK | Energie Kühlung durch Hauskältenetz praxisseitig (Nachkühlung) |
| QBK | Energie Kühlung durch Hauskältenetz kältenetzseitig (Nachkühlung / Backup) |
| QLKÜ | Energie Überwachung Lüftungskühlung |

Tab. 11 Energie (kWh)

Betriebserfahrungen und Messergebnisse

Während die Berechnungen zum Betrieb des Solarsystems durch die TU Chemnitz erfolgten, basieren die Aussagen zum Betrieb der Kältemaschine auf den Berechnungen des Fraunhofer ISE in Freiburg.

Abb. 11 zeigt monatliche Kollektorserträge und Nutzungsgrade für die kurze Dauer des Anlagenbetriebes von ca. einem halben Jahr.

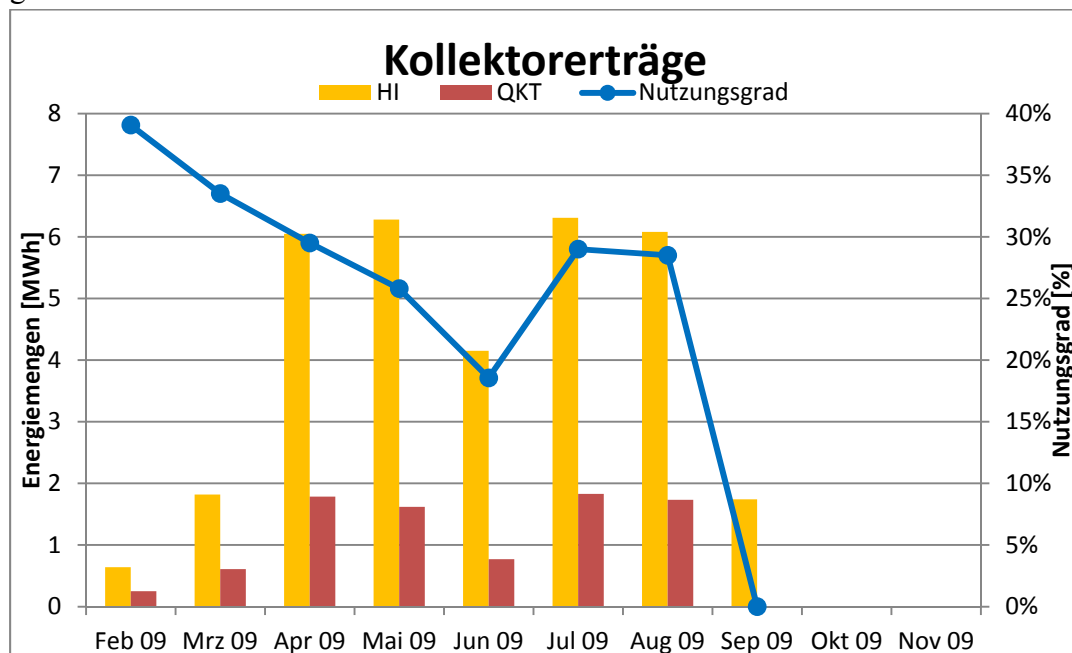


Abb. 11: monatliche Kollektorserträge und Nutzungsgrade

In den Wintermonaten erfolgte die Kühlung aufgrund genügend geringer Außentemperatur direkt über den Trockenkühler der Kältemaschine. Obwohl im Frühjahr an Kollektorrücklauf bzw. im oberen Speicherbereich bereits ausreichend hohe Temperaturen zum Antrieb der Absorptionskältemaschine erreicht wurden, konnte die Strategie der Kühlung über das Rückkühlwerk teilweise bis in den Monat April fortgesetzt werden. Diese Vorgehensweise ist energetisch sinnvoll, da so Primärenergie zum Antrieb der Kältemaschine eingespart werden kann. Der Nutzungsgrad des solaren Kältesystems liegt dadurch jedoch niedrig. Ab Mai lief die Kältemaschine mit einigen Unterbrechungen auf einem insgesamt niedrigen Leistungs- bzw. Effizienzniveau. Im Juni hat die AKM aufgrund von zeitweiligen Undichtigkeiten bzw. Defekten an der Kältemaschine und den damit verbundenen Wartungsarbeiten durch Mitarbeiter der Firma Sonnenklima überwiegend Wärme abgegeben statt aufgenommen. Im Juli und bis zum Stillstand im August lief die Kältemaschine auf einem niedrigen Leistungs- bzw. Effizienzniveau, der stündliche COP erreicht selten Werte größer 0,40 bzw. liegt der Monats-COP bei etwa 0,25.

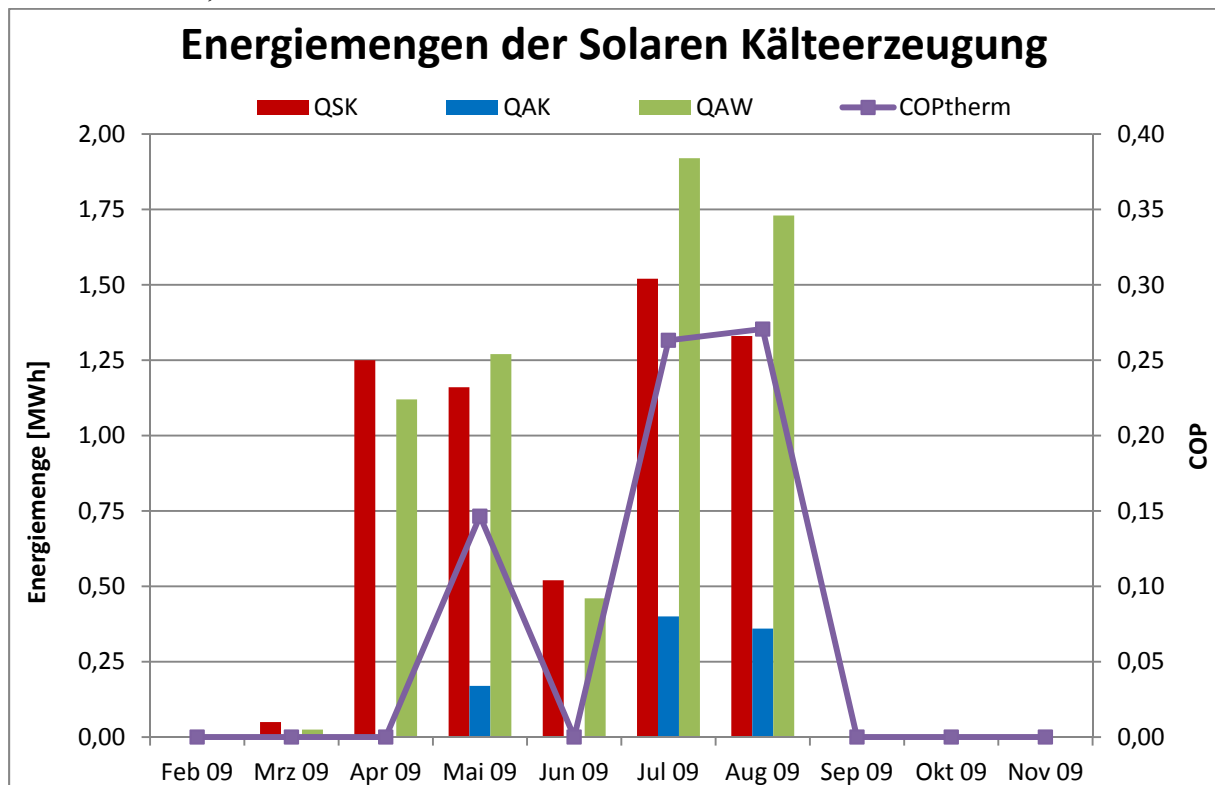


Abb. 12

Während des gesamten, aufgezeichneten Betriebszeitraumes erfolgte auf Grund von Defekten insbesondere an der Kältemaschine bzw. nicht optimierten Kältemaschinenbetrieb häufig keine Energieabnahme am Kollektor bzw. aus dem Speicher und es kam zum Anlagenstillstand. Dadurch sinkt der Kollektornutzungsgrad unter die erreichbaren Werte. Ab Ende August war die Kältemaschine nach einer Störung der Steuerung nicht mehr in Betrieb und es erfolgte keine Wärmeabnahme mehr.

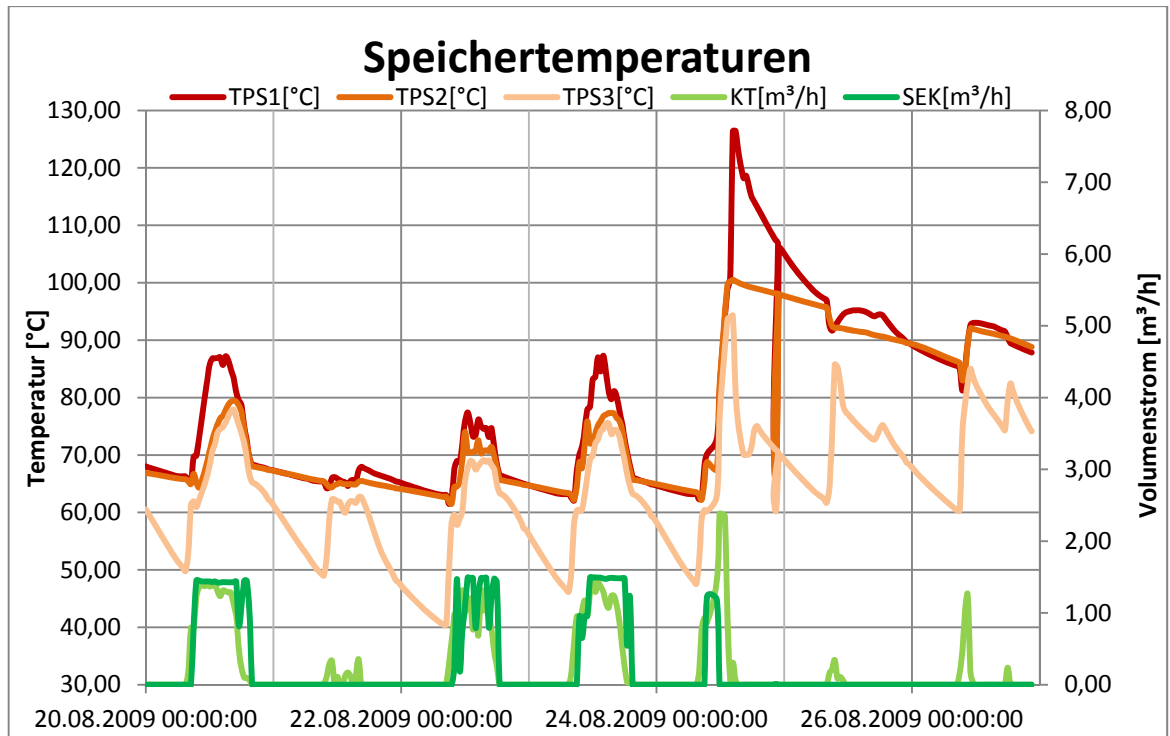


Abb. 13: Zeitlicher Verlauf der Speichertemperaturen und Volumenströme im August 2009

Auffällig im Diagramm in Abb. 13 ist das rasche Absinken der Temperatur im unteren Speicherbereich nach Beendigung der Speicherbeladung bzw. im Stillstand. Als Ursache hierfür kann die fehlende Wärmedämmung am Speicherboden angenommen werden (Abb. 14). Durch einen Ausfall der Kälteversorgung geht der Kollektor am 24.08.2009 in Stagnation. Die Kältemaschine wird nicht mehr wieder in Betrieb genommen.



Abb. 14: ungedämmter Speicherboden

Als repräsentativer Tag für den Anlagenbetrieb der solaren Klimatisierung kann der 27.07.2009 dienen (Abb. 15).

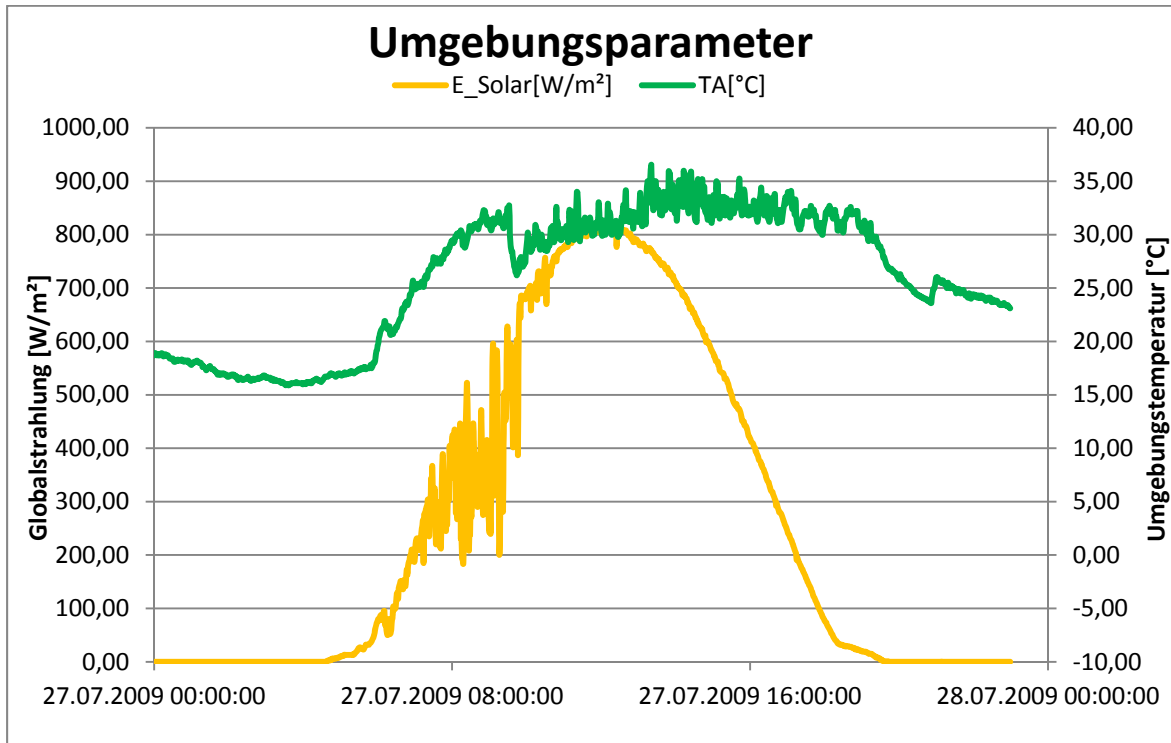


Abb. 15: Umgebungsparameter am 27.07.2009

Nach geringer Bewölkung am Morgen bleibt es ab etwa 10:30 Uhr wolkenlos. Die Außentemperatur steigt über den Tagesverlauf von 16°C auf bis auf maximal 35°C am Mittag. Nach einem stetigen Temperaturanstieg am Morgen, fällt die Temperatur um 10:15 Uhr rasch ab und steigt anschließend wieder langsam an. Dies lässt auf eine Beeinflussung durch Umgebungsfaktoren wie Bestrahlung oder Wärmeabgabe des Containers schließen.

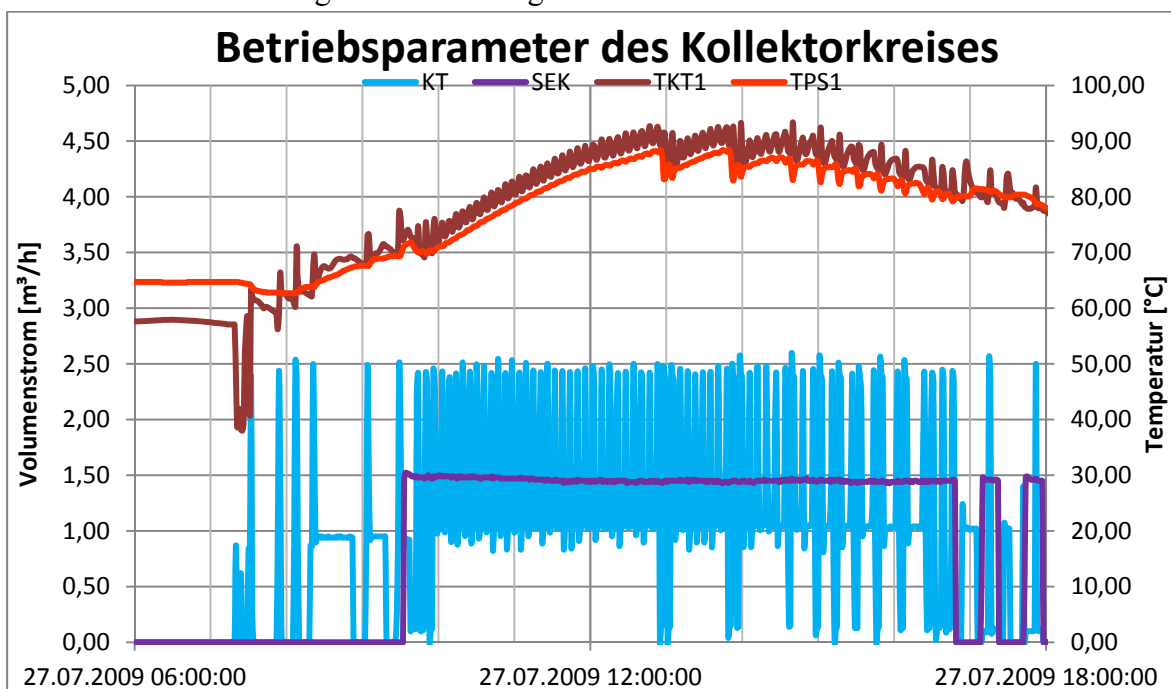


Abb. 16: Betriebsparameter des Kollektorkreises

Die Kältemaschine läuft zwischen 9:30 Uhr und 16:45 Uhr kontinuierlich auf geringem Leistungsniveau und nimmt direkt einen Teil des gewonnenen Kollektorertrages ab. Die Kollektorkreispumpe schaltet im Betriebszeitraum zwischen zwei Volumenströmen und der Kollektorwirkungsgrad beträgt zwischen 40 % und 50 %. Aufgrund der hohen Einstrahlungswerte liegt die Kollektorleistung jedoch in den Mittagsstunden im Schnitt über der Antriebsleistung der Kältemaschine (10 kW), sodass die Temperaturen an Kollektoraustritt und im oberen Speicherbereich tagsüber Grenzwerte von 90 °C erreichen, die zu einer kurzzeitigen Abschaltung des Kollektorkreises führen (z.B. 13:00 Uhr und 14:00 Uhr). Nach 17:00 Uhr erfolgt nur noch ein intervallartiger Betrieb der Kältemaschine bei teilweise gleichzeitigem Kollektorstillstand. Trotz Stillstand der Kollektorkreispumpe HP1, drückt die Pumpe HP2 einen geringen Volumenstrom von etwa 0,1 m³/h durch das Kollektorfeld.

Im Diagramm in Abb. 17 ist die Einstrahlung in Kollektorebene dem Kollektorertrag sowie der Antriebsenergie der Absorptionskältemaschine für ein Zeitintervall von je einer halben Stunde für den 27.07.2009 gegenübergestellt.

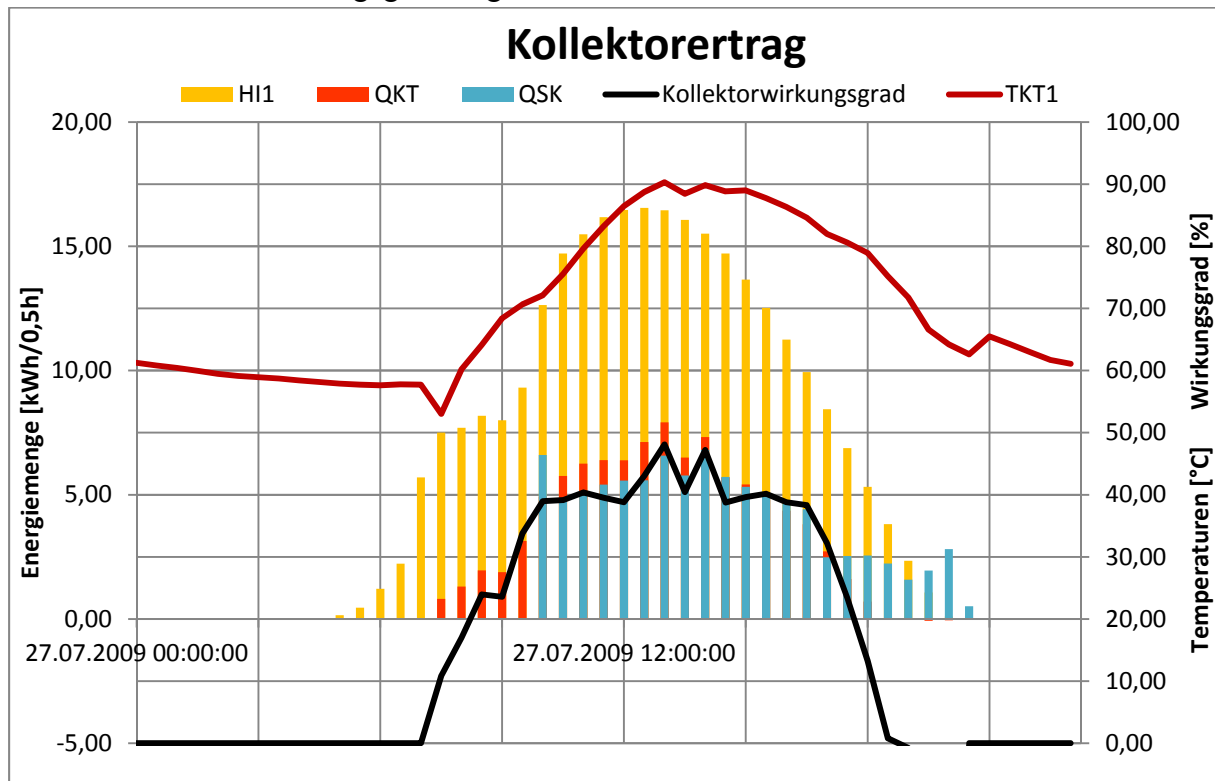


Abb. 17: Einstrahlung und Kollektorertrag (Halbstundenwerte)

Das Betriebsverhalten im Kältekreis der AKM ist in (Abb. 18) dargestellt. Im normalen Anlagenbetrieb wäre eine Staffelung der Temperaturen im Kaltwasserkreis wie folgt plausibel:

$$TAK2 < TRK2 < TRK1 < TAK1$$

Auffällig sind hier die zu niedrigen bzw. zu hohen Ein- und Austrittstemperaturen in den Wärmeübertrager zum Kältenetz der Praxis im Kältekreis der AKM (TRK1/TRK2).

Bis etwa 16:45 Uhr läuft die Kältemaschine kontinuierlich. Durch vermutlich taktweise anfallende Wärmelasten im medizinischen Bereich schwanken die Temperaturen im Kältenetz der Praxis stark. Ab etwa 16:40 Uhr sinkt die Vorlauftemperatur zum Wärmeübertrager im Kaltwassernetz deutlich ab, was einen geringeren Kühlbedarf zur Folge hat. Durch Schalten des Ventils V4 auf Bypass zum Wärmeübertrager wird im Kaltwasserkreis der AKM keine Wärme mehr aufgenommen und die Kaltwasseraustrittstemperatur sinkt bis die AKM um 16:50 Uhr vorrübergehend abschaltet. Es wird keine Wärme aus dem Kaltwassernetz übertragen (TVK1=TVK2). Ohne Betrieb der AKM steigt die Temperatur der Messstellen AK1 und AK2 wieder an. Um das Anlagenverhalten unter verschiedenen Betriebsbedingungen zu erklären und nachzuvollziehen, wären ein plausibles Regelkonzept und weitere Messzeiträume notwendig gewesen.

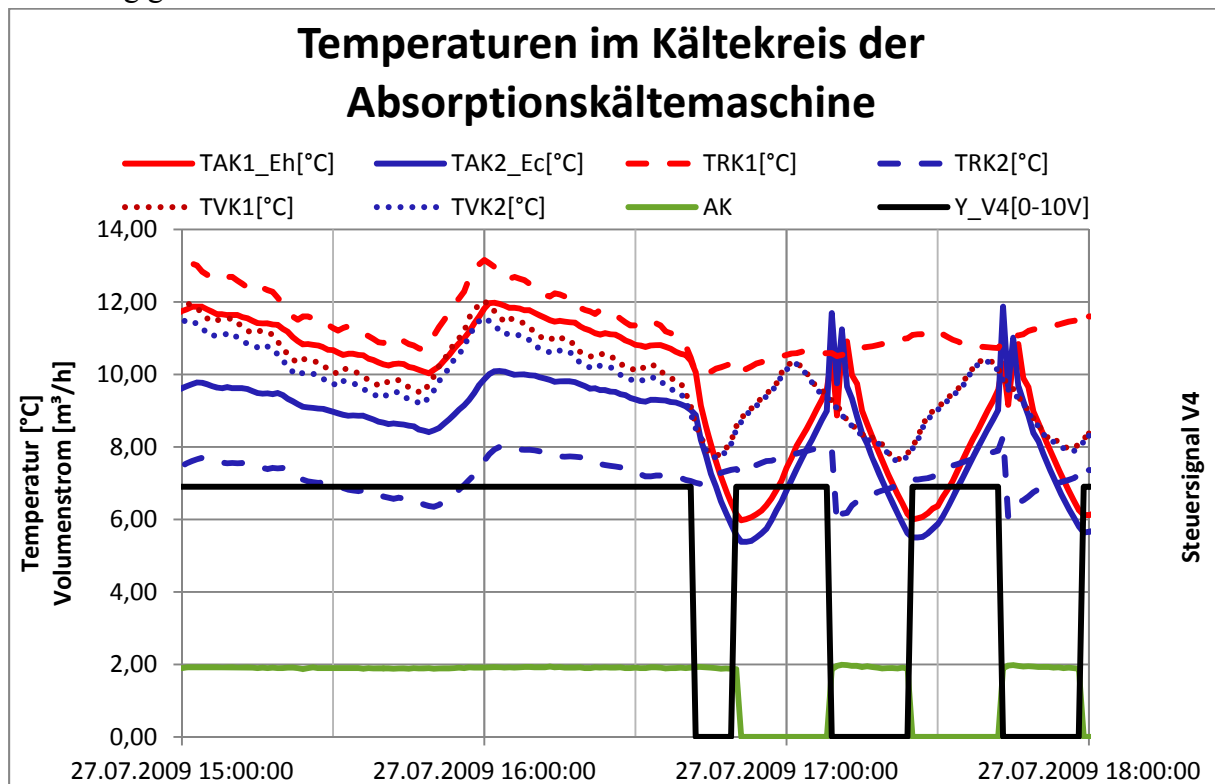


Abb. 18: Temperaturen und Steuersignal des Ventils V4 vor dem WÜ im Kältekreis

Nachfolgende Tabelle gibt Aufschluss über Ausfälle der Datenerfassung. Für die rot markierten Zeiträume liegen keine Messwerte vor. Gründe hierfür sind Ausfälle des Datenloggers, Verbindungsprobleme zum FTP-Server sowie mehrfache Änderungen am Regelungsalgorithmus der Anlage.

| 01/09 | 02/09 | 03/09 | 04/09 | 05/09 | 06/09 | 07/09 | 08/09 | 09/09 | 10/09 | 11/09 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |

| | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 |
| 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 |
| 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 |
| 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |
| 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 |
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 |
| 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 |
| 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |

Tab. 12: Datenloggerausfälle

Zusammenfassung

Nach einem Ausfall der Steuerung kam es Ende August 2009 zum Stillstand der Anlage und ab Mitte September wurden keine Messwerte mehr aufgezeichnet. Eine Wiederinbetriebnahme scheiterte zu dieser Zeit an der nahezu zeitgleichen Insolvenz der Fa. Sonnenklima.

Im ersten Halbjahr 2010 wurde durch den Fördermittelgeber unter Einbeziehung des Insolvenzverwalters, Mitarbeitern der ehemaligen Fa. Sonnenklima und der betreuenden Forschungseinrichtungen versucht, eine Lösung zur Wiederinbetriebnahme der solaren Klimatisierung des Ärztehauses Rheineck zu finden. Eine eventuelle Wiederinbetriebnahme bedingt die Klärung der Eigentumsverhältnisse und konnte bis dato nicht erfolgen. Seit dem Ausfall im August 2009 liegen keine auswertbaren Messdaten aus dem stark eingeschränkten Anlagenbetrieb vor.

Nachdem Mitte Mai durch den Insolvenzverwalter mitgeteilt wurde, dass keine Zuarbeit seinerseits mehr erfolgen kann, wurde durch den Fördermittelgeber ein Widerrufsverfahren eingeleitet.

Durch die kurze Dauer des Anlagenbetriebes lassen sich nur bedingt belastbare Aussagen zum Anlagenbetrieb machen. Ein Normalbetrieb der Anlage wurde bis zum Stillstand im September 2009 nicht erreicht.

Projektpartner

| | |
|---|---|
| Objektanschrift | Ärztehaus Walther-Schreiber-Platz Berlin Bundesalle 104-105 12161 Berlin |
| Planer und Installateur | SK Sonnenklima (insolvent) Am Treptower Platz 28-30 12435 Berlin |
| Projektförderung | Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit |
| Projektabwicklung im Auftrag des BMU | Projektträger Jülich (PTJ) des BMU Wallstraße 17-22 10179 BERLIN Fr. Krüger |
| Wissenschaftlich-Technische Begleitung | Technische Universität Chemnitz Professur Technische Thermodynamik Projektgruppe Solarthermie 09107 CHEMNITZ Herr Dr. Schirmer, Herr Wutzler, (Herr Niersmann) Fraunhofer Institut Solare Energiesysteme Gruppe Thermische Anlagen und Komponenten Heidenhofstraße 2 79110 Freiburg Herr Dipl.-Phys. Edo Wiemken |

5.2.3 Solare Prozesswärmeerzeugung der Hofmühl Brauerei in Eichstätt

Förderkennzeichen: 0329609D

Objektvorstellung

Das Solarprojekt an der Hofmühl-Brauerei soll die künftige Nutzung von Solarthermieanlagen in Brauereien als Pilotprojekt demonstrieren und auf andere Unternehmen und Branchen übertragbare Ergebnisse liefern. Die vergleichsweise kleine Privatbrauerei in Eichstätt mit einer Bierproduktion von ca. 80.000 hl pro Jahr, deckte ihren jährlichen Primärenergiebedarf zur Wärmeerzeugung im Brauprozess von etwa 2.200 MWh vor der Installation der Solaranlage durch Heizöl. Bereits vor den Überlegungen zur Installation einer Solaranlage wurde der Brauprozess optimiert und das energiesparende Brauverfahren „Merlin“ der Fa. Krones eingeführt, durch welches der Energieverbrauch um über 60 % gesenkt werden konnte. Gleichzeitig soll zukünftig die Prozessführung auf das Angebot an solarer Energie angepasst und somit die Energiespeicherkosten drastisch reduziert werden. Die aus der Solarstrahlung gewonnene Energie soll mit Mediumtemperaturen von bis zu über 100 °C an verschiedenen Stellen in den Brauprozess und die Hilfsprozesse integriert werden.

Bestimmung des Energiebedarfs der Brauerei

Nach mehreren Ausbaustufen sollten folgende Verbraucher mit thermischer Energie aus der Solaranlage versorgt werden:

1. Ausbaustufe:

Flaschenwaschmaschine
Brauch- und Brauwassererwärmung
Raumheizung

2. Ausbaustufe:

„Cleaning in Place“-Anlage (CIP) im Sudhaus
„Cleaning in Place“-Anlage (CIP) im Gärkeller
„Cleaning in Place“-Anlage (CIP) Filtration

3. Ausbaustufe:

Vorwärmung Zusatzwasser
Kurzzeiterhitzung (KZE)

Entgegen der Planung wurde bis zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Abschlussberichtes aber lediglich die erste Ausbaustufe realisiert. Eine Verschaltung der Verbraucher als Kaskade, soll es ermöglichen, den heißen Rücklauf eines Verbrauchers mit höherem Bezugstemperaturniveau als Vorlauf für einen Verbraucher mit niedrigeren Temperaturanforderungen zu nutzen. Mit etwa 20 Suden pro Woche im Sommer und ca. 10-14 Suden im Winter findet die Bierproduktion zu etwa 2/3 im Sommerhalbjahr statt, so dass solares Energieangebot und Ener-

gienachfrage zeitlich zusammenfallen. Da im Vorfeld lediglich durch die Menge verbrauchten Heizöls eine Aussage über den Gesamtwärmebedarf gemacht werden konnte, wurden für die Abschätzung des Bedarfs der einzelnen Verbrauchsstellen durch die Firma Krones AG Messungen im Rahmen einer Diplomarbeit durchgeführt. Alle späteren Aussagen zu den Deckungsanteilen der Solaranlage an den einzelnen Verbräuchen beziehen sich auf diese Angaben, da weiterhin keine Verbrauchsmessungen innerhalb des bestehenden Wärmeverteilnetzes der Brauerei durchgeführt werden.

Wärmebedarf der Flaschenwaschmaschine

Der in der Messwoche bestimmte Energiebedarf beläuft sich auf etwa 13.500kW bei einer gleichmäßigen Verteilung über die Produktionswoche. Der Wärmebedarf am Sonntag ergibt sich durch das Aufheizen der nach dem Wochenende abgekühlten Reinigungslauge. Dieser Prozessschritt wurde ursprünglich immer am Montagmorgen durchgeführt, soll aber zur Vermeidung von Stagnation bereits auf Sonntag verlagert werden.

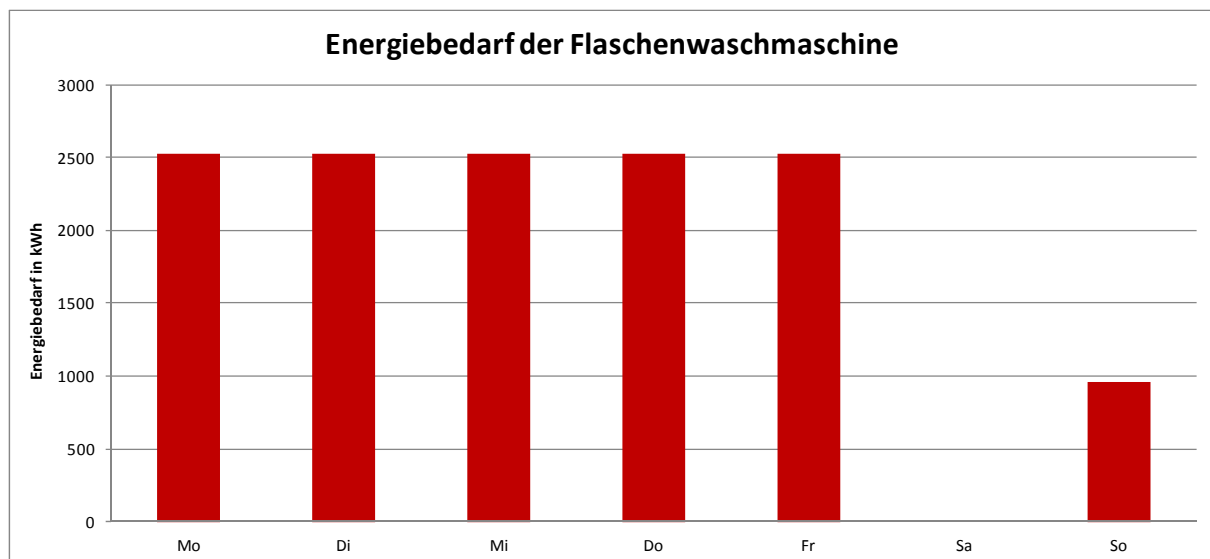


Abb. 19: tägliche Verteilung des wöchentlichen Energiebedarfs der Flaschenwaschmaschine in kWh

Die bestehende Waschmaschine der Firma Klinger hatte eine Reinigungsleistung von 7000 Flaschen pro Stunde und wurde je nach Brausituation im 1- oder 2-Schichtbetrieb gefahren. Die zum Zeitpunkt der Installation der Solaranlage vorhandene Flaschenwaschmaschine konnte nicht an die Prozesssteuerung angeschlossen werden. Das Umschalten vom Dampfkessel auf die Solaranlage erfolgte durch den Bediener manuell. Das Umschalten vom Dampfkessel auf die Solaranlage erfolgte durch den Bediener manuell. Bei dieser alten Flaschenwaschmaschine zeigten optische und akustische Signale den möglichen Einsatz von solarthermischer Energie an.

Daher wurde seitens der Brauerei über die Anschaffung einer neuen Flaschenwaschmaschine nachgedacht. Die Reinigungstemperatur der neuen Waschmaschine wird voraussichtlich etwas unter der, der bereits vorhandenen Waschmaschine mit 80 °C liegen, was der Integration der solarerzeugten Energie in den Brauprozess entgegenkommt.

Wärmebedarf zur Aufheizung von Brauch- und Brauwasser

Brauchwasser wird innerhalb der Brauerei zur Zwischenspülung bei der Reinigung von Rohrleitungen und Filtern genutzt. Die Bezugstemperatur beträgt 60 °C bei unregelmäßigem und häufig nur kurzzeitigem Bedarf. Die Messung der benötigten Energiemenge zur Brauchwassererwärmung erfolgte ebenfalls über den Zeitraum von einer Woche und betrug in der Summe 9750 kWh. Die folgende Abbildung zeigt die Verteilung über den Verlauf einer Woche.

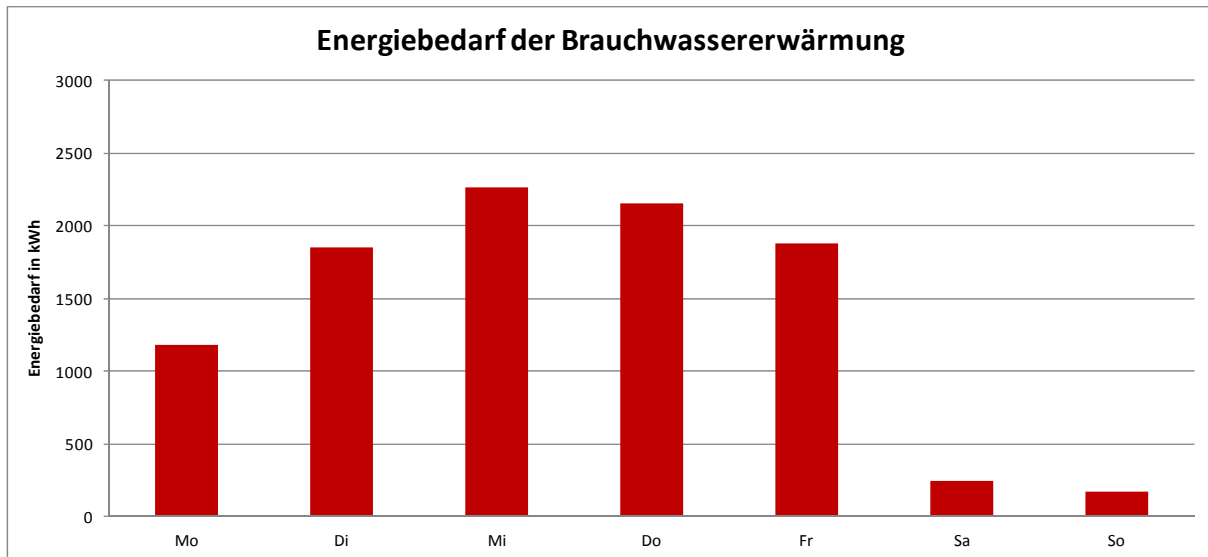


Abb. 20: tägliche Verteilung des wöchentlichen Energiebedarfs zur Brauchwassererwärmung in kWh

Die benötigte Vorlauftemperatur der Brauchwassererwärmung beträgt 80°C und entspricht damit etwa der Rücklauftemperatur der vorerst eingesetzten Flaschenwaschmaschine. So ist es möglich, das vergleichsweise heiße Wasser des Rücklaufs der Flaschenwaschmaschine als Vorlauf für diesen Verbraucher zu nutzen. Das kalte Brauchwasser wird dabei von etwa 15 °C auf ca. 60 - 70 °C Nutztemperatur erwärmt. Nach der Abkühlung fließt das etwa 40 °C warme Wasser zurück in die Pufferspeicher.

Etwa 50 Prozent der in einer Brauerei genutzten thermischen Energie benötigt die Würzeherstellung im Sudhaus. Die Prozessschritte Maischen, Läutern weisen einen besonders hohen Heißwasserbedarf auf, der zu einem Großteil durch Wärmerückgewinnung der Würzekühlung nach dem Kochen gedeckt wird. Die Brauwassererwärmung erfolgte innerhalb der Messwoche fast ausschließlich durch Wärmerückgewinnung. Eine Erwärmung über den installierten Dampfwärmeübertrager erfolgte kaum. Lediglich die Energiemengen der Dampfzusatzheizung könnten solar substituiert werden. Restwärmenutzung der Entgasung und Würzekühlung müssen für den Produktionsprozess unverändert in Betrieb bleiben.

Da für das Einmaischen warmes Wasser innerhalb eines sehr kleinen Temperaturbereiches um etwa 80 °C notwendig ist, wird auf ein Nachfüllen des Behälters mit kaltem Wasser während der Produktionswoche verzichtet. Somit variiert der Füllstand im Behälter je nach Wochentag bzw. Produktionsstand und ist gegen Ende der Woche am niedrigsten. Am letzten Produktionstag der Woche wird der Tank mit kaltem Wasser neu gefüllt und über das Wochenende durch Restwärmenutzung der Entgasung des Kesselspeisewassers sowie den Dampfwärme-

übertrager erwärmt. Da der Vorlagentank des warmen Brauwassers ebenfalls über den Wärmeübertrager der Brauchwassererwärmung beheizt werden kann, ist an dieser Stelle eine Nutzung der Solarenergie möglich. Eine Integration der Brauwassererwärmung in das Solarsystem kann somit trotz der geringen absoluten Energiemenge dazu dienen, Stagnation zu vermeiden, da an den Wochenenden kaum eine weitere Energieabnahme durch den Produktionsprozess stattfindet.

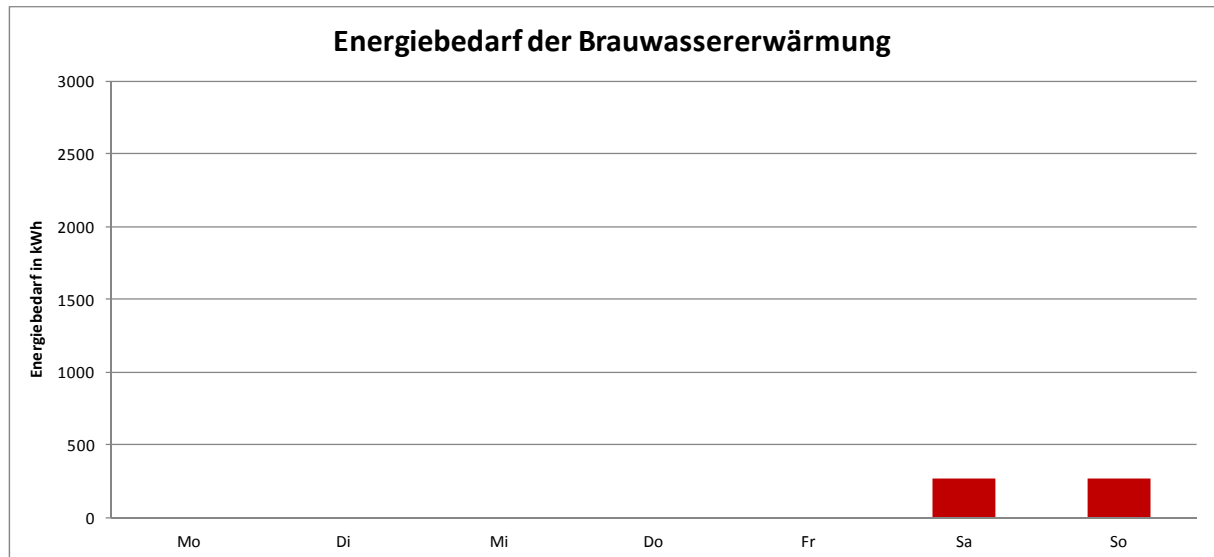


Abb. 21: tägliche Verteilung des wöchentlichen Energiebedarfs zur Brauwassererwärmung in kWh

Wärmebedarf zur Raumheizung

Zur Bestimmung der Heizlast des Gebäudes wurden Volumenstrom und Vor- und Rücklauftemperatur im Heizkreis über den Zeitraum von 24 Stunden gemessen. Um aus dieser im Mai durchgeführten Messung auf den weiteren Bedarf innerhalb der Heizperiode zu schließen, wurde der zu erwartende Wärmeverbrauch mit Hilfe der Gradtags-Zahl berechnet.

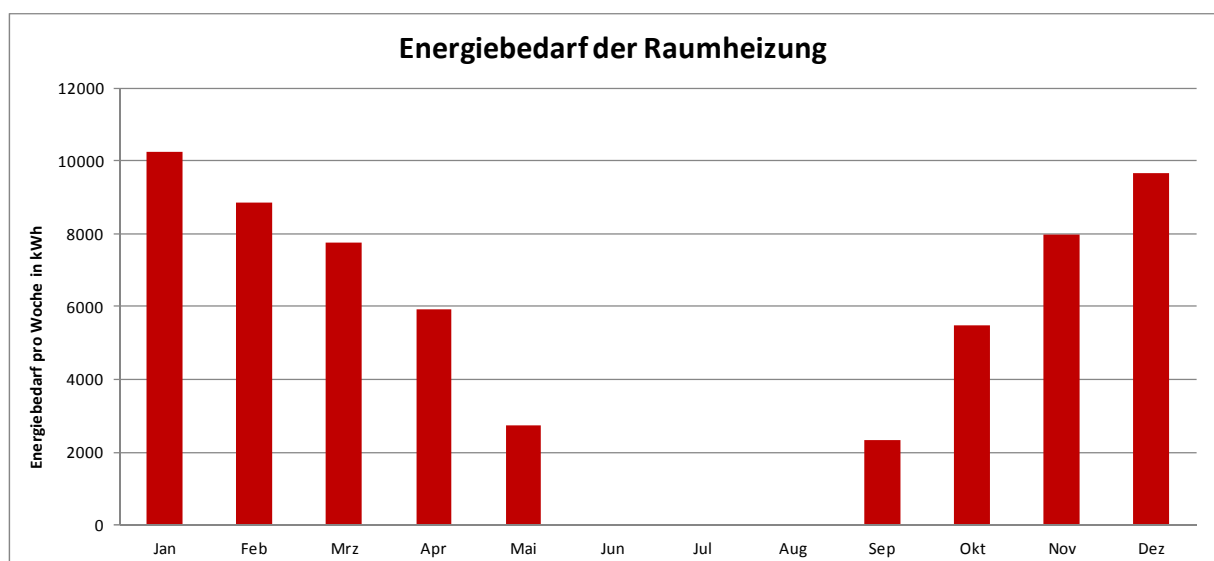


Abb. 22: Verteilung des wöchentlichen Energiebedarfs zur Raumheizung in kWh

Zur Berücksichtigung der Temperaturabsenkung am Wochenende, wurde in der Berechnung der jeweilige Wert für Samstag und Sonntag mit dem Faktor 0,7 korrigiert. Um den Deckungsanteil der Solaranlage am Energiebedarf der Raumheizung zu Erhöhen, wurde nach der Einbindung des Heizsystems die benötigte Vorlauftemperatur auf 45 °C abgesenkt.

Seitens der Firma Solarbayer, dem Lieferanten der Kollektoren und Hersteller der Pufferspeicher, wurden vor Installation der Anlage Berechnungen zum zu erwartenden Ertrag durchgeführt. Die Ergebnisse wurden jedoch auf Basis der getroffenen Annahmen und Randbedingungen sowie der einfachen Methodik zur Bestimmung der Energiemengen, durch die TU Chemnitz als deutlich zu optimistisch eingeschätzt. Da der TU kaum detaillierte Parameter über Steuerung, Prozessführung und tatsächlichen Energiebedarf bekannt waren, konnte ebenfalls nur eine stark vereinfachte TRNSYS-Simulation für den Kollektorertrag des Feldes im Matched-Flow-Betrieb mit einer konstanten Eintrittstemperatur durchgeführt werden (120/40°C). Der errechnete spezifische Kollektorertrag unter Idealbedingungen liegt mit 455 kWh/(m²*a) bezogen auf die Aperturfläche deutlich unter dem von Solarbayer vorausgesagtem Wert von ca. 670 kWh/(m²*a), erscheint jedoch wesentlich realistischer, was sich in den späteren Messungen auch bestätigte.

Technische Beschreibung

Nach Schaffung der baulichen Gegebenheiten im Brauereigelände begann im April 2008 mit dem Aufstellen der zwei jeweils 55 m³ großen Solarspeicher die Installation der Anlage. Da es sich bei der Anlage um ein reines Wassersystem (Aqua-System) handelt, bei dem kein Glykolgemisch als Wärmeträger in den Kollektoren zum Einsatz kommt, ist ein aktiver Frostschutz notwendig. Installateur und Betreiber hatten im Vorfeld kaum Erfahrungen mit dem Betrieb von thermischen Solaranlagen und speziell dem Frostschutz von Wassersystemen. Um erste Erfahrungen zu sammeln, wurde im Oktober des gleichen Jahres ein kleines Versuchskollektorfeld aus konzentrierenden Vakuumröhrenkollektoren in Betrieb genommen. Der Frostschutz für dieses Versuchsfeld erfolgte im Winter 08/09 rein solar aus den Pufferspeichern. Im Frühjahr 2009 wurden die drei Teilfelder verschiedener Größen mit einer Gesamtaperturfläche von 735,5 m² installiert und die Solaranlage über die bereits im Gebäude vorhandene Ringleitung an die Verbraucher Flaschenwaschmaschine und Brauwasservorwärmung angeschlossen. Zur Erhöhung der Ausfallsicherheit wurde die Antriebspumpe des Solarkreises als Zwillingspumpe ausgeführt, wobei zusätzlich noch eine dritte Pumpe als Backup bereitgehalten wird. Im November 2009 wurde zusätzlich die Raumheizung als weiterer Verbraucher in das System integriert. Um für den Brauprozess möglichst hohe Kollektoraustrittstemperaturen zu erreichen, wird die Wärmeträgerflüssigkeit (Wasser) im Match-Flow-Betrieb durch den Kollektorkreis gefördert. Die Beladung der Pufferspeicher erfolgt über temperaturabhängig gesteuerte Motorventile, sodass das solar erwärmte Wasser temperaturorientiert eingeschichtet wird. Damit steht der Ringleitung am Pufferausgang im oberen Speicherbereich schnellstmöglich Heißwasser zur Verfügung. Die Entladung zu den Verbrauchern erfolgt durch Wärmeübertrager in der Ringleitung. Durch eine Kaskadenschaltung der Verbraucher kann wie geplant der Rücklauf eines Verbrauchers mit hoher Temperaturanforderung als Vorlauf für einen Verbraucher mit einer niedrigeren Bezugstemperatur dienen. Die

Kollektoren innerhalb der drei Teilfelder sind nach Tichelmann verschaltet, nach Südwesten (52°) ausgerichtet und die Kollektorneigung beträgt 23° bzw. 26° aus der Horizontalen. Für den Frostschutz bzw. die Feldaufheizung am Morgen ist es möglich, die Kollektorfelder ohne den Einsatz thermischer Energie im Bypass zu den Speichern zu durchströmen (LOOP-Betrieb). Die folgenden Fotos dokumentieren einige Punkte der Solaranlage, auch vor bzw. während der Installation.



Abb. 23: Hof der Brauerei vor der Errichtung der Hofüberdachung



Abb. 24: zukünftiger Aufstellort der zwei Solarpufferspeicher



Abb. 25: Errichtung des Teilfeldes 1 auf dem Dach der neuen Produktionshalle



Abb. 26: Ansicht der beider 55 m³ Solarpufferspeicher



Abb. 27: Aufstellung der Pufferspeicher im April 2008



Abb. 28: in den Solarspeichern eingesetztes Beladesystem der Fa. Solarbayer



Abb. 29: Luftbild der Hofmühl Brauerei mit Solaranlage – Süd-Ansicht (Quelle Brauerei Hofmühl)



Abb. 30: Luftbild der Hofmühl Brauerei mit Solaranlage – West-Ansicht (Quelle Brauerei Hofmühl)



Abb. 31: Süd-Ansicht der Kollektorfelder



Abb. 32: Ansicht des Teilfeldes auf der alten Abfüllerei



Abb. 33: Teilfeld auf der neuen Produktionshalle



Abb. 34: Teilfeld auf der neuen Hofüberdachung

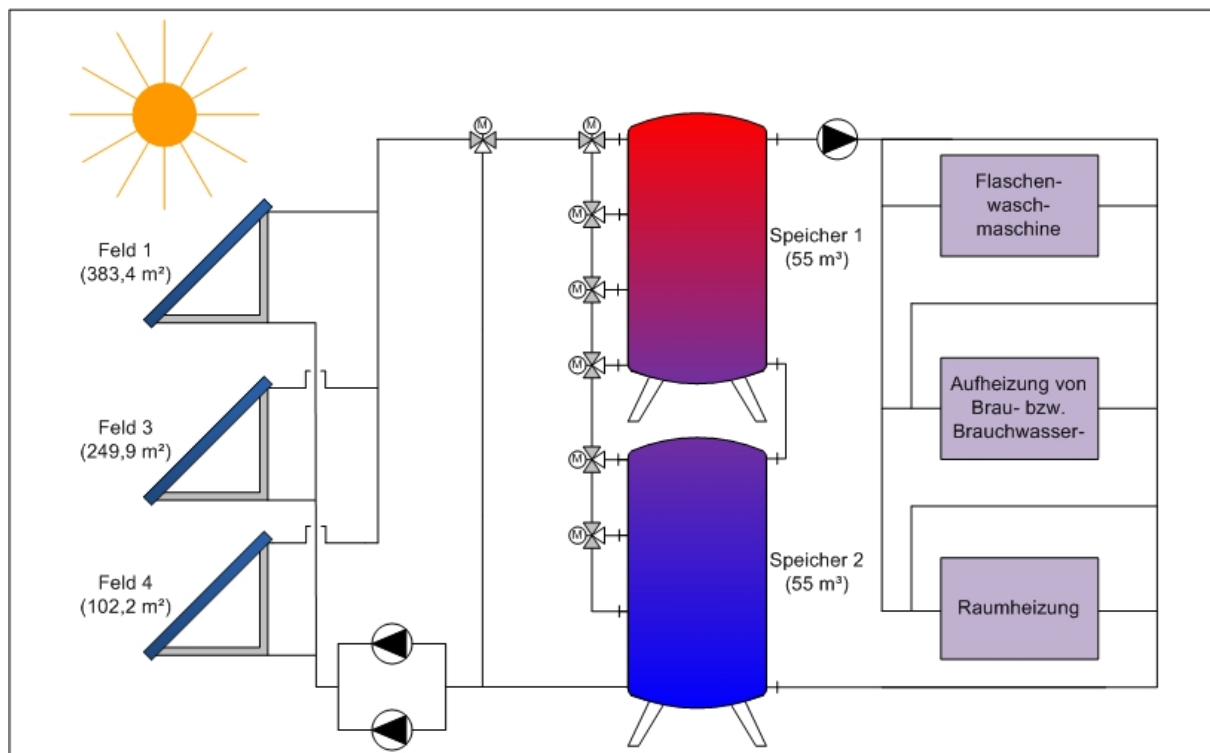


Abb. 35: vereinfachtes Anlagenschema der solaren Prozesswärmeerzeugung der Hofmühl Brauerei in Eichstätt

Technische Daten der Hauptkomponenten der Solaren Prozesswärmeerzeugung

Pufferspeicher

Die zwei jeweils 55.000 Liter großen Solarpufferspeicher wurden an der Stirnseite der Produktionshalle im Freien aufgestellt. Um in den Wintermonaten Energie zur Frostfreihaltung der Speicher einzusparen, besteht die Möglichkeit einen Speicher zu entleeren und die Anlage nur mit 55 m³ Speichervolumen zu betreiben. Nachfolgende Tabelle macht Angaben zu den eingesetzten Speichern.

Tab. 13: Daten der Pufferspeicher

| | |
|-----------------------|---|
| Hersteller | Fa. Solarbayer Pollenfeld / Preith |
| Anzahl / Verschaltung | 2 Stück in Reihe |
| Baujahr | 2008 |
| Volumen | 55.000 l |
| Medium | Wasser |
| Material Behälterwand | Stahl |
| Wärmedämmung | Mineralwolle |
| Dicke Wärmedämmung | 500 mm |
| Beladesystem | Geschichtete Beladung über Motorventile |

Kollektoren

Die Anordnung der Kollektoren auf dem Dach sowie die prinzipielle Verschaltung innerhalb der drei Teilfelder sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt. Die Nummerierung der einzelnen Teilfelder entspricht dabei einem Stand während der Planung und wurde über die gesamte Projektlaufzeit beibehalten. Innerhalb der parallelen Teilfelder erfolgt die Verschaltung der einzelnen Stränge aus jeweils drei bis fünf Kollektoren nach dem Tichelmann-Prinzip.



Abb. 36: Zuordnung der Kollektorfläche zu den einzelnen Teilfeldern (Bildquelle: Brauerei Hofmühl)

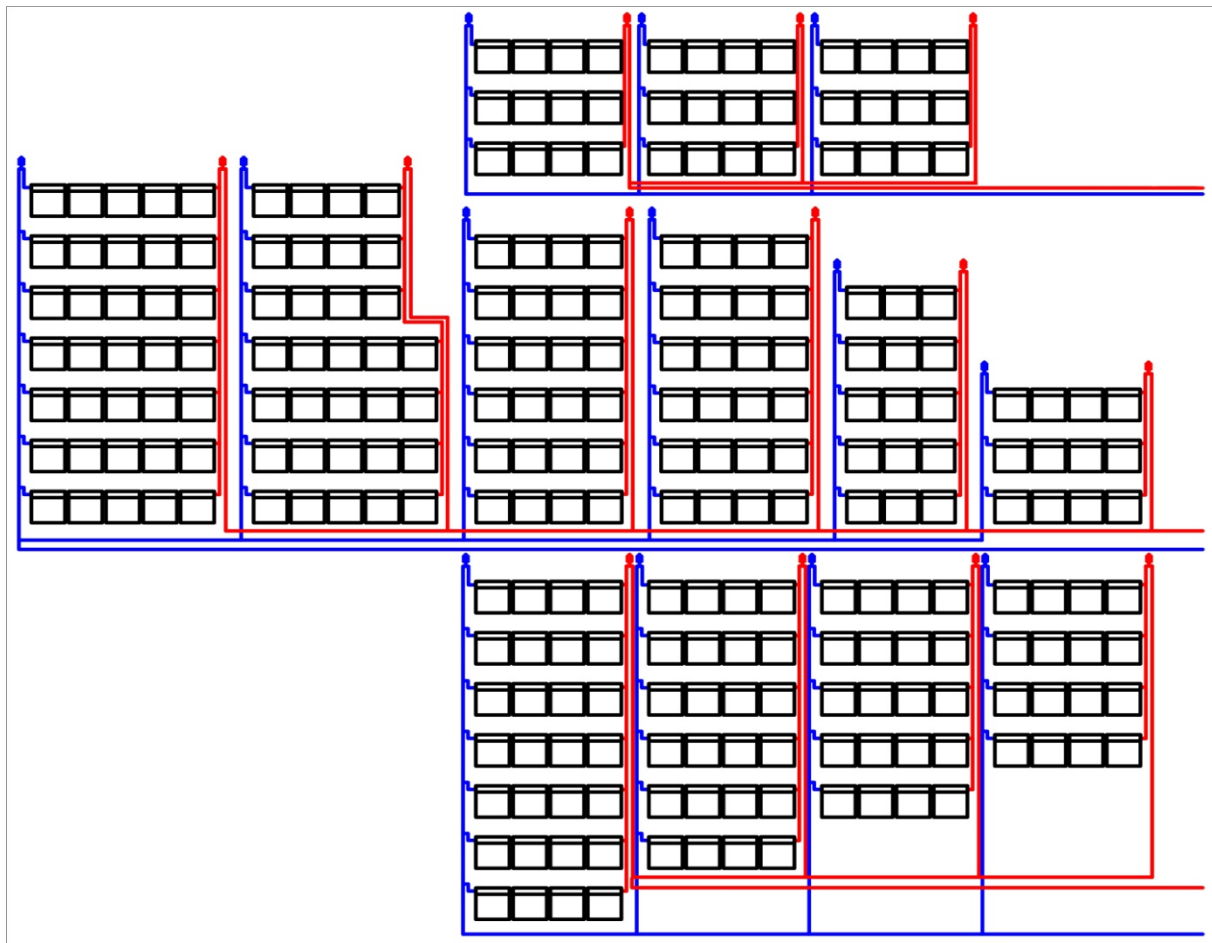


Abb. 37: Verschaltung der einzelnen Kollektoren innerhalb der Teilfelder

Tab. 14: Kollektordaten

| | Feld 1 | Feld 3 | Feld 3 |
|---|--|----------------------|------------------------------|
| Standort | Neubau Halle / Dach der alten Füllerei | Hofüberdachung | Ehemaliges Lege-schieferdach |
| Ausrichtung ($S=0^\circ$, $O=-90^\circ$, $W=+90^\circ$) | Südwest $+52^\circ$ | Südwest $+52^\circ$ | Südwest $+52^\circ$ |
| Neigung | 23° | 23° | 26° |
| Anzahl der Kollektoren | 135 Stück | 88 Stück | 36 Stück |
| Aperturfläche | 383,4 m ² | 249,9 m ² | 102,2 m ² |
| Kollektorhersteller | Fa. Kloben, Italien | | |
| Kollektorlieferant | Fa. Solarbayer, Pollenfeld/Preith | | |
| Hertellertyp | CPC 18 | | |
| Kollekortyp | Vakuumröhrenkollektor | | |
| Anzahl Röhren | 18 | | |
| Bruttofläche | 3,21 m ² | | |
| Aperturfläche | 2,84 m ² | | |
| Absorberbeschichtung | Selektiv AL-N/AL | | |
| Material Wärmeträgerrohr | Kupfer | | |
| Material Wärmeleitblech | Aluminium | | |
| Inhalt Wärmeträger / Kollektor | 2,6 l | | |
| Konversionsfaktor c_0 | 0,718 | | |
| Linearer Wärmeverlustkoeff. c_1 | 0,974 W/m ² K | | |
| Quadratischer Wärmeverlustkoeff. c_2 | 0,005 W/(m ² K ²) | | |
| Frontabdeckung, Dicke | Borsilikatglas, 1.6 mm | | |
| Zulässiger Betriebsüberdruck | 6 bar | | |
| Stillstandstemperatur | 249 °C | | |

Messtechnik

Da das Förderkonzept „Solarthermie 2000plus“ keine Vorgaben bezüglich der zu installierenden Monitoringmesstechnik macht, wurde unter Vorgabe der Genauigkeit der zu installierenden Regelungsfühler aus Kostengründen auf eine Redundanz zwischen Regelungs- und Monitoringsensorik verzichtet. Die zur Steuerung der Anlage bzw. des Brauprozesses vom Installateur bzw. Betreiber eingesetzte Sensorik erfüllt die Anforderungen für das Monitoring. Die Inbetriebnahme der Messtechnik und des Datentransfers der Messwerte zur betreuenden Hochschule via FTP-Server erfolgten im Juni 2009. In der Anlagensteuerung werden die Messgrößen Einstrahlung, Volumenströme, Temperaturen sowie die Schaltzustände bzw. Statussignale von Pumpen und Ventilen erfasst und im 10-Sekunden-Intervall täglich auf einem Server als CSV-File abgespeichert. Auf Basis der Messwerte wurden Plausibilitätsüberprüfungen durchgeführt und vertauschte Messstellen sowie Fehler der Datenerfassung identifiziert.

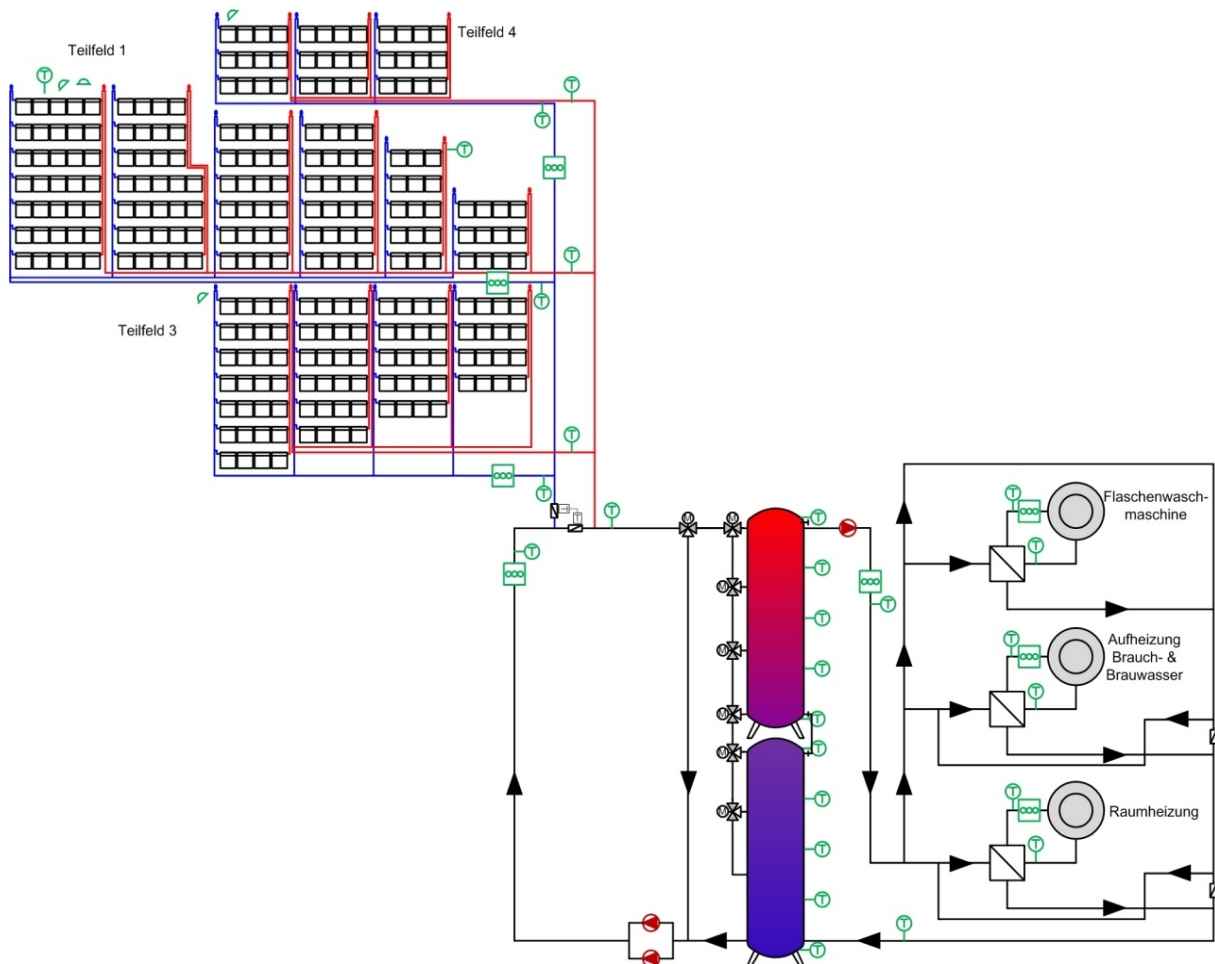


Abb. 38: Prinzipschaltbild inklusive der installierten Mess- und Regelungssensorik

Um schlecht durchströmte Bereiche des Kollektorfeldes, welche im Frostschutzbetrieb oder bei hohen Betriebstemperaturen wegen Dampfbildung kritisch sind, zu identifizieren, wurden im Juni 2010 zehn weitere Temperatursensoren im Feld platziert. Diese Anlegefühler mit Minidatenlogger können bei einem eingestellten Messintervall von 10 min Messwerte für mehrere Monate aufzeichnen.

a) Strahlung

| gemessene Größen | | |
|------------------|---|------------------|
| Bezeichnung | Erläuterung | Einheit |
| EI_0 | Intensität der Globalstrahlung (horizontal) | W/m ² |
| EI_1 | Intensität der Gesamtstrahlung in Kollektorebene des Teilfeld 1 | W/m ² |
| EI_3 | Intensität der Gesamtstrahlung in Kollektorebene des Teilfeld 3 | W/m ² |
| EI_4 | Intensität der Gesamtstrahlung in Kollektorebene des Teilfeld 4 | W/m ² |

Tab. 15: Strahlungsintensitätsbezeichnungen

b) Durchfluss

| gemessene Größen | | |
|------------------|--|-------------------|
| Bezeichnung | Erläuterung | Einheit |
| KT_1 | Volumenstrom durch Teilfeld 1 | m ³ /h |
| KT_3 | Volumenstrom durch Teilfeld 3 | m ³ /h |
| KT_4 | Volumenstrom durch Teilfeld 4 | m ³ /h |
| SP | Volumenstrom im Kollektorkreis zur Speicherbeladung | m ³ /h |
| SE | Volumenstrom in der Ringleitung zur Speicherentladung | m ³ /h |
| FWM | Volumenstrom Verbraucher Flaschenwaschmaschine | m ³ /h |
| ABW | Volumenstrom Verbraucher Aufheizung Brau- & Brauchwasser | m ³ /h |
| RHT | Volumenstrom Verbraucher Raumheizung | m ³ /h |

Tab. 16: Volumenstrombezeichnungen

c) Temperatur (°C)

| gemessene Größen | | | |
|--|-----------------------------------|--|------------------------------------|
| Bezeichnung | Erläuterung | Bezeichnung | Erläuterung |
| TAE | Außentemperatur (freie Umwelt) | TKT_12 | Kollektorvorlauf Teilfeld 1 |
| höhere Temperaturen | | niedrigere Temperaturen | |
| TKT_11 | Kollektorrücklauf Teilfeld 1 | TKT_12 | Kollektorvorlauf Teilfeld 1 |
| TKT_31 | Kollektorrücklauf Teilfeld 3 | TKT_32 | Kollektorvorlauf Teilfeld 3 |
| TKT_41 | Kollektorrücklauf Teilfeld 4 | TKT_42 | Kollektorvorlauf Teilfeld 4 |
| TSP_1 | Speicherbeladung Vorlauf | TSP_2 | Speicherbeladung Rücklauf |
| TSE_1 | Speicherentladung zu Verbrauchern | TSEK_2 | Speicherentladung von Verbrauchern |
| TFWM_1 | Eintritt WÜ Flaschenwaschmaschine | TFWM_2 | Austritt WÜ Flaschenwaschmaschine |
| TABW_1 | Eintritt WÜ Brau- & Brauchwasser | TABW_2 | Austritt WÜ Brau- & Brauchwasser |
| TRHT_1 | Eintritt WÜ Raumheizung | TRHT_2 | Austritt WÜ Raumheizung |
| Sensorverteilung über die Höhe von Speicher 1 | | Sensorverteilung über die Höhe von Speicher 2 | |
| TPS1_1 | Temperatur Pufferspeicher 1 oben | TPS2_1 | Temperatur Pufferspeicher 2 oben |
| TPS1_2 | Temperatur | TPS2_2 | Temperatur |
| TPS1_3 | Temperatur | TPS2_3 | Temperatur |
| TPS1_4 | Temperatur Pufferspeicher 1 Mitte | TPS2_4 | Temperatur Pufferspeicher 2 Mitte |
| TPS1_5 | Temperatur | TPS2_5 | Temperatur |
| TPS1_6 | Temperatur | TPS2_6 | Temperatur |
| TPS1_7 | Temperatur Pufferspeicher 1 unten | TPS2_7 | Temperatur Pufferspeicher 2 unten |

Tab. 17: Temperaturbezeichnungen

d) Statusabfrage Pumpen und Ventile

| gemessene Größen | | | |
|--|---|--|--|
| Bezeichnung | Erläuterung | | |
| P1 | Status der Solarkreispumpe | | |
| P2 | Status der Entladepumpe | | |
| Ventilstatus Speicher 1 (schalten wechselweise) | | Ventilstatus Speicher 2 (schalten wechselweise) | |
| VPS1_11 | Einlass 1 offen, Speicher 1 oben | VPS2_11 | Einlass 1 offen, Speicher 2 oben |
| VPS1_12 | Einlass 1 geschlossen, frei zu Einlass 2 | VPS2_12 | Einlass 1 geschlossen, frei zu Einlass 2 |
| VPS1_21 | Einlass 2 offen | | |
| VPS1_22 | Einlass 2 geschlossen, frei zu Einlass 3 | | |
| VPS1_31 | Einlass 3 offen | | |
| VPS1_32 | Einlass 3 geschlossen, frei zu Einlass 4 | | |
| VPS1_41 | Einlass 4 offen | | |
| VPS1_42 | Einlass 4 geschlossen, frei zu Einlass 1 an Speicher 2 | | |
| VLOOP | Ventil Loop-Betrieb | | |
| VSP_1/VSE_1 | Betrieb mit einem Speicher im System, schalten wechselweise mit VSP_2/VSE_2 | | |
| VSP_2/VSE_2 | Betrieb mit beiden Speichern im System, schalten wechselweise mit VSP_1/VSE_1 | | |

Tab. 18 Pumpen- und Ventilbezeichnungen in der Statusabfrage

Um Aussagen über die Funktion der Solaranlage in energetischer sowie wirtschaftlicher Sicht treffen zu können, werden aus den gewonnenen Daten Energie- und Verbrauchsmengen errechnet.

e) Berechnete Energie (kWh)

| Bezeichnung | Erläuterung |
|-------------|--|
| HI_1 | Gesamtenergiemenge Solarstrahlung auf Teilfeld 1 |
| HI_3 | Gesamtenergiemenge Solarstrahlung auf Teilfeld 3 |
| HI_4 | Gesamtenergiemenge Solarstrahlung auf Teilfeld 4 |
| HI | Gesamtenergiemenge Solarstrahlung auf das Kollektorfeld |
| QKT_1 | Energiemenge Teilfeld 1 |
| QKT_3 | Energiemenge Teilfeld 3 |
| QKT_4 | Energiemenge Teilfeld 4 |
| QKT | Energiemenge des gesamten Kollektorfeldes |
| QSP | Energiemenge zur Beladung der Pufferspeicher am Speichereintritt |
| QSE | Energiemenge Entladung der Pufferspeicher am Speicheraustritt |
| QFWM | Energiemenge Verbraucher Flaschenwaschmaschine |
| QABW | Energiemenge Verbraucher Aufheizung von Brau- und Brauchwasser |
| QRHT | Energiemenge Verbraucher Raumheizung |
| QFS | Energiemenge zur Bereitstellung des Frostschatzes |
| P_el | Gesamte Elektrische Hilfsenergie |

Tab. 19 Energie (kWh)

Auswertung der Messergebnisse und Systemkennzahlen

Die Berechnung jahresbezogener Kennzahlen zur Anlagenbewertung bzw. zur Vergleichbarkeit wurde erstmals nach Abschluss eines vollständigen Messjahres im Sommer 2010 möglich (Tab. 20). Abb. 39 zeigt die Energieströme beispielhaft für das Kalenderjahr 2010. Auf Grund geringer Einstrahlung konnten vom Jahresbeginn bis Ende Februar nur niedrige Kollektorfelddrucklauftemperaturen erzielt werden, eine Nutzung der durch die Solaranlage bereitgestellten Energie in den angeschlossenen Prozessen war in diesem Zeitraum nicht möglich. Um den Deckungsanteil der Solarenergie an der Raumheizung zu erhöhen, wurde die benötigte Vorlauftemperatur am Verbraucher von 60°C auf 50°C abgesenkt. Eine solare Unterstützung erfolgt ab Ende Februar. Mit steigenden Temperaturen im Speicher können im März die Vorwärmung des Brau- und Brauchwassers bzw. ab April auch die Flaschenwaschmaschine solar bedient werden. Über das Frühjahr steigt der Anteil solar bereitgestellter Energie der Verbraucher und beträgt im Juli jeweils etwa ein Drittel der benötigten Gesamtenergie für Flaschenwaschmaschine und Brau- bzw. Brauchwassererwärmung. Für die Raumheizung besteht in den Sommermonaten kein Wärmebedarf. Im Herbst können die Verbraucher mit einem hohen Bedarfstemperaturniveau auf Grund sinkender Einstrahlung und Kollektorrücklauf- bzw. Speichertemperaturen nicht mehr solar bedient werden, sodass im November nur noch die Raumheizung unterstützt wird. Im Dezember kann von der Solaranlage keine Energie mehr für die angeschlossenen Verbraucher bereitgestellt werden, die Anlage läuft im Frostschutzbetrieb, jedoch ohne konventionelle Nachheizung.

Tab. 20: Jahreserträge und Systemkennzahlen bezogen auf die Aperturfläche

| | 08/09 – 07/10 | 08/10 – 07/11 | 08/11 – 07/12 | |
|---|---------------|---------------|---------------|--------------------------------------|
| <i>Einstrahlung in Kollektorebene</i> | 834.587 | 854.334 | 913.708 | kWh |
| <i>Kollektorertrag</i> | 264.880 | 256.510 | 252.820 | kWh |
| <i>Speicherbeladung</i> | 261.598 | 252.702 | 252.467 | kWh |
| <i>Verbraucher</i> | | | | |
| <i>Flaschenwaschmaschine</i> | 44.557 | 54.198 | 66.271 | kWh |
| <i>Aufheizung Brau- & Brauchwasser</i> | 88.120 | 64.418 | 69.307 | kWh |
| <i>Raumheizung</i> | 39.633 | 47.096 | 33.166 | kWh |
| | | | | |
| <i>Benötigte Elektroenergie</i> | 7.015 | 7.420 | 7.272 | kWh |
| | | | | |
| <i>Spezifischer Kollektorertrag (ohne FS)</i> | 433,6 | 396,2 | 388,1 | kWh/m ² |
| <i>Spezifischer Systemertrag (ohne FS)</i> | 234,3 | 225,4 | 229,0 | kWh/m ² |
| <i>Spezifischer Elektroenergieverbrauch</i> | 0,041 | 0,045 | 0,043 | kWh _{el} /kWh _{th} |
| <i>Arbeitszahl</i> | 24,6 | 22,3 | 23,2 | |
| <i>Jahressystemnutzungsgrad</i> | 20,6 | 19,4 | 18,5 | % |

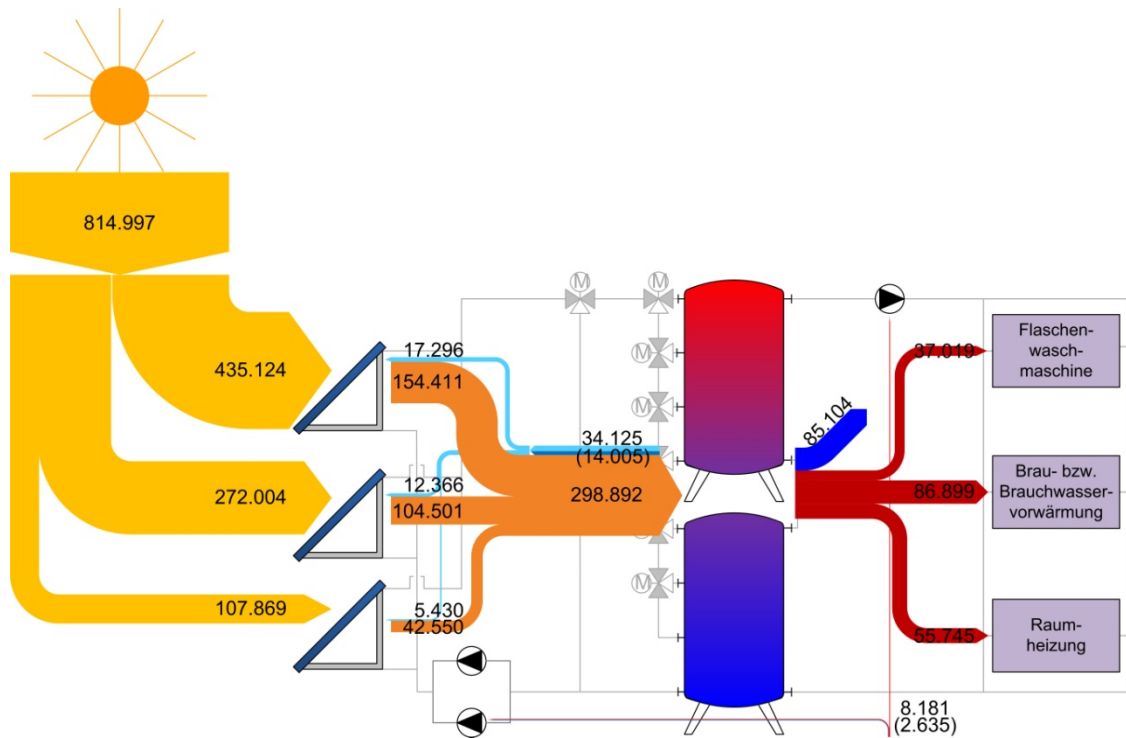


Abb. 39: Energieströme im Jahr 2010 [Angaben in kWh]

Abb. 40 und Tab. 21 schlüsselt die Jahreserträge nochmals in Monatserträge auf.

Tab. 21: monatliche Bilanzen [Angaben in kWh]

| | Beladung | Einstrahlung auf Kollektorfeld | Wärmemenge Kollektoren | Wärmemenge Speicherbeladung | Entladung | Flaschenwaschmaschine | Deckungsanteil | Aufheizung Brau- & Brauchwasser | Deckungsanteil | Raumheizung | Deckungsanteil | Elektroenergie | gesamte Elektroenergie | Frostschutz | Elektroenergie für Frostschutz | Wärmemenge Frostschutz | Deckungsanteil | Bemerkungen |
|--------|----------|--------------------------------|------------------------|-----------------------------|-----------|-----------------------|----------------|---------------------------------|----------------|-------------|----------------|----------------|------------------------|-------------|--------------------------------|------------------------|----------------|--|
| Aug 09 | | 117268 | 40701 | 39618 | | 11813 | 20% | 14135 | 33% | - | - | | 546 | | 0 | 0 | | |
| Sep 09 | | 79379 | 24470 | 23768 | | 2369 | 4% | 12520 | 28% | - | - | | 387 | | 0 | 0 | | |
| Okt 09 | | 42615 | 8750 | 8186 | | 0 | 0% | 7791 | 17% | - | - | | 336 | | 35 | 2957 | 100% | |
| Nov 09 | | 25825 | 3838 | 3651 | | 0 | 0% | 0 | 0% | - | - | | 227 | | 66 | 4437 | 100% | |
| Dez 09 | | 15835 | -1211 | -1577 | | 0 | 0% | 0 | 0% | - | - | | 552 | | 410 | 6008 | 100% | |
| Jan 10 | | 12185 | -2193 | -2723 | | 0 | 0% | 0 | 0% | - | - | | 916 | | 747 | 4828 | 100% | |
| Feb 10 | | 35196 | 7110 | 8800 | | -4 | 0% | 0 | 0% | 1505 | 5% | | 993 | | 213 | 2048 | 100% | |
| Mrz 10 | | 75158 | 24500 | 24302 | | -31 | 0% | 1143 | 3% | 12142 | 35% | | 691 | | 224 | 986 | 100% | falsche Erfassung der Elektroenergie; Näherung aus Pumpenlaufzeit und Volumenstrom |
| Apr 10 | | 105030 | 38096 | 37812 | | 3505 | 6% | 9111 | 20% | 12159 | 48% | | 625 | | 102 | 743 | 100% | falsche Erfassung der Elektroenergie; Näherung aus Pumpenlaufzeit und Volumenstrom |
| Mai 10 | | 82190 | 30145 | 29919 | | 807 | 1% | 10944 | 25% | 8952 | 75% | | 537 | | 3 | 24 | 100% | falsche Erfassung der Elektroenergie; Näherung aus Pumpenlaufzeit und Volumenstrom |
| Jun 10 | | 111354 | 42184 | 41854 | | 6772 | 11% | 15074 | 33% | 4931 | - | | 581 | | 0 | 0 | - | falsche Erfassung der Elektroenergie; Näherung aus Pumpenlaufzeit und Volumenstrom |
| Jul 10 | | 132551 | 48489 | 47989 | | 19327 | 32% | 17402 | 38% | -54 | - | | 624 | | 0 | 0 | - | falsche Erfassung der Elektroenergie; Näherung aus Pumpenlaufzeit und Volumenstrom |
| Aug 10 | | 91701 | 29316 | 28922 | | 5609 | 10% | 14727 | 34% | 110 | - | | 380 | | 0 | 0 | - | |
| Sep 10 | | 79613 | 27026 | 26693 | | 816 | 1% | 14512 | 32% | 5443 | 60% | | 576 | | 3 | 190 | 100% | |
| Okt 10 | | 55636 | 18502 | 18296 | | 13 | 0% | 3926 | 9% | 8770 | 36% | | 726 | | 109 | 1059 | 100% | |
| Nov 10 | | 20662 | 4919 | 4799 | | 10 | 0% | 30 | 0% | 2100 | 6% | | 560 | | 234 | 1138 | 100% | |
| Dez 10 | | 11892 | -1465 | -1582 | | 0 | 0% | 0 | 0% | 0 | 0% | | 909 | | 782 | 2268 | 100% | 8 Tage ohne Messwerte; Näherung über Vor- bzw. Nachfolgetag |
| Jan 11 | | 18468 | 3491 | 2795 | | 0 | 0% | 0 | 0% | 0 | 0% | | 625 | | 556 | 2337 | 100% | 5 Tage ohne Messwerte, wahrscheinl. kaum Anlagenbetrieb, nur Frostschutz |
| Feb 11 | | 35602 | 9804 | 9540 | | 106 | 0% | 0 | 0% | 2256 | 6% | | 583 | | 417 | 1729 | 100% | |
| Mrz 11 | | 84347 | 27966 | 27691 | | 84 | 0% | 2840 | 6% | 12754 | 37% | | 876 | | 359 | 994 | 100% | |
| Apr 11 | | 113439 | 36751 | 36434 | | 3695 | 6% | 7811 | 18% | 9601 | 38% | | 688 | | 68 | 921 | 100% | |
| Mai 11 | | 132469 | 42344 | 42003 | | 15279 | 25% | 8183 | 18% | 6677 | 55% | | 681 | | 25 | 0 | - | |
| Jun 11 | | 105010 | 28918 | 28543 | | 13846 | 23% | 5269 | 12% | 56 | - | | 397 | | 0 | 0 | - | |
| Jul 11 | | 105495 | 28938 | 28570 | | 14522 | 25% | 7087 | 16% | 0 | - | | 419 | | 0 | 0 | - | |
| Aug 11 | | 118681 | 34223 | 33783 | | 16850 | 27% | 6242 | 13% | 22 | - | | 424 | | 0 | 0 | - | |
| Sep 11 | | 91815 | 27280 | 26922 | | 6894 | 12% | 10750 | 24% | 1539 | 15% | | 437 | | 0 | 0 | - | |
| Okt 11 | | 65469 | 19327 | 19024 | | 1231 | 2% | 6419 | 15% | 8700 | 36% | | 714 | | 152 | 661 | 100% | |
| Nov 11 | | 24507 | 6094 | 5915 | | 78 | 0% | 0 | 0% | 2731 | 8% | | 594 | | 365 | 1031 | 100% | |
| Dez 11 | | 14820 | 1622 | 1534 | | 0 | 0% | 0 | 0% | 0 | 0% | | 552 | | 427 | 1019 | 100% | |
| Jan 12 | | 20410 | 2803 | 3043 | | 0 | 0% | 0 | 0% | 0 | 0% | | 638 | | 502 | 1318 | 100% | |
| Feb 12 | | 45410 | 5867 | 5689 | | 0 | 0% | 0 | 0% | 998 | 3% | | 735 | | 532 | 2166 | 100% | 1 Tag ohne Messwerte |
| Mrz 12 | | 76950 | 24267 | 23821 | | 54 | 0% | 5633 | 12% | 7586 | 22% | | 661 | | 216 | 1291 | 100% | |
| Apr 12 | | 83845 | 22415 | 22684 | | 0 | 0% | 5714 | 13% | 5194 | 20% | | 624 | | 126 | 672 | 100% | Teilfeld1 10 Tage nicht durchströmt, Einbau neuer Flaschenwaschmaschine |
| Mai 12 | | 135157 | 37813 | 39162 | | 10996 | 18% | 10670 | 23% | 4116 | 34% | | 804 | | 26 | 380 | 100% | keine Werte für Waschmaschine bis 10.05., fehlerhafte Werte am 08.05. |
| Jun 12 | | 118829 | 38010 | 37981 | | 12767 | 21% | 12024 | 27% | 2291 | - | | 613 | | 0 | 0 | - | |
| Jul 12 | | 117815 | 33098 | 32909 | | 17400 | 29% | 11856 | 27% | -11 | - | | 475 | | 0 | 0 | - | |

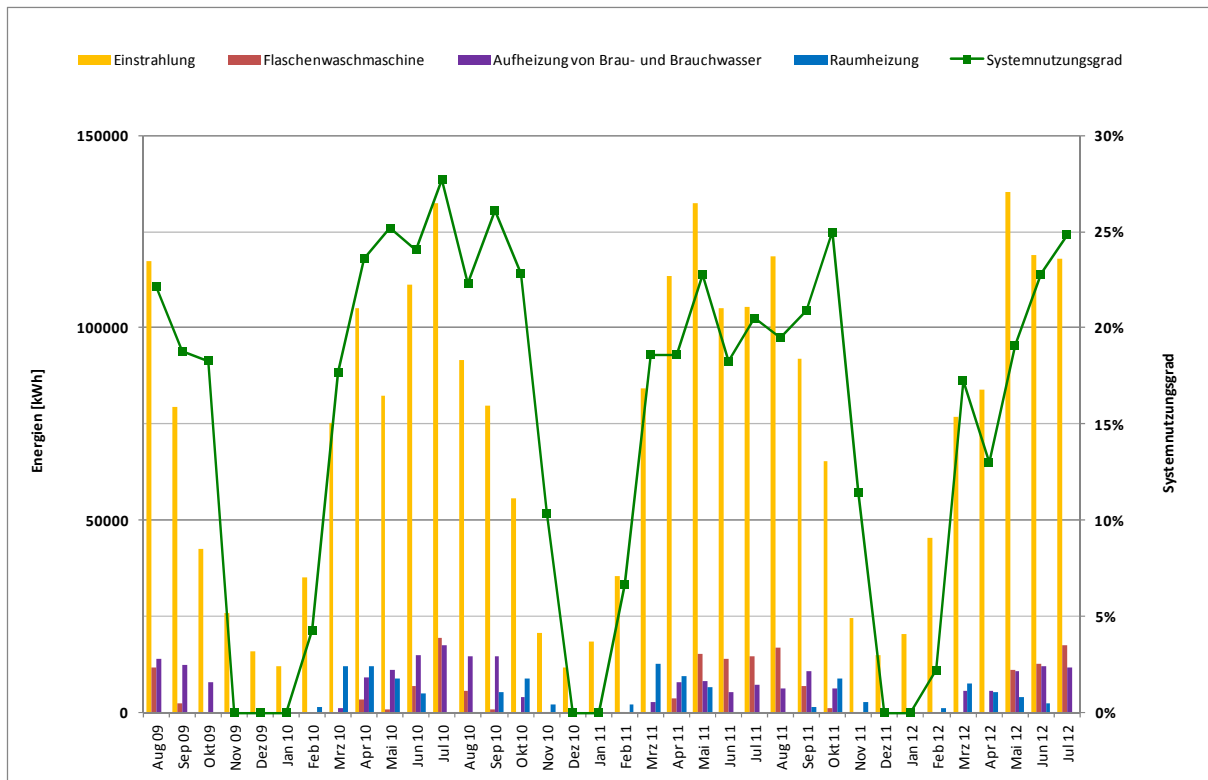


Abb. 40: monatliche Erträge und Systemnutzungsgrade

Sommerbetrieb

Der August 2009 soll exemplarisch für den Anlagebetrieb während der Sommermonate stehen. Während dieser Monate wurden hauptsächlich die Flaschenwaschmaschine und die Aufheizung von Brauch- bzw. Brauwasser solar bedient. Eine Energieabnahme durch die Raumheizung bestand während dieser Zeit kaum bzw. gar nicht. Aus der Bilanz für den ausgewählten Monat ist ersichtlich, dass etwa 40% der eingestrahltten Energie am Kollektor in thermische Energie umgewandelt und die Speicher beladen wurden. Die über den Monat gemittelte Temperatur im oberen Speicherbereich lag bei etwa 105 °C, sodass beide Verbraucher mit hohen Temperaturanforderungen solar bedient werden können. Etwa 15 Prozent des Kollektorertrages wurden im Beispielmonat als Anfahrverluste aus dem Speicher wieder entnommen, um bei geringer Einstrahlung (morgens, an trüben Tagen) das Kollektorfeld auf Betriebstemperatur zu erwärmen. In den Sommermonaten der darauf folgenden zwei Messjahre verringerte sich diese Energiemenge auf etwa die Hälfte durch die Einführung des LOOP-Betriebes. Hierbei wird das Kollektorfeld zur Aufheizung im Bypass zu den Speichern durchströmt und somit keine thermische Energie aus den Speichern entnommen. Die vergleichsweise hohen Speicher- und Leitungsverluste können durch die hohen Prozesstemperaturen der Brauerei erklärt werden. Nachfolgende Abb. 41 stellt die Einstrahlung auf die Kollektorfläche, den Kollektorertrag und die im Prozess genutzten Energiemengen im August 2009 dar.

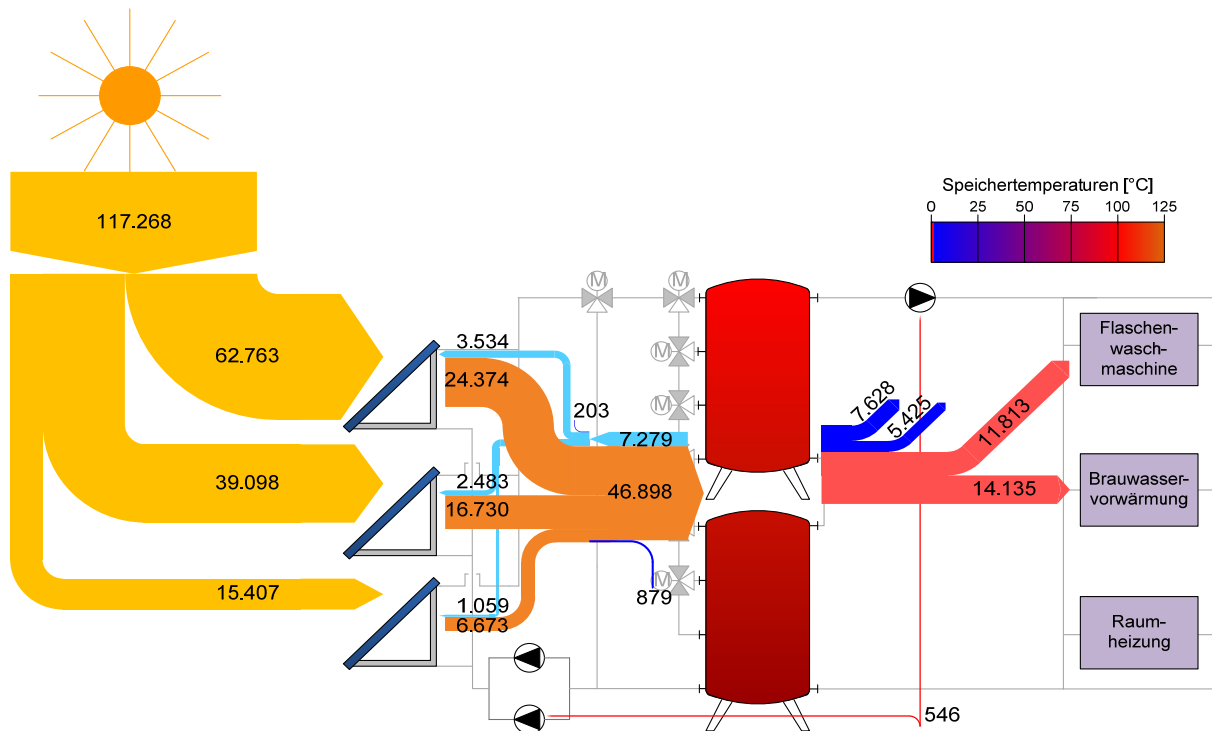


Abb. 41: Energiemengen und mittlere Speichertemperaturen im August 2009 [Angaben in kWh]

Am Beispiel einiger Tage aus einer Woche Ende Juni 2011 soll der Anlagenbetrieb im Sommer erläutert werden. Die Produktion erfolgte während des betrachteten Zeitraums im 1-Schichtbetrieb.

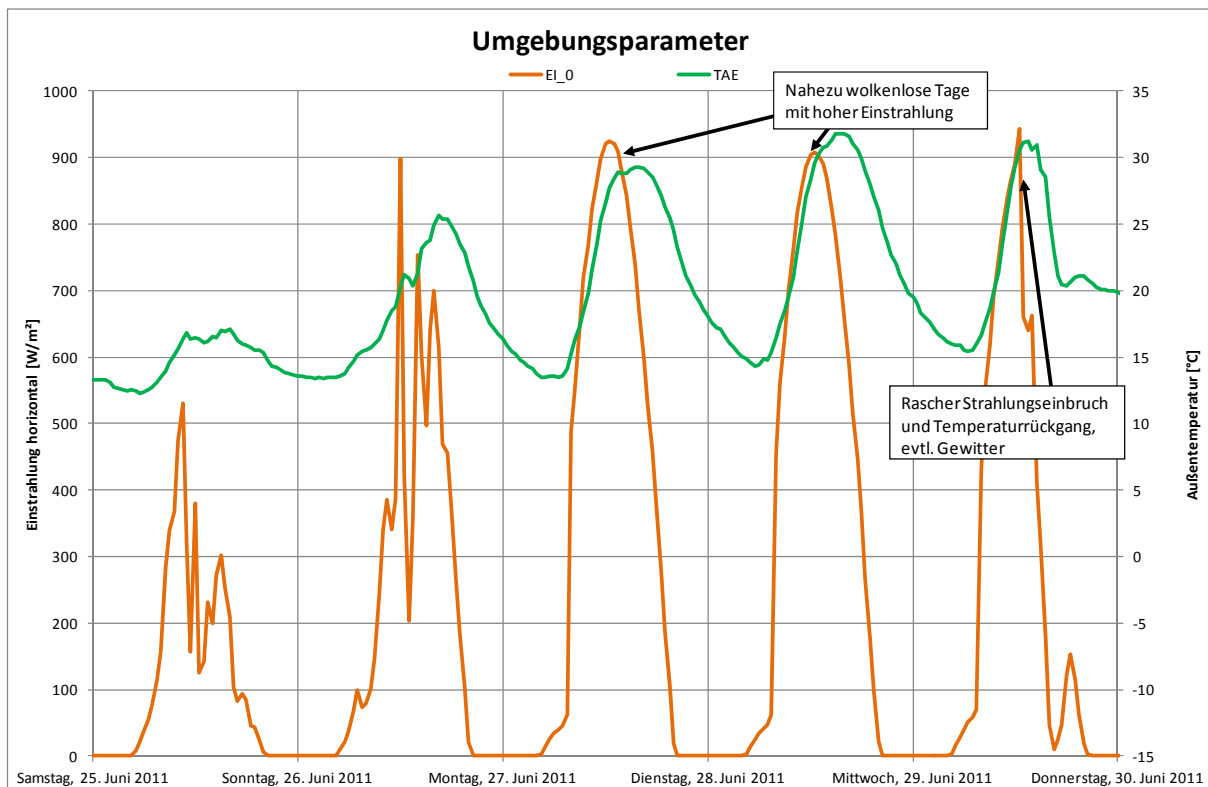


Abb. 42: Außentemperatur und Globalstrahlung am Standort Eichstätt (Sommer)

Nach durchwachsenem Wetter am Samstag dem 25.06.2010 mit Maximaltemperaturen um etwa 17 °C besserte sich das Wetter am Sonntag. Der Wochenbeginn war nahezu wolkenlos und die Außentemperatur erreichte am Dienstag Maximalwerte bis über 30 °C, ehe es sich am Mittwochmittag bewölkte und die Temperatur rasch um etwa 10 K sank.

Im folgenden Diagramm sind die Kollektorerträge mit den jeweils zugehörigen Vor- und Rücklauftemperaturen sowie dem Gesamtvolumenstrom dargestellt. Aufgrund der geringen Einstrahlung erreichte die Rücklauftemperatur vom Kollektorfeld am Samstagmittag lediglich Werte von etwa 90 °C. An den darauf folgenden sonnigen Tagen konnte die vom Betreiber für den Prozess angestrebte Kollektorrücklauftemperatur mit ca. 120 °C erzielt werden. Morgens wurde das Kollektorfeld immer mit einem hohen Volumenstrom warmen Wassers aus dem Speicher durchströmt. Dieses sogenannte „Spülen“ wird an jedem Morgen durchgeführt, da sich der Betreiber von dieser Strategie erhofft, für eine gleichmäßige Durchströmung der Kollektoren eventuelle Gaseinschlüsse und Luftpolster aus dem Feld zu drücken. Der Energieaufwand hierfür ist nicht ganz unerheblich und kann an trüben Tagen ohne nennenswerten anschließenden Kollektorertrag für eine negative Kollektorbilanz sorgen.

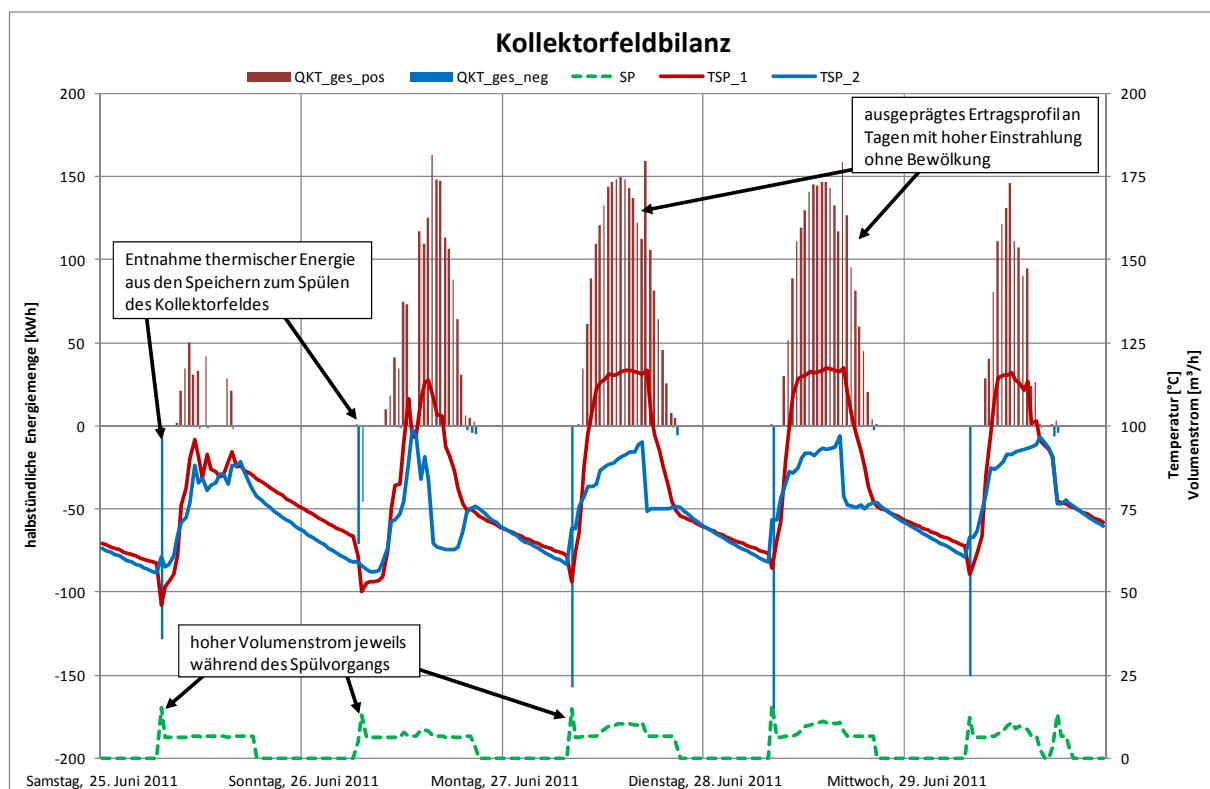


Abb. 43: Kollektorfeldebilanz (Sommer)

Da über das Wochenende keine Energie aus den Solarspeichern entnommen wurde, beträgt die Temperatur im oberen Speicherbereich von Speicher 1 am Sonntag etwa 115 °C.

Nachdem der Brauwasservorlagentank zum Produktionsende der vorangegangenen Woche mit kaltem Frischwasser gefüllt wurde, erfolgt am Sonntagnachmittag die Aufheizung auf 80 °C aus dem Pufferspeicher der Solaranlage, da keine Wärmerückgewinnung aus laufenden Produktionsprozessen möglich ist. Das Wasser floß anschließend mit einer Temperatur von etwa

50 °C in den Speicher 2 zurück (Abb. 44 / Abb. 45). Eine Nutzung der von der Solaranlage bereitgestellten Energie zur Brauchwassererwärmung auf 60 °C für Spül- und Reinigungsprozesse erfolgte kurzzeitig und unregelmäßig über die Produktionstage verteilt (Abb. 45).

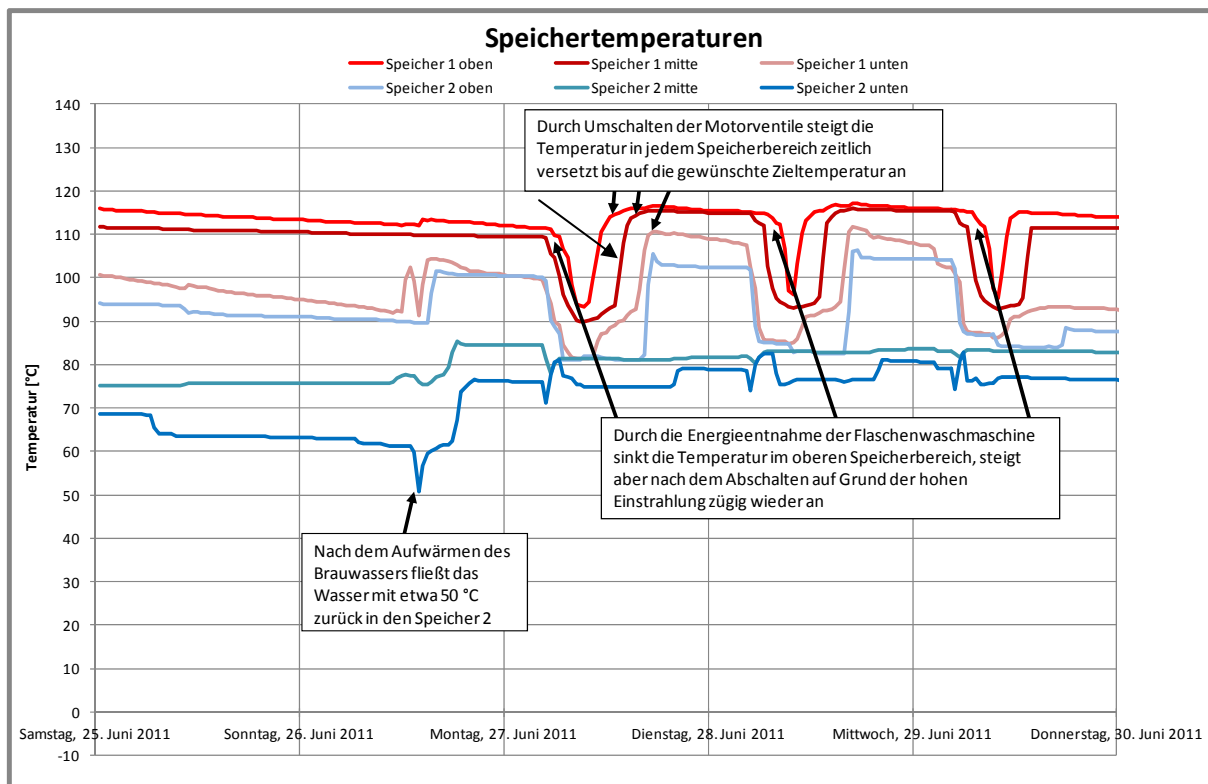


Abb. 44: Verlauf der Speichertemperaturen (Sommer)

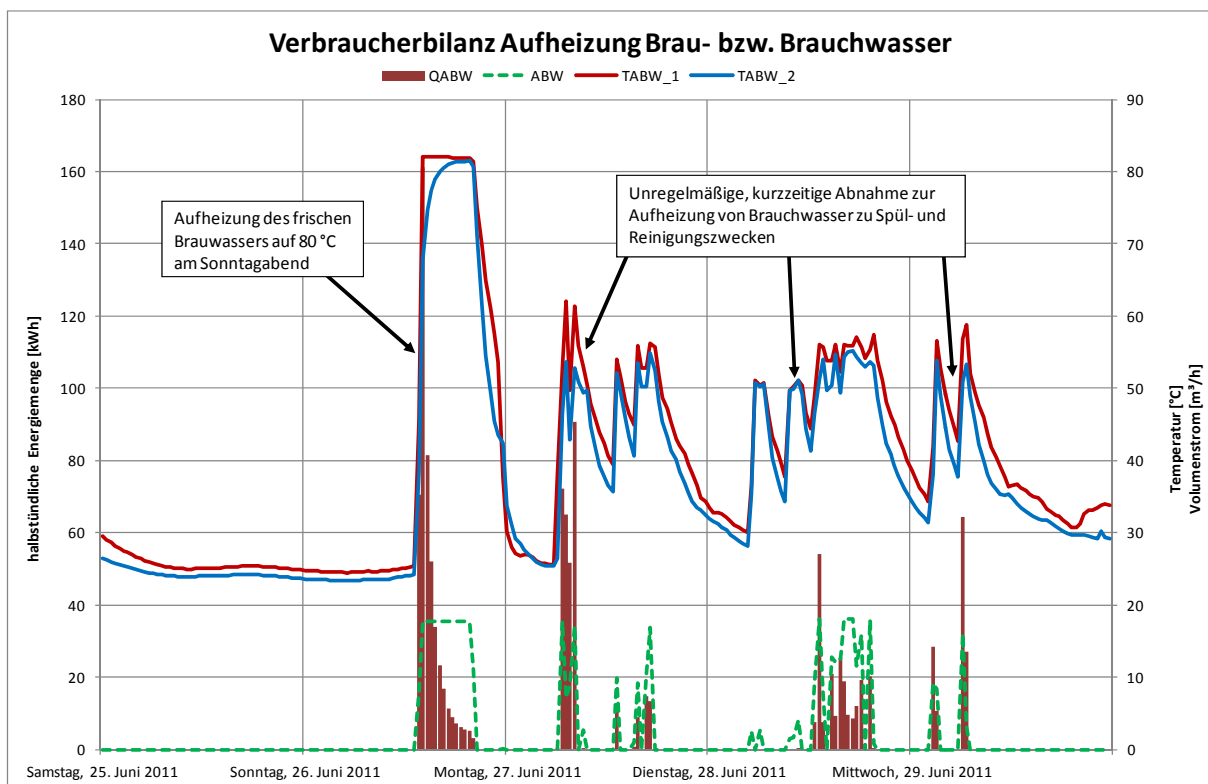


Abb. 45: Verbrauchsbilanz Aufheizung von Brau- und Brauchwasser (Sommer)

Zu Produktionsbeginn am Montagmorgen erfolgte die Aufheizung der Reinigungslauge der Flaschenwaschmaschine über den Wärmeübertrager der Solaranlage. Die Regelung sieht eine Nutzung der Solarenergie vor, solange eine Vorlauftemperatur hinter dem Wärmeübertrager zur Maschine von mindesten 86 °C erreicht wird. Durch die Entnahme aus dem Speicher sank die Temperatur im oberen Speicherbereich und ab etwa 8:30 Uhr jeden Tages wurde die benötigte Temperatur nicht mehr erreicht. Die Beheizung der Flaschenwaschmaschine erfolgte anschließend über den konventionellen Dampferzeuger. Durch die hohe Einstrahlung auf das Kollektorfeld, wurden ab Mittag am Kollektorausstritt und im Speicher wieder Temperaturen von 115 °C erreicht. Jedoch erfolgte auf Grund des 1-Schichtbetriebs an diesem Tag keine Endladung des Speichers zum Verbraucher mehr. Im 2-Schichtbetrieb würde die Flaschenwaschmaschine ab dem Erreichen einer Temperatur von 105 °C im oberen Speicherbereich bei Bedarf erneut solar betrieben werden.

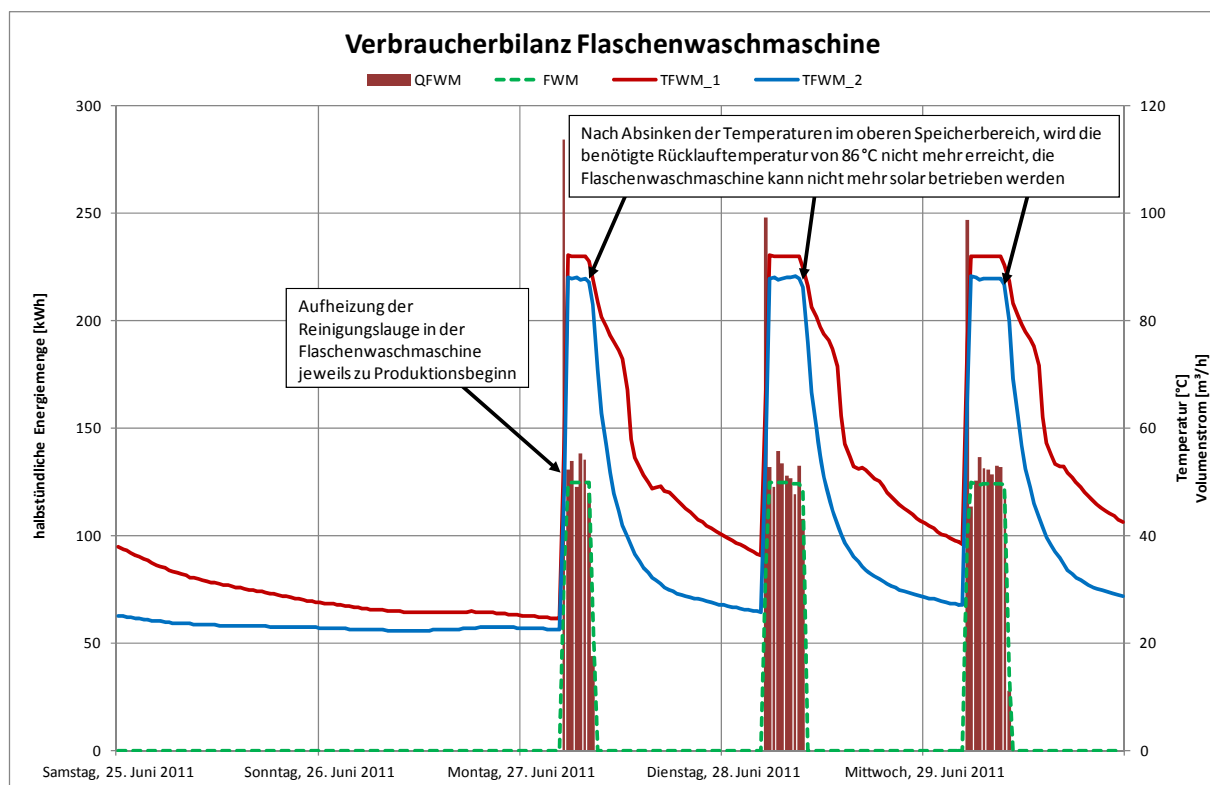


Abb. 46: Verbraucherbilanz Flaschenwaschmaschine 1-Schichtbetrieb (Sommer)

Im Betrachtungszeitraum erfolgte keine Energieabnahme durch die Raumheizung.

Betrieb in der Übergangszeit

Aufgrund der verringerten Einstrahlung auf die Kollektorfläche werden in der Übergangszeit nur selten Feldrücklauftemperaturen größer 100 °C erreicht. Dadurch sinkt das Temperaturniveau im oberen Speicherbereich unter die Anforderungen der Flaschenwaschmaschine. Dieser Verbraucher kann nicht mehr solar bedient werden. Eine Speicherentladung zur Verbraucherseite kann lediglich noch zur Brau- und Brauchwasservorwärmung mit geringerer benötigter Vorlauftemperatur und zur Raumheizung erfolgen. Gleichzeitig besteht ein Energiebedarf zur Frostfreihaltung des Kollektorfeldes. Die aus dem Speicher zum Kollektorfeld entladene

Energiemenge setzt sich nun aus der Energie für den Betriebszustand Spülen des Kollektorfeldes und den Frostschutz zusammen.

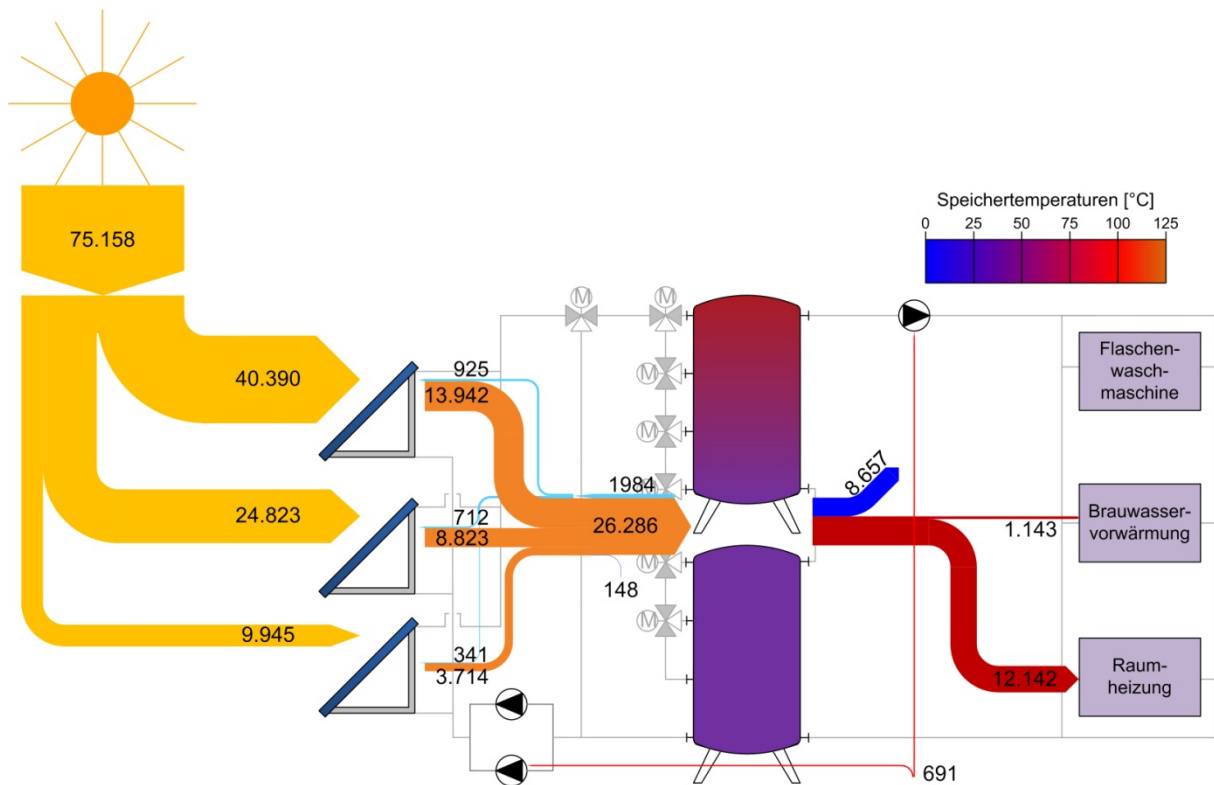


Abb. 47: Energiemengen und mittlere Speichertemperaturen im März 2010 [Angaben in kWh]

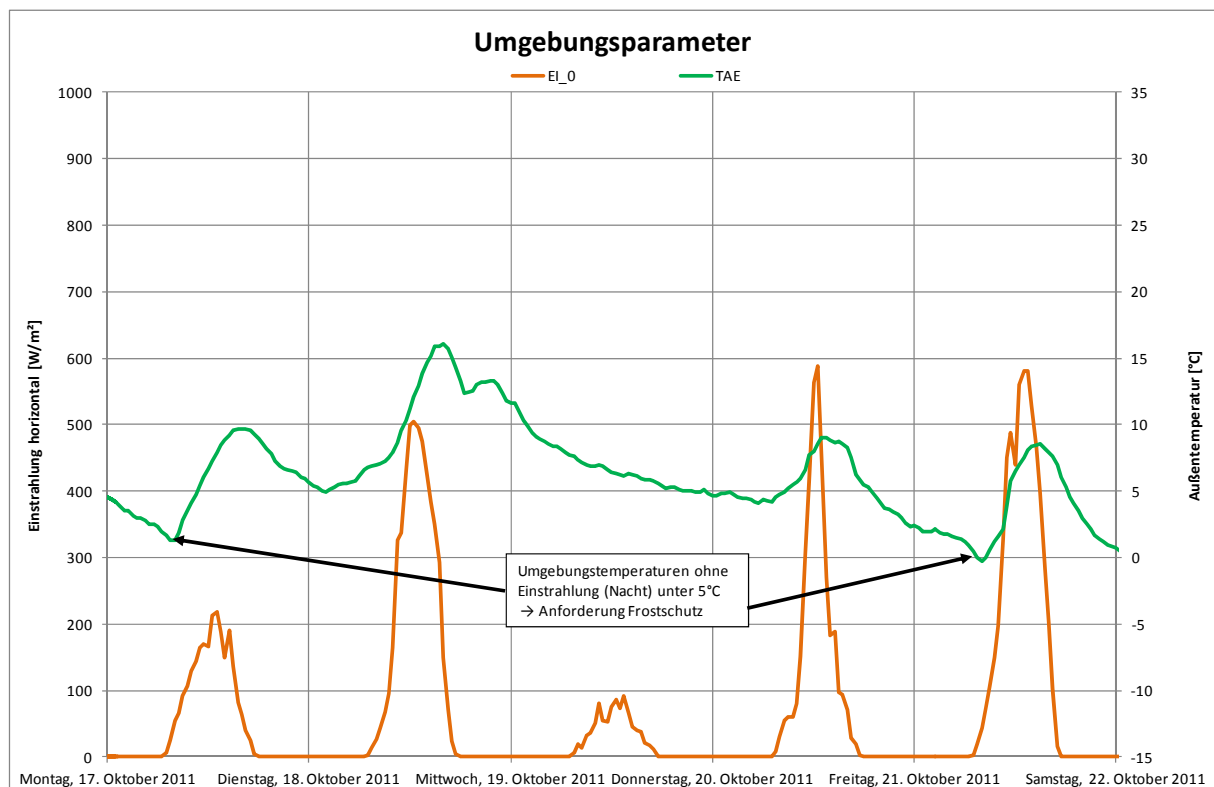


Abb. 48: Außentemperatur und Globalstrahlung am Standort Eichstätt (Übergangszeit)

Während der für die Übergangszeit ausgewählten Tage im Oktober 2011 herrschte wechselhaftes Wetter. Lediglich am Dienstag erreichten die Temperaturen knapp 15 °C bei etwa 500 W/m^2 Einstrahlungen in der Horizontalen. An allen anderen Tagen war es mit unter 10 °C Außentemperatur deutlich kälter und nur am Donnerstag und Freitag erreichte die Einstrahlung Werte größer 500 W/m^2 . In den Nächten zum Wochenbeginn und am Wochenende betrug die Umgebungstemperatur nur noch wenige Grad über dem Gefrierpunkt, sodass ein aktiver Frostschutzbetrieb notwendig war. Das Kollektorfeld wurde dabei permanent im LOOP-Betrieb durchströmt, ohne thermische Energie aus den Pufferspeichern zu entnehmen.

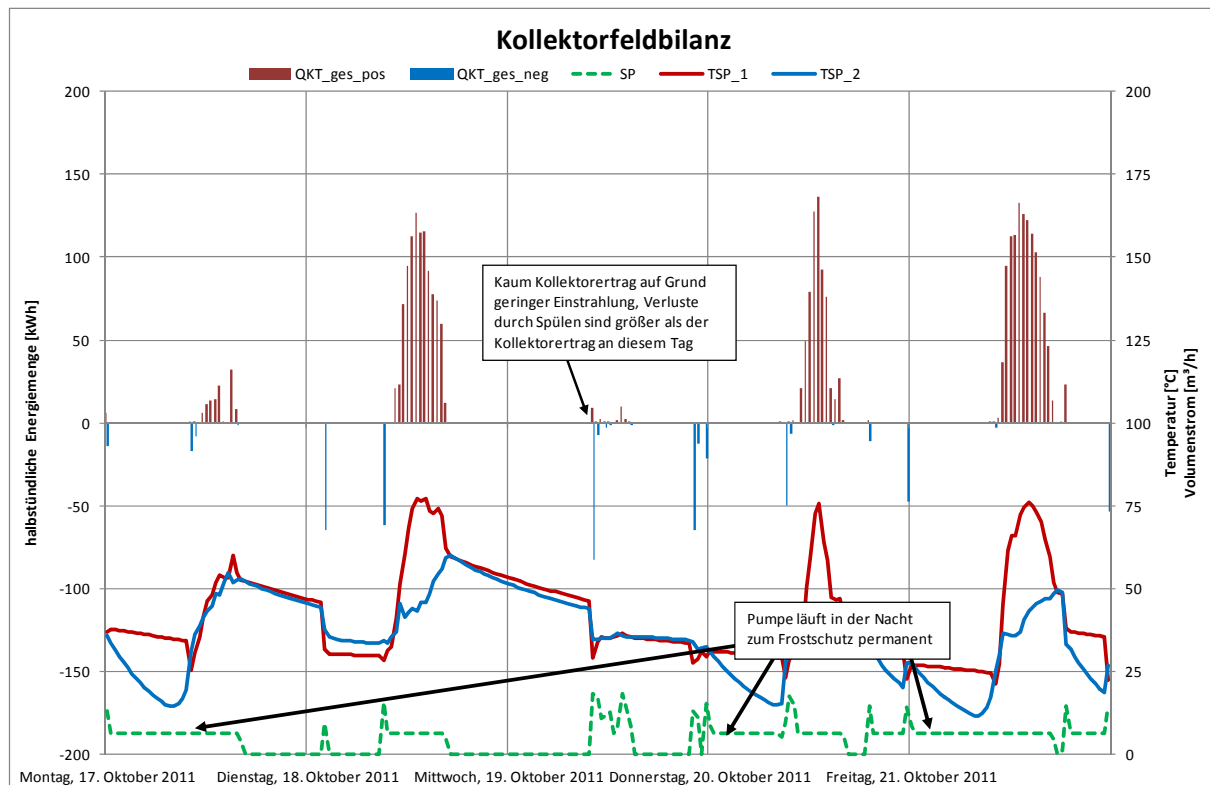


Abb. 49: Kollektorfelddbilanz (Übergangszeit)

Aufgrund der geringen Einstrahlung betrug die maximale Kollektorfelddrücklauftemperatur in die Tanks 75 °C und es wurde kaum Energie in die Pufferspeicher eingetragen. Gleichzeitig führte die permanenten Entladung zur Raumheizung und die kurzzeitige Entnahme für die Aufheizung von Brau – und Brauchwasser zu sinkenden Temperaturen im oberen Speicherbereich. Im Verlauf der Produktionswoche nahm die Temperatur im Speicherkopf von 100 °C zum Wochenbeginn um etwa 40 K ab. Eine Nutzung von Solarenergie zur Erwärmung der Lauge in der Flaschenwaschmaschine war während der gesamten Woche nicht möglich, da die benötigten Vorlauftemperaturen durch das Kollektorfeld nicht bereitgestellt werden konnte.

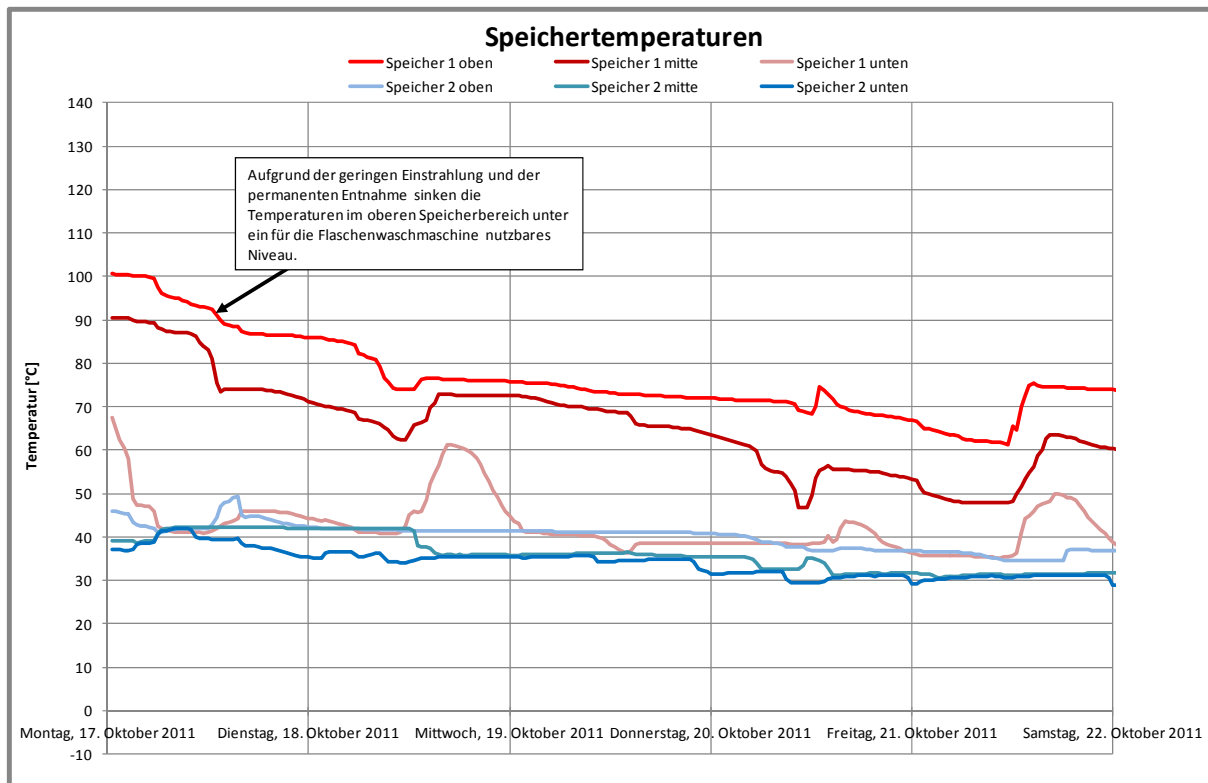


Abb. 50: Verlauf der Speichertemperaturen (Übergangszeit)

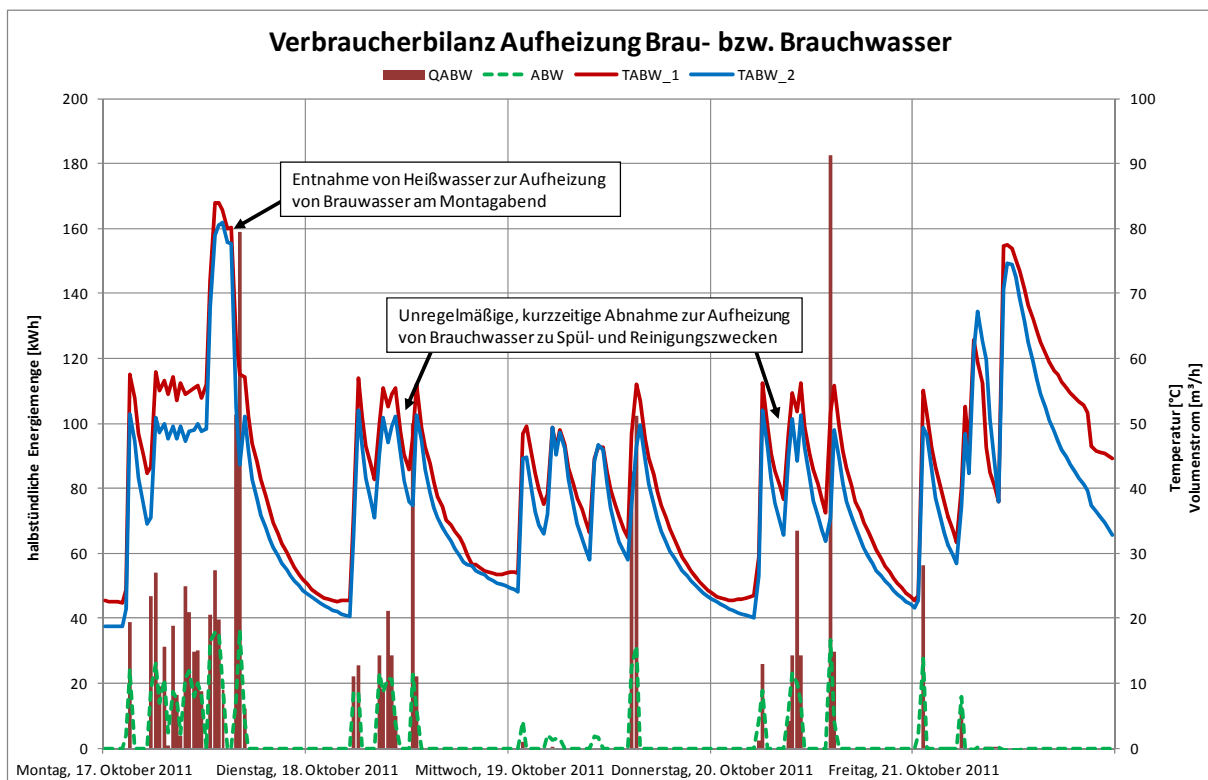


Abb. 51: Verbrauchsbilanz Aufheizung von Brau- und Brauchwasser (Übergangszeit)

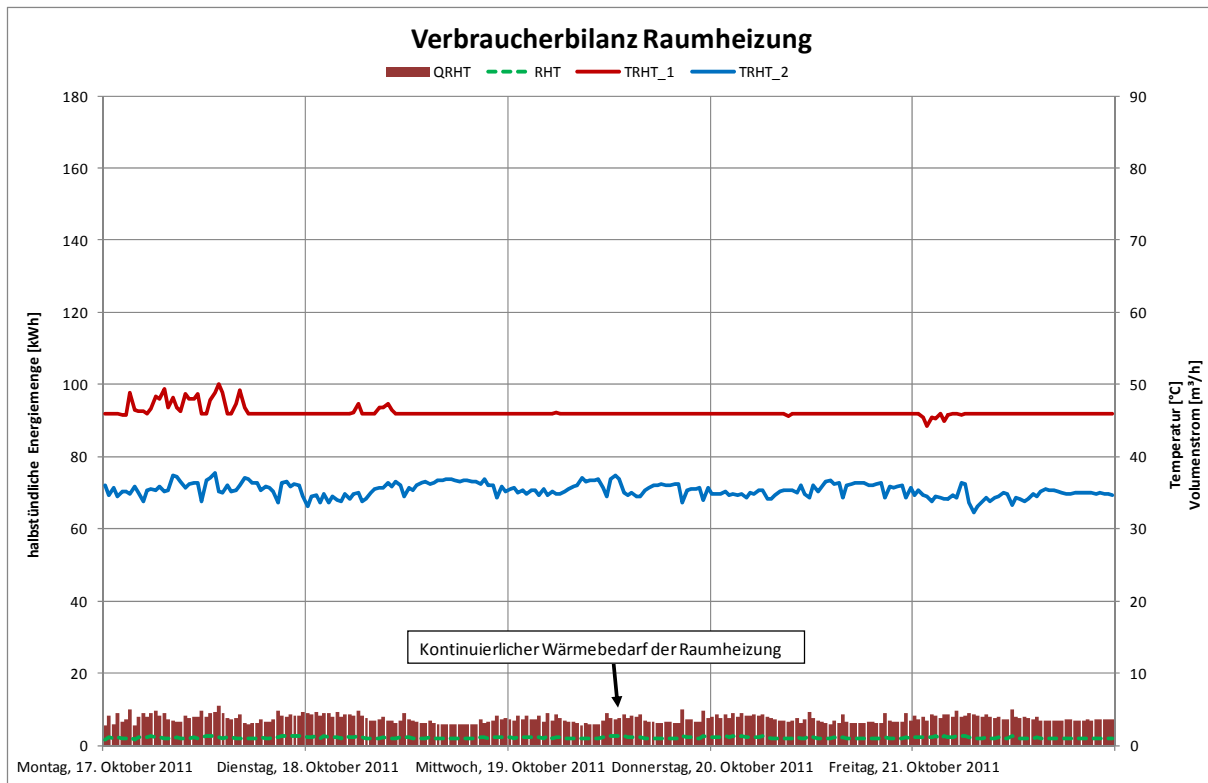


Abb. 52: Verbraucherbilanz Raumheizung (Übergangszeit)

Winterbetrieb

Der Januar 2010 war am Standort Eichstätt ein vergleichsweise einstrahlungsarmer Monat, die Einstrahlung betrug nur etwa 50 % der Einstrahlung des Testreferenzjahres. Eine Nutzung der durch die Solaranlage bereitgestellten Energie im Brauprozess und für die Raumheizung ist durch die niedrigen Feldrücklauftemperaturen nicht möglich. Aufgrund der niedrigen Außentemperaturen wird das Kollektorfeld zum Frostschutz nahezu permanent mit Wasser aus den Speichern durchströmt und die Temperaturen in den Speicher sinken im Verlauf des Monats unter 15 °C. Es ergibt sich eine negative Speicher- bzw. Kollektorbilanz. Ein konventionelles Nachheizen der Speicher über den Wärmeübertrager der Brauwasservorwärmung war im Januar nicht nötig. Die eingesetzte Menge Elektroenergie ist dabei um etwa 67 % größer als die im August 2009.

Aufgrund anhaltend kalten Wetters im Betrachtungszeitraum im Januar 2011 mit nächtlichen Außentemperaturen von unter 5 °C bestand in diesen Zeiten ohne Einstrahlung eine permanente Frostgefahr bzw. ein permanenter Frostschutzbedarf. Um das Kollektorfeld frostfrei zu halten, wurde es zum Beginn des Betrachtungszeitraums mit dem geringfügig wärmeren Wasser aus den Pufferspeichern durchströmt. Die Speichertemperaturen lagen durch den geringer Energieeintrag in die Tanks bei unter 10 °C. Die Kollektorbilanz war über den Betrachtungszeitraum negativ. Zum Wochenende hin kam es zu einer Wetterbesserung und es fand ein geringer Energieeintrag in die Tanks statt. Die Temperatur im oberen Bereich des ersten Speichers stieg tagsüber auf 40 °C an. Diese Temperatur reichte allerdings nicht, um die angeschlossenen Verbraucher zu Beginn der Produktionswoche solar zu unterstützen. In den Nächten bestand weiterhin Frostgefahr und die Kollektoren wurden dauerhaft im LOOP-Betrieb durchströmt.

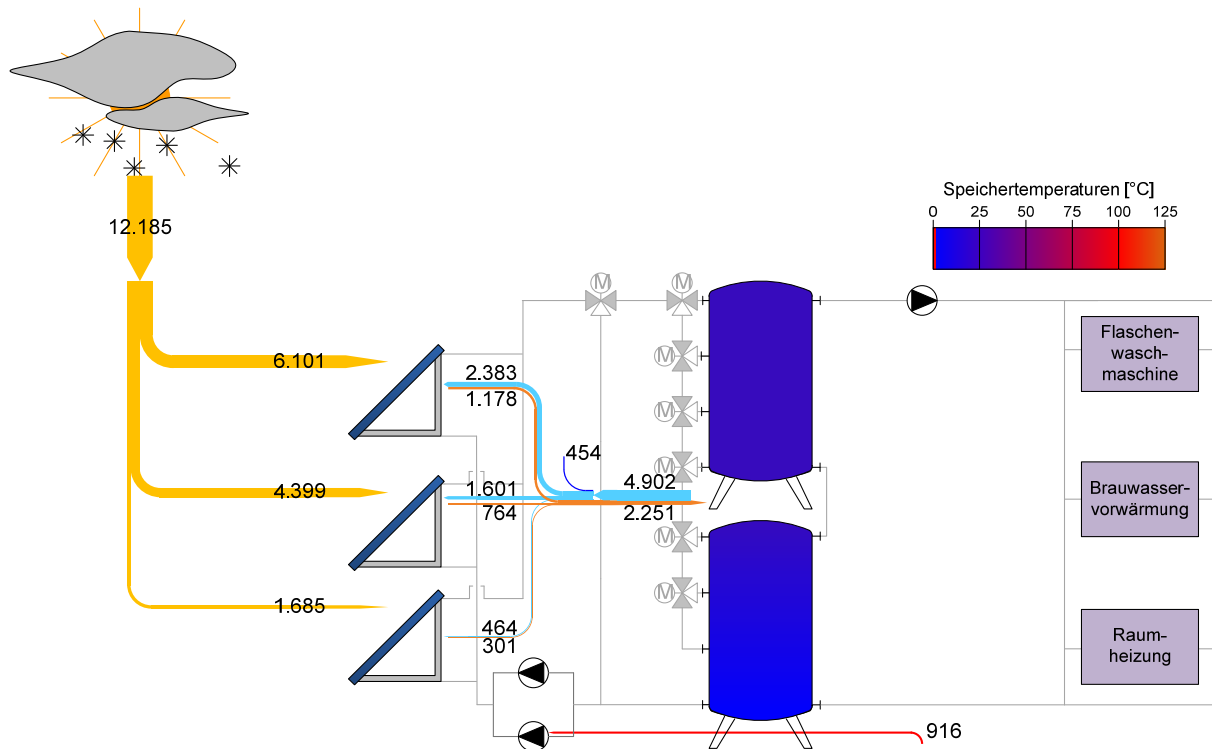


Abb. 53: Energiemengen und mittlere Speichertemperaturen im Januar 2010 [Angaben in kWh]

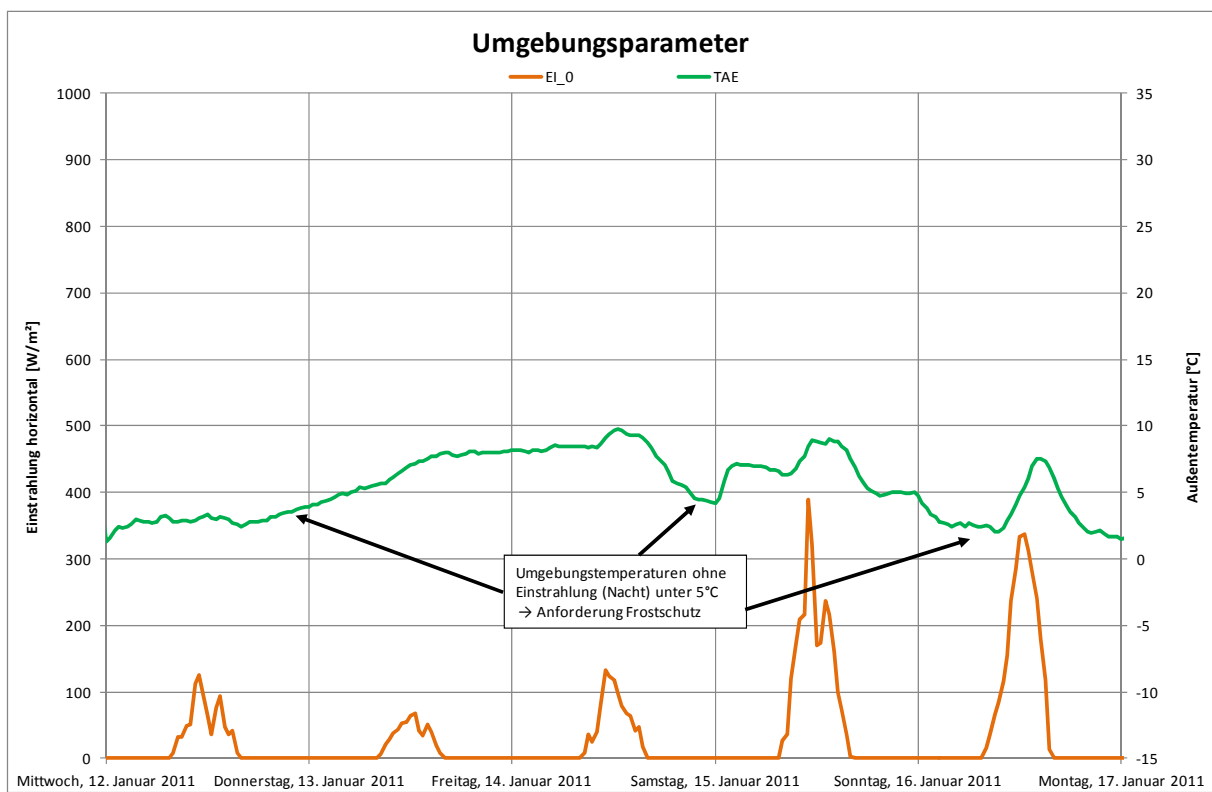


Abb. 54: Außentemperatur und Globalstrahlung am Standort Eichstätt (Winterzeitraum)

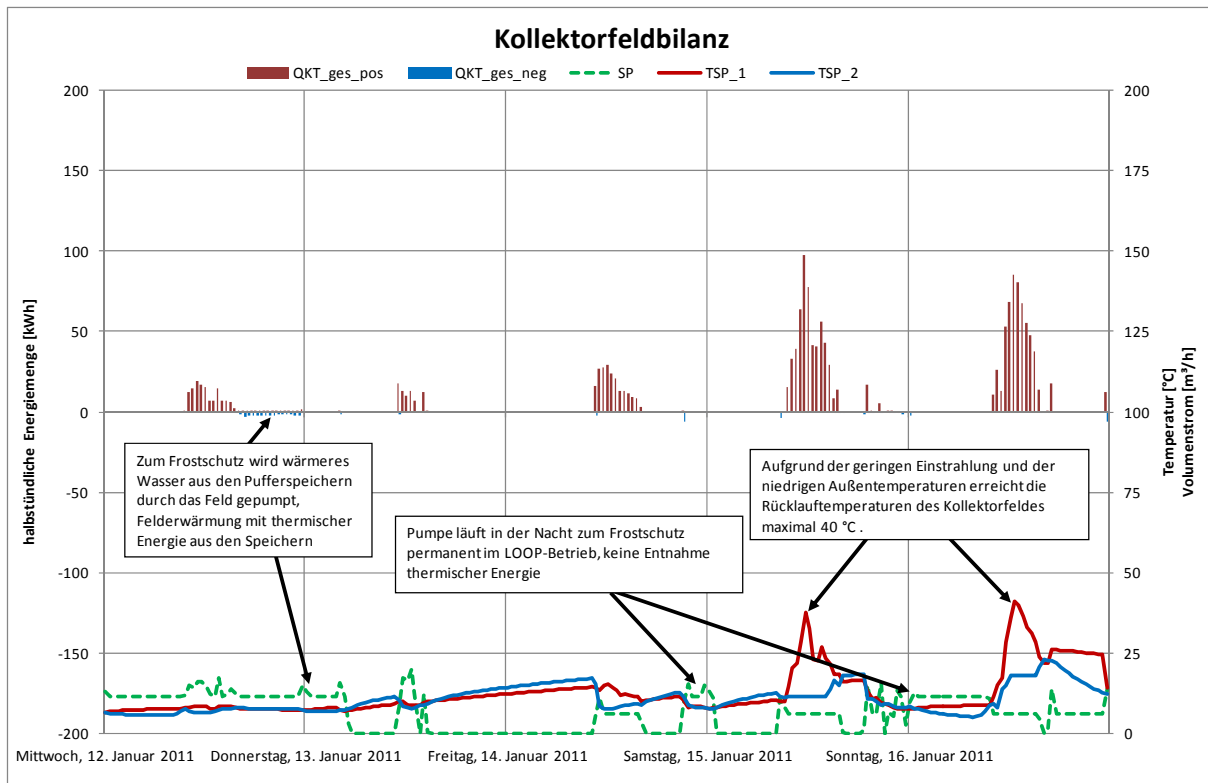


Abb. 55: Kollektorfeldbilanz (Winterzeitraum)

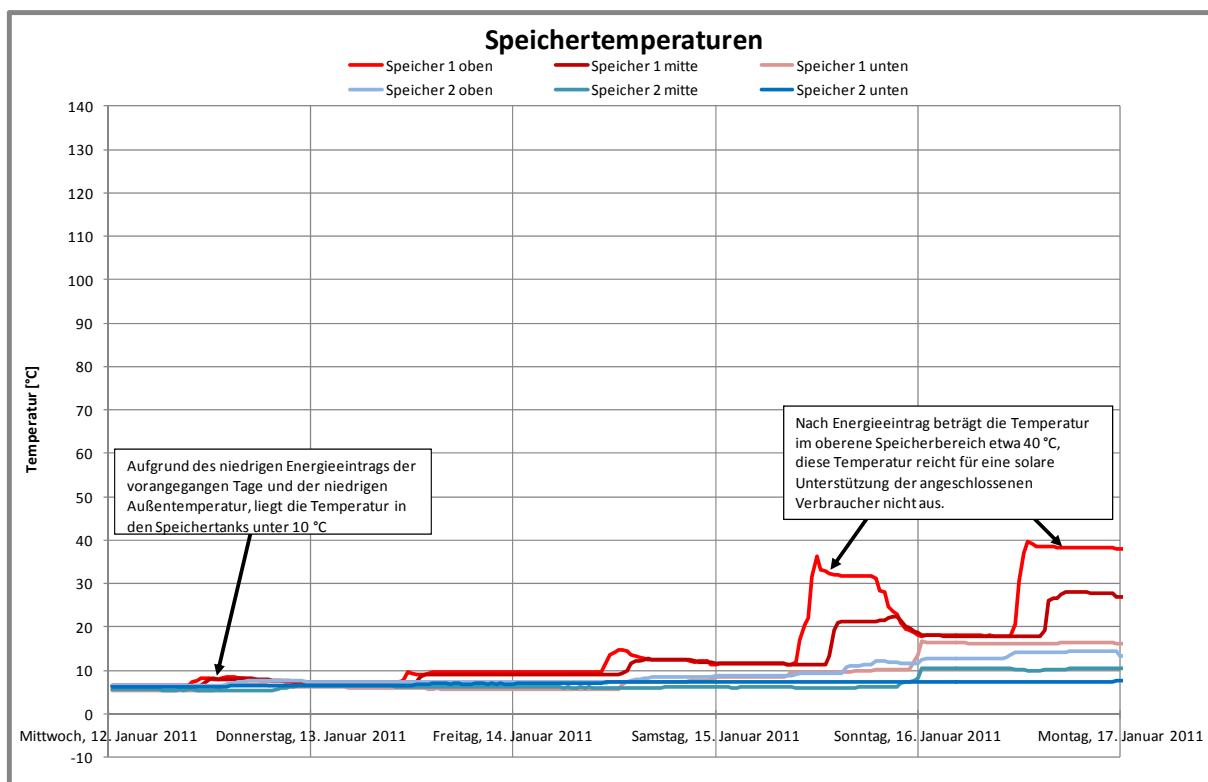


Abb. 56: Verlauf der Speichertemperaturen (Winterzeitraum)

Betrachtungen zum Frostschutzbetrieb

Flüssigkeitsdurchströmte Kollektoren müssen bei niedrigen Außentemperaturen ohne Einstrahlung vor dem Einfrieren geschützt werden. Herkömmliche Anlagen verwenden dazu Frostschutzfluide. Diese Glykol-Wassergemische haben jedoch schlechtere wärmetechnische und hydraulische Eigenschaften als reines Wasser, was im Vergleich zu einem Mehrverbrauch an Elektroenergie zum Pumpenantrieb führt. Gleichzeitig sind diese Wärmeträgermedien bei Stillstandstemperaturen von über 150°C nicht temperaturstabil.

Eine gleichmäßige Durchströmung des Kollektorfeldes ist grundlegende Voraussetzung für einen sicheren aktiven Frostschutz. Sind Abschnitte aufgrund ungleichmäßiger Hydraulik oder im Feld vorhandener Lufteinschlüsse schlecht durchströmt, setzt bei niedrigen Außentemperaturen an diesen Stellen ein Einfrieren zuerst ein. Selbst ein beginnendes Einfrieren des Kollektorfeldes ist zwingend zu vermeiden, da es sich um einen sich selbst verstärkenden Effekt handelt. Durch Eisbildung an den Rohrwänden kommt es zu einer Verringerung des Strömungsquerschnittes, der Druckverlust steigt weiter an, was wiederum eine noch schlechtere Durchströmung nach sich zieht. Um diese Stellen zu identifizieren, wurden zehn Mini-Temperaturlogger mit PT100-Sensoren an verschiedenen Positionen in den Teilfeldern installiert (Abb. 57). Um eine gute thermische Anbindung der Sensoren zu gewährleisten, wurden die bereits herstellerseitig in den Rückläufen der Kollektoren vorhandenen Einsteckhülsen genutzt.

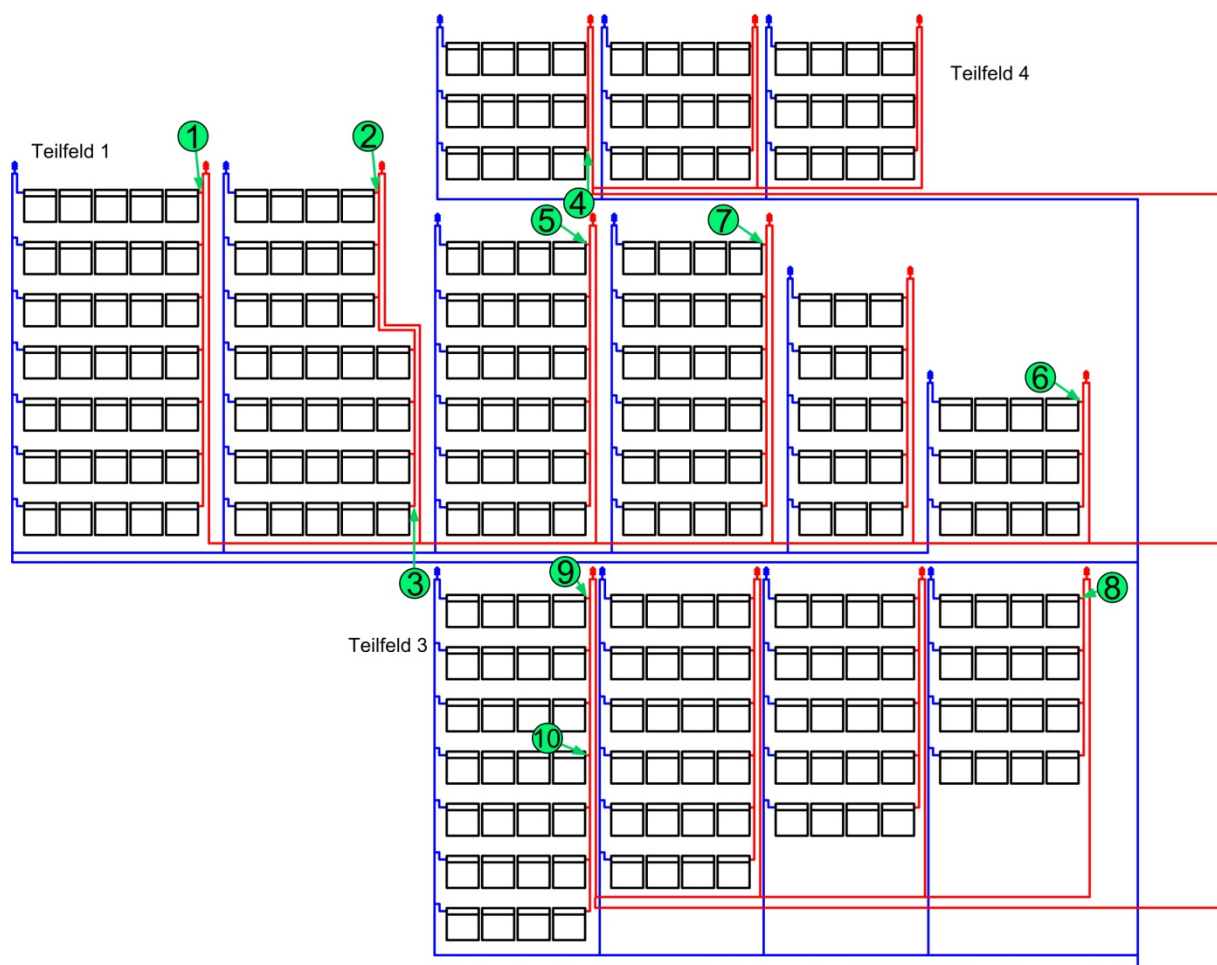


Abb. 57: Anordnung der zehn Mini-Temperaturlogger im Kollektorfeld

Die Auswertung der Messwerte dieser Minilogger, weist auf unterschiedlich temperierte Bereiche innerhalb des Kollektorfeldes hin. Allerdings lässt dies noch keine allgemeine Aussage über eine ungleichmäßige Durchströmung zu, da zu bestimmten Zeiten Teile der Felder durch Verschattungen mit verschiedenen Einstrahlungen beaufschlagt sind (Abb. 58). Wichtige Kriterien, um aus der Temperaturverteilung der Minilogger auf die Durchströmung schließen zu können, sind der Betrieb der Solarkreispumpe sowie die gleichmäßig Bestrahlung des gesamten Feldes.

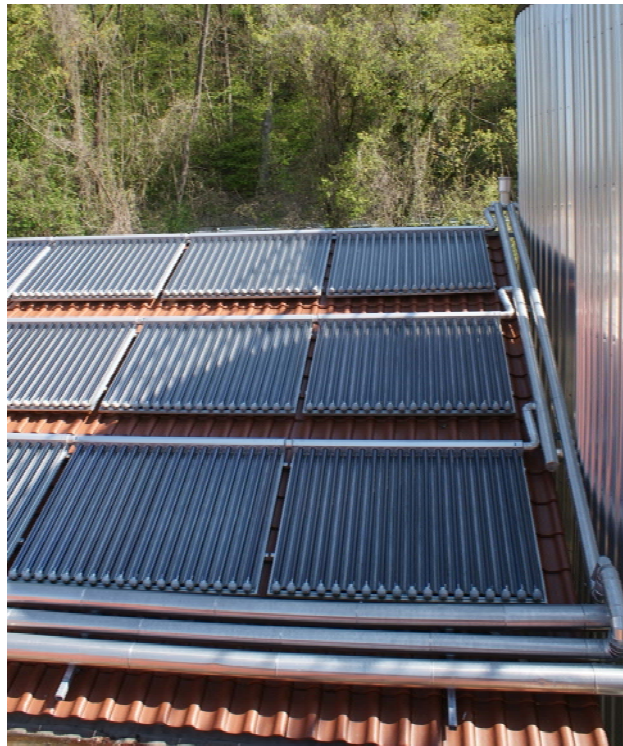


Abb. 58: teilweise Verschattung einzelner Bereiche des Kollektorfeldes

Unter Berücksichtigung dieser Bedingungen zeigt Abb. 59 die Verläufe der zehn Sensoren an einem Sommertag. Zu Produktionsbeginn werden die Kollektoren um 6:00 Uhr im sogenannten Prozessschritt „Spülen“ mit warmem Wasser aus den Speichern durchströmt und laufen bis etwa 8:30 Uhr im LOOP-Betrieb, ehe das Umschalten auf eine Speicherbeladung erfolgt. Nach morgendlicher Bewölkung klart der Himmel im Laufe des Vormittags auf und Temperaturen im Feld steigen bis zur gewünschten Kollektorrücklauftemperatur von knapp $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ an. Die Sensoren 3, 5 und 7 überschreiten diesen Wert am Mittag sogar und verlassen damit den Messbereich der Minilogger. Eine Warnmeldung wird ausgegeben. Der geregelte Volumenstrom durch das Kollektorfeld liegt über den Vormittag im LOW-Flow-Bereich zwischen $10 - 15\text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$. Am frühen Nachmittag bewölkt sich der Himmel wieder und die Rücklauftemperaturen sinken ab. Auffällig sind zu dieser Zeit die Werte des Miniloggers 7, der trotz verminderter Einstrahlung vorerst keinen Temperaturrückgang aufzeichnet. Scheinbar werden hier die Kollektoren auf dem Giebel der neuen Produktionshalle zu diesem Zeitpunkt nur wenig bzw. gar nicht durchströmt. In der Ecke zwischen Sudhaus und der neuen Produktionshalle befindet sich Sensor 2 an der am stärksten verschatteten Position des gesamten Kollektorfeldes. Durch das höher liegende Stockwerk bzw. das Dach der angrenzenden

Produktionshalle sind hier die Kollektoren in den Vormittagsstunden vor Direktstrahlung verschattet und der Himmelshalbraum zum Empfang diffuser Strahlung ist durch die Bebauung stark eingeschränkt. Zusätzlich zu dieser Tatsache wurde während des Ein- und Ausbaus des Fühlers festgestellt, dass an dieser Stelle im Bereich eines Dachrinnenfallrohrs die Mineralwolle zur Dämmung durchnässt war und somit die Isolationswirkung vermindert ist. Die Kollektoraustrittstemperatur der anderen Kollektoren wird nicht erreicht und die Werte des Sensors 2 liegen im Betrieb deutlich unter denen der restlichen Sensoren.

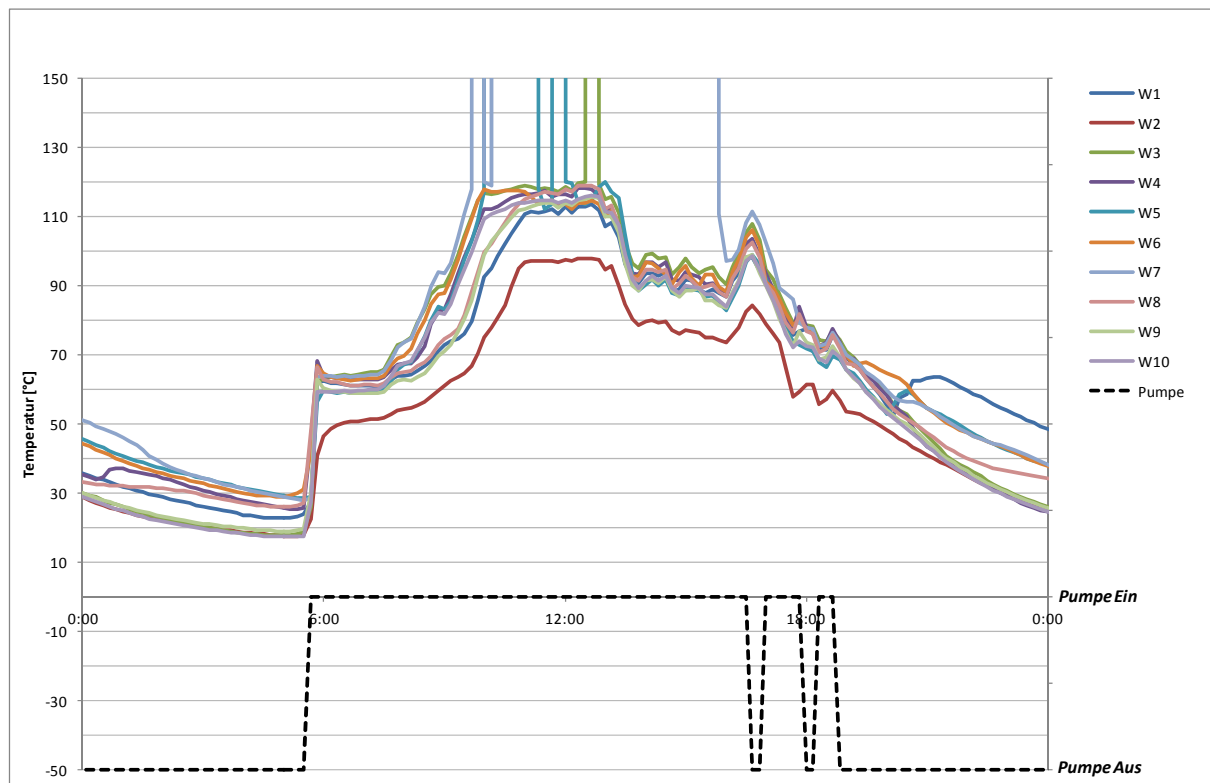


Abb. 59: Temperaturverläufe der Minillogger an einem Sommertag

Als weiteres Beispiel soll ein exemplarischer Wintertag mit Außentemperaturen zwischen $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ in der Nacht und $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ am Mittag bei gleichzeitigem Einstrahlungsmaximum um etwa 550 W/m^2 dienen. Die Anlage wird über den Betrachtungszeitraum mit nur einem Speicher betrieben, wobei der Solarkreis über den Tag permanent mit einem möglichst geringen Volumenstrom aus dem Speicher durchströmt wird, um den Aufwand an elektrischer Antriebsenergie für den Betrieb der Pumpen im Frostschutz zu minimieren bzw. während der Einstrahlung möglichst hohe Kollektorrücklauftemperaturen zu erzielen. Mit knapp $9\text{ l/(m}^2\cdot\text{h)}$ liegt der Durchfluss unter den in der Literatur angegebenen unteren Richtwerten für LOW-Flow-Systeme ($10\text{--}12\text{ l/(m}^2\cdot\text{h)}$).

Während der Nacht, als die Kollektoren zum Frostschutz mit Wasser aus dem Speicher durchströmt werden, beträgt die Temperaturspreizung der Sensoren nur etwa 5 K , erreicht aber über den Tag Maximalwerte von bis zu 30 K , was auf eine ungleichmäßige Durchströmung innerhalb des Feldes hindeutet. Ausgenommen sind erneut die auf dem Giebel der neuen Produktionshalle gemessenen Temperaturen an den Sensoren 5 und 7. In der Zeit ohne Einstrahlung liegen diese etwa 10 K unter den restlichen Temperaturfühlern und sinken im Verlauf der

Nacht sogar bis unter 0 °C. Andererseits steigen die Werte dieser beiden Sensoren mit beginnender Einstrahlung stark an und überschreiten bereits nach kurzer Zeit den Messbereich der Minilogger. Diese beiden Tatsachen lassen darauf schließen, dass diese Kollektoren im Messzeitraumes besonders schlecht bzw. gar nicht durchströmt waren, da anscheinend weder Wärme ab- noch zum Frostschutz zugeführt werden konnte.

Auf Grund eines Defektes sind die Messwerte von Sensor 8 im Diagramm nicht plausibel.

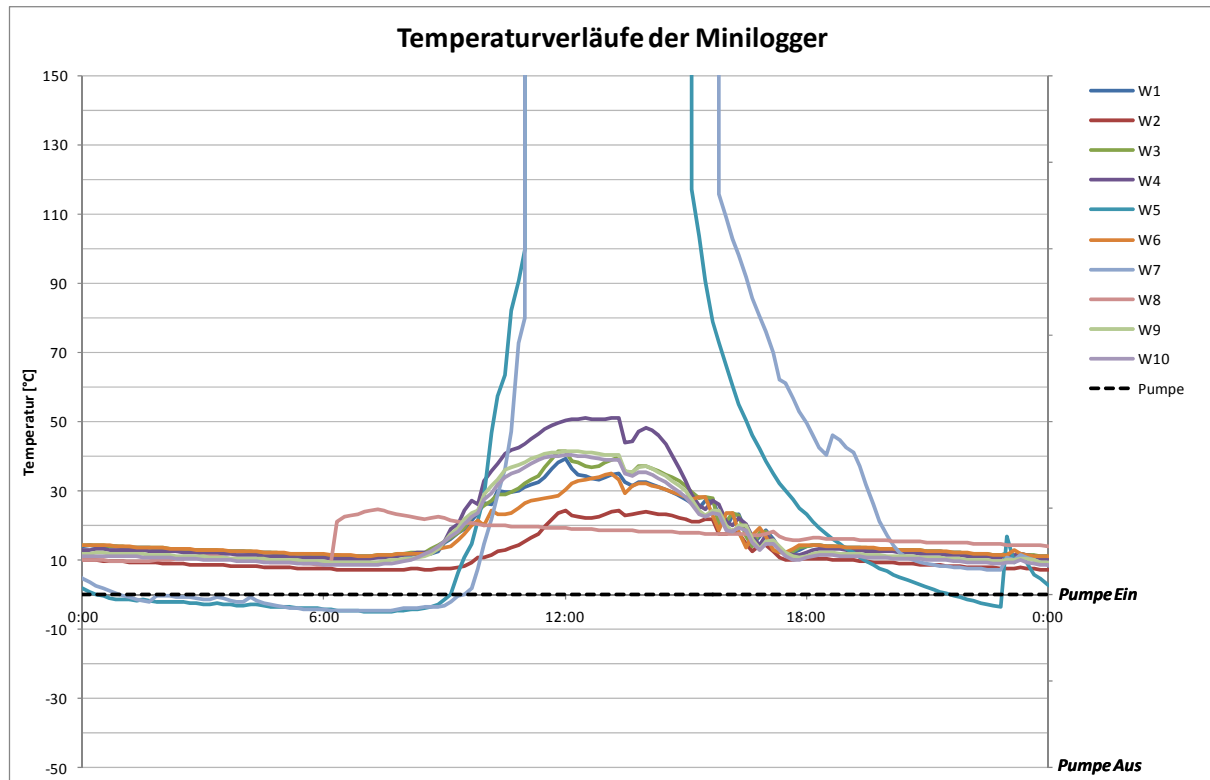


Abb. 60: Temperaturverläufe der Minilogger an einem Sommertag

Wird das Kollektorfeld zum Frostschutz mit warmem Wasser aus den Pufferspeichern durchströmt, kann eine Bilanzierung der entnommenen Energiemenge auf zwei unterschiedliche Arten erfolgen. Zum einen kann die Menge thermischer Energie zum Frostschutz dem Solarertrag entgegen gerechnet werden. Die thermische Hilfsenergie zum Frostschutz entspricht der aus den Speichern entnommenen Energiemenge. Zum anderen kann der Frostschutz aber auch als systembedingter Verbraucher mit einer geringen Temperaturanforderung betrachtet werden. Die Bilanzierung erfolgt in diesem Fall analog der andere Verbraucher, welche aufgrund der niedrigen Vorlauftemperaturen nicht solar betrieben werden können. Als thermische Hilfsenergie für den Frostschutz würde der Anlage nur ein konventionelles Nachheizen zur Last gelegt werden. In beiden Fällen entspricht die elektrische Hilfsenergie für den Frostschutz dem aufgenommenen Pumpenstrom.

Die Frostschutzregelung erfolgte im Winter 2009/10 vereinfacht nach folgenden Kriterien. Unterhalb einer voreingestellten Mindestaußentemperatur besteht der Betriebszustand „Frostschutzanforderung“, unterschreitet der Frostschutzsensor im Feld daraufhin einen Mindestsollwert schaltet die Solarkreispumpe ein und fördert warmes Wasser aus den Pufferspeichern durch das Kollektorfeld. Sollten die Speicher unter einen kritischen Wert abkühlen, ist ein

konventionelles Nachheizen über den Wärmeübertrager der Brauwasservorwärmung möglich. Seit Beginn der Messwerterfassung im Juli 2009 bis Juli 2010 wurden für den Frostschutz 22.465 kWh thermischer Energie aus den Pufferspeichern entnommen und 1.824 kWh elektrische Hilfsenergie zum Pumpenantrieb benötigt. Ein Nachheizen der Pufferspeicher war 2009/10 nicht nötig. Der Frostschutz erfolgte in den ersten beiden Winterperioden rein solar

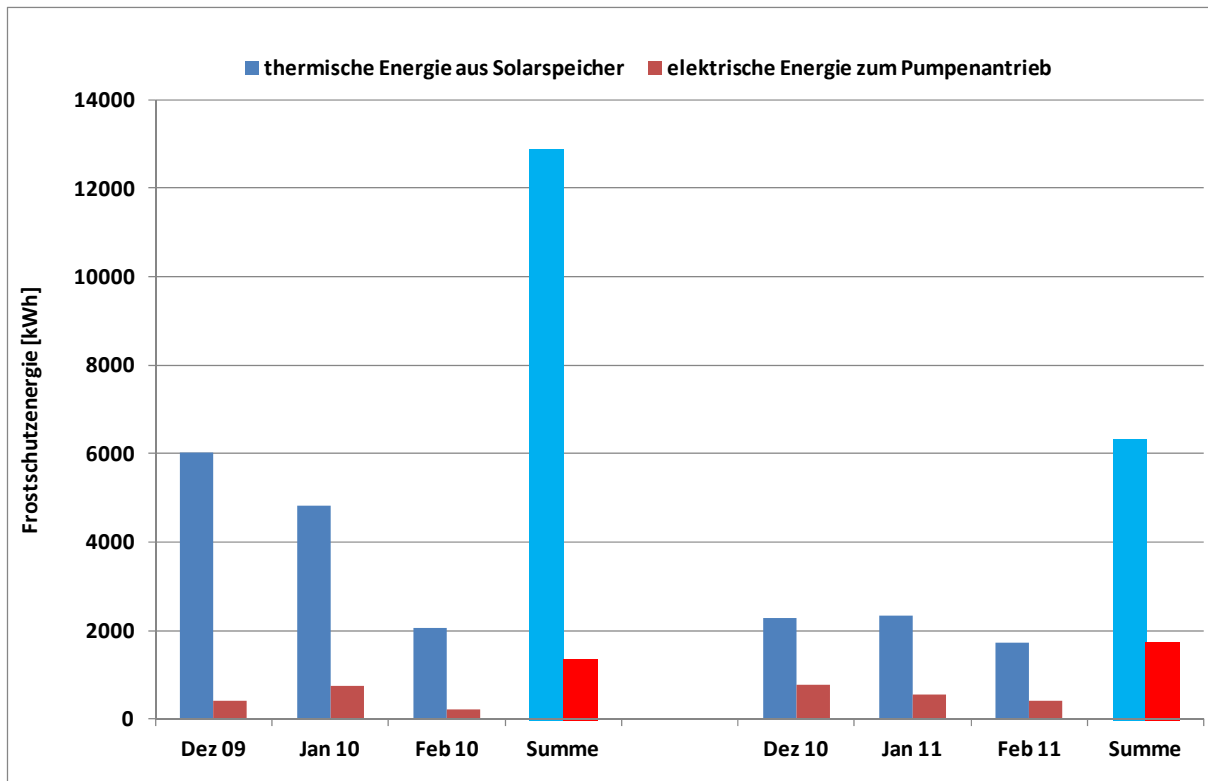


Abb. 61: Gegenüberstellung der eingesetzte Frostschutzenergie in den Winter 2009/10 und 2010/11

aus den Pufferspeichern.

Da Installateur und Betreiber kaum Erfahrungen mit dem Betrieb von thermischen Solaranlagen und speziell dem Frostschutz von Wassersystemen hatten, wurden im Winter 2009/10 Kenntnisse gesammelt und der Frostschutzbetrieb angepasst. Aufgrund der Kollektorfeldgröße und der geringen Anzahl von Temperatursensoren im Feld, wurde das Aufheizen mit warmem Speicherwasser und anschließendes Abkühlen im Stillstand als zu riskant eingeschätzt. Nach einem Umbau des Kollektorfeldes im Frühjahr 2010 ist es möglich, die Kollektoren im Bypass zu den Speichern zu durchströmen. Die geänderte Frostschutzregelung pumpt bei Unterschreitung einer Mindestaußentemperatur dauerhaft das Wärmeträgermedium durch die Kollektoren. Dabei wird keine thermische Energie zum Frostschutz aus den Pufferspeichern entnommen, jedoch kommt es zu einer Erhöhung der Pumpenlaufzeit und damit verbunden zu einer Mehraufnahme von Elektroenergie. Erst ab einer Mediumstemperatur knapp über dem Gefrierpunkt wird analog zum Frostschutzbetrieb des vorhergegangenen Winters das Kollektorfeld aus den Speichern erwärmt. Die Pufferspeicher wurden auch in den Wintern 2010/11 und 2011/12 nicht konventionell nachgeheizt.

Abb. 61 stellt die jeweils die Monate Dezember bis Februar der zwei betrachteten Winter gegenüber. Der direkte Vergleich der beiden Winter ist legitim, da die meteorologischen Verhältnisse (Strahlung, Temperatur) in Summe nicht wesentlich abweichen. Der anscheinend

höhere Verbrauch an thermischer Energie zum Frostschutz im ersten Winter kann als unwesentlich bewertet werden, da es sich um nicht bei Verbrauchern nutzbare Niedertemperaturenergie handelt, die andernfalls als Speicherverlust angefallen wäre.

Dem Mehraufwand an thermischer und elektrischer Energie zur Frostfreihaltung des Solarsystems, stehen Energieeinsparungen, welche sich aus den besseren hydraulischen und wärmetechnischen Eigenschaften ergeben, gegenüber. Zur Abschätzung der Größenordnung dieser Energiemenge wurden vereinfachte Berechnungen durchgeführt.

Unter der Annahme einer definierten Einstrahlung auf ein im Matched-Flow betriebenes Kollektorfeld mit vorgegebener Temperaturspreizung an Feldein- und Feldaustritt ergeben sich für die beiden Wärmeträger reines Wasser und Wasser-Glykolkemisch verschiedene Massenströme. Allein durch die höhere spezifische Wärmekapazität von reinem Wasser ist der benötigte Massenstrom unter den gewählten Betriebsbedingungen etwa 14 Prozent geringer als der des Frostschutzgemischs. Mit dem errechneten Massenstrom resultieren bei gleichem Rohrquerschnitt verschiedene Strömungsgeschwindigkeiten. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen, kinematischen Zähigkeit wurde anschließend für einen geraden Referenzrohrabschnitt, welcher in der Dimension der Sammelleitung liegt, der Druckverlust und damit einher die von der Pumpe zu erbringende Leistung bestimmt. Die berechnete Einsparung mit reinem Wasser als Wärmeträger beträgt dabei etwa 46 Prozent gegenüber einem Anlagenbetrieb mit Wasser-Glykolkemisch. Auf Basis dieser überschlägigen Rechnung stellt die nachfolgende Aufstellung, die im Jahr 2010 zum Anlagenbetrieb benötigten Elektroenergie für die beiden Wärmeträgermedien gegenüber.

- Jährlicher Gesamtenergiebedarf zum Betrieb der Anlage mit Wasser (gemessener Wert):

8181 kWh

- Energieanteil für Frostschutz (fällt bei Betrieb mit Glykolkemisch nicht an):

2635 kWh

- Energieanteil für normalen Anlagenbetrieb (Ertrag):

5546 kWh

➔ Entspricht ca. 54 % der Elektroenergie bei Betrieb mit Glykolkemisch

- Jährlicher Gesamtenergiebedarf zum Betrieb der Anlage mit Glykolkemisch (berechneter Wert):

10270 kWh

- **Jährlicher Mehraufwand an Elektroenergie bei Betrieb mit Frostschutzgemisch (zur Abschätzung berechneter Wert):**

Ca. 25,5 %

Im sogenannten Prozessschritt „Spülen“ wird morgens zu Produktionsbeginn Wasser aus den Speichern mit einem hohen Volumenstrom durch das Kollektorfeld gepumpt, um eventuelle Gaseinschlüsse und Luftpolster aus dem Feld zu drücken und das Feld gleichmäßiger zu durchströmen. Der Aufwand an thermischer Energie für diesen Prozessschritt ist mit knappen 10% des jährlichen positiven Kollektorertrages nicht unerheblich, zumal es sich dabei nicht ausschließlich um Wärme auf niedrigem Temperaturniveau wie beim Frostschutz im Winter handelt. Die Zusammensetzung der Menge an thermischen Energie, die in das Kollektorfeld zurückgeht liegt im Verhältnis 1 zu 2 (1 Teil tatsächlicher Frostschutz im Winter zu 2 Teilen Spülen im Sommer). Da dieses Spülen jeden Morgen durchgeführt wird, kann es unter Umständen an Tagen mit geringer Einstrahlung zu negativen Feldbilanzen führen. Dabei wird der Verlust durch das Spülen über den Tag nicht wieder als Ertrag eingespielt. Wie dem Betreiber bereits zu einem früheren Zeitpunkt mitgeteilt, würde sich hier ein Überdenken dieser Strategie anbieten. In der nachfolgenden Grafik wird der thermische Energieaufwand für Frostschutz und Spülen gegenüber gestellt. Gleichzeitig wird im Diagramm generell noch einmal die Verringerung des Aufwandes an thermische Energie für Frostschutz und Feldaufwärmung durch Einführung des LOOP-Betriebs deutlich.

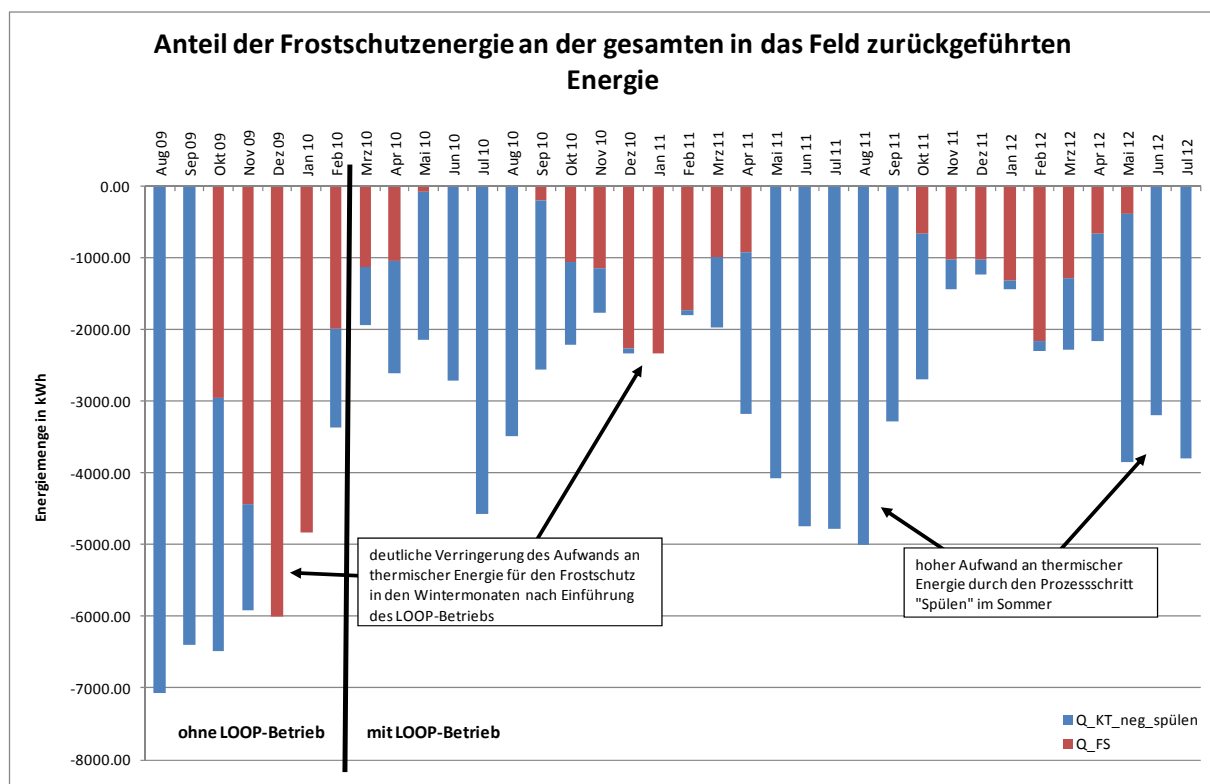


Abb. 62: Gegenüberstellung des thermischen Energieaufwands für Frostschutz und den Prozessschritt „Spülen“

Projektpartner***Objektanschrift:***

Privatbrauerei Hofmühl GmbH
Hofmühlstr. 2
85072 Eichstätt

Bauherr und Betreiber:

Privatbrauerei Hofmühl GmbH
Hofmühlstr. 2
85072 Eichstätt
Ansprechpartner Benno Emslander, Paul Kottmann

Planung und Installation:

Krones AG
Steinecker Plant
Raiffeisenstraße 30
85356 Freising – Attaching
Herr Klaus Wasmuth, Herr Klaus Kirmaier

Fa. Solarbayer GmbH
Am Dörrenhof 22
85191 Pollenfeld/Preith
Martin Kraus

Projektförderung:

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
(BMU)
Projektabwicklung im Auftrag des BMU:
Projektträger Jülich (PTJ)
Außenstelle Berlin
Wallstraße 17 - 23
10179 BERLIN
Herr Dr. Donat

Wissenschaftlich-Technische Begleitung:

Technische Universität Chemnitz
Professur Technische Thermodynamik
Projektgruppe Solarthermie
09107 CHEMNITZ
Herr Dr. Schirmer, Herr Wutzler, (Herr Dr. Freitag, Herr Niersmann)

5.3 Untersuchungen zu Monitoring-Messtechnik

5.3.1 Durchflussmessung

Bei allen bisherigen Monitoringvorhaben war man sich der Bedeutung der Mengenmessung bewusst und verwendete z.B. redundante Technik (Solarthermie2000).

Zur Beurteilung des Anlagenertrages thermischer Solaranlagen werden an den Bilanzstellen jeweils Wärmemengen bestimmt. Die Berechnung der Wärmemenge erfolgt dabei aus der Messung der Temperaturen vor und nach der Bilanzstelle sowie dem geförderten Volumen- bzw. Massenstrom (Durchfluss).

Wenn die Bilanzierungsmessung Bestandteil jeder Solaranlage werden sollte (was anzustreben ist), spielt gleichzeitig die Verfügbarkeit preiswerter und trotzdem zuverlässiger Durchflussmesstechnik eine wesentliche Rolle. Dies ist der eine Untersuchungsgegenstand. Der zweite widmet sich der konkreten Einbausituation.

Die Hersteller von Durchflussmessgeräten machen dabei Angaben zu den Einbaubedingungen ihrer Sensoren, um möglichst genaue Messergebnisse zu erzielen. Unter Umständen können diese Vorgaben auf Grund eines begrenzten Raumangebotes, zum Beispiel bei der Installation von Solaranlagen in den Bestand, nicht eingehalten werden. An anderen Stellen werden sie schlicht vom Installateur übersehen.



Abb. 63: Bsp.: Diese Stelle oberhalb einer Deckenluke ist in einem konkreten Projekt der einzig zugängliche Einbauort für eine Durchflussmessung

Um Aussagen zu den unterschiedlichen Empfindlichkeiten von Durchflussmessgeräten gegenüber nicht normgerechten Einbau- und Betriebsbedingungen machen und den Einfluss dieser Unzulänglichkeiten auf das Messergebnis abschätzen zu können, wurde ein Versuchstand errichtet, welcher den momentanen am Prüfling gemessenen Durchfluss mit einer in Reihe geschalteten Referenzmessung vergleicht (Abb. 64).

Das Rohrsystem des Versuchsstandes besteht aus handelsüblichem Kupferrohr mit einem Rohrinne Durchmesser von 25,0 mm bei einer Wandstärke von 1,5 mm. Für Versuchsreihen mit Durchflussmessgeräten für geringe Volumenströme kann die Messstrecke mit kleineren Rohrnennweiten ausgestattet werden. Als Prüfmedium kommt Leitungswasser zum Einsatz. Der Teststand orientiert sich in seinen Grundzügen am hydrodynamischen Prüffeld der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt.

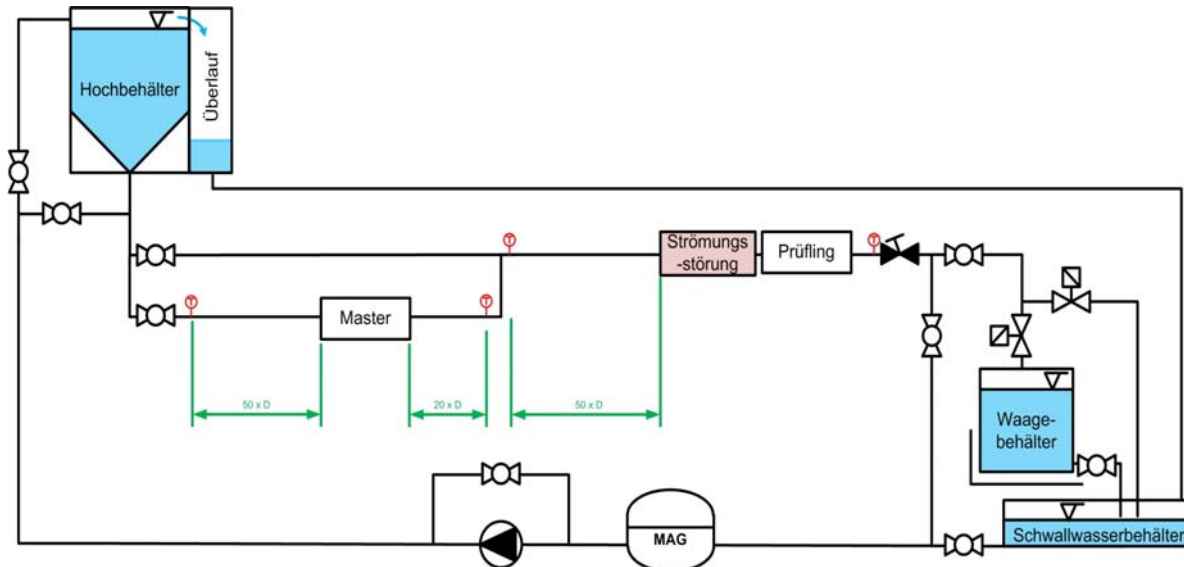


Abb. 64: Vereinfachter Aufbau des Versuchsstandes zur Durchflussmessung

Der Versuchstand kann sowohl als offenes System unter Verwendung des Hochbehälters oder der Pumpe betrieben werden, als auch als geschlossenes System, bei dem die Pumpe das Medium im Kreis fördert.

Bei der Nutzung des Hochbehälters fördert die Pumpe das Messfluid in das höhergelegene, mit einem Überlauf versehene Reservoir. Da der von der Pumpe geförderte Volumenstrom größer als der Prüfdurchfluss durch die Messstrecke ist, fließt ein Teil des nach oben gepumpten Mediums über den Überlauf zurück in den tiefergelegenen Vorlagebehälter (Abb. 66). Die Höhe des Wasserspiegels und damit der an der Prüfstrecke anliegende statische Druck bleiben konstant. Als Referenz kann sowohl die Waage als auch der installierte Coriolis-Massendurchflussmesser dienen. Die Höhendifferenz zwischen dem freiem Wasserspiegel im Hochbehälter und dem Auslauf in den Wäagebehälter bzw. Vorlagebehälter beträgt dabei 3,70 m. Mit der aus dem Höhenunterschied resultierenden Druckdiffe-



Abb. 65: Ansicht des Hochbehälters mit Überlauf (orangenes PEHD-Rohr)

renz lassen sich Volumenströme bis ca. 2.500 l/h erzielen (störungsfreie, gerade Messtrecke ohne Prüfling, Masterzähler im Bypass).

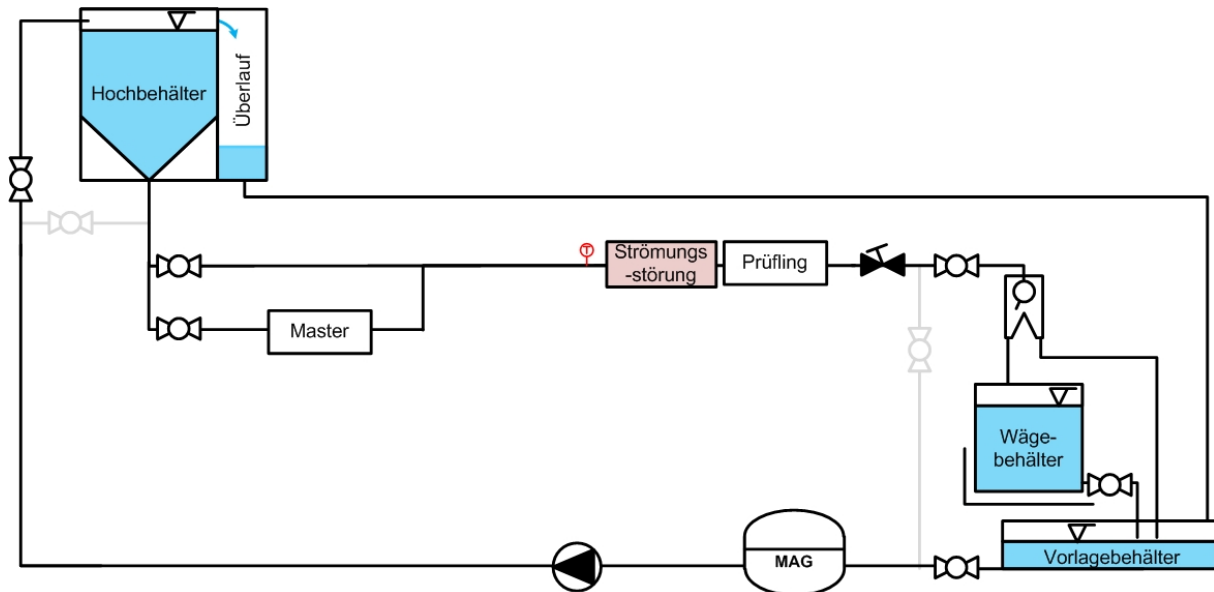


Abb. 66: Betrieb des Versuchszustandes unter Verwendung des Hochbehälters

Sollen größere Volumenströme untersucht werden, muss der Hochbehälter aus dem System genommen werden. Die Pumpe fördert das Medium dann direkt durch die Prüfstrecke. Es können so Durchflüsse von bis etwa 5.000 l/h erreicht werden. Als Referenz im Pumpenbetrieb können, wie auch beim Betrieb mit dem Hochbehälter, sowohl die Waage als auch der installierte Coriolis-Massendurchflussmesser zum Einsatz kommen.

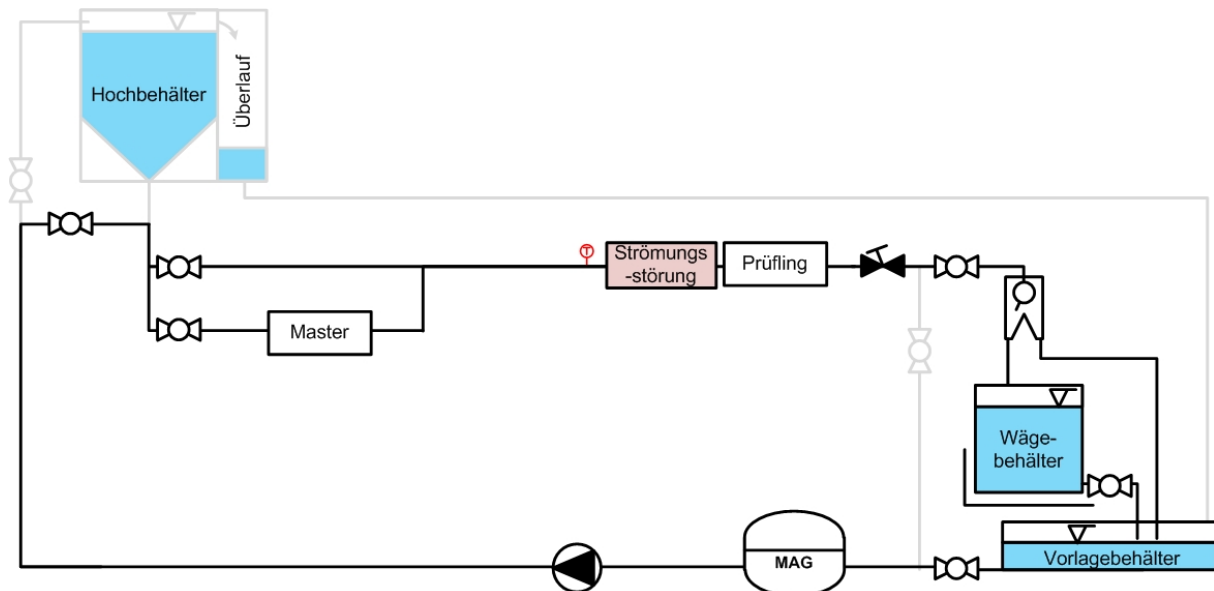


Abb. 67: Betrieb des Versuchszustandes unter Verwendung der Pumpe

Als Referenzmessverfahren dient bei kleineren Volumenströmen eine gravimetrische Bestimmung des Durchflusses. Bei dieser Art der Versuchsdurchführung wird die Größenordnung des möglichen zu untersuchenden Volumenstroms durch die längstmögliche Zeitspanne

bis zur vollständigen Füllung des Wägebehälters begrenzt. Soll ein Messverfahren bei größeren Volumenströmen untersucht werden, wird das Fluid mit einer Pumpe durch die Messstrecke gefördert und das Durchflusssignal der Prüflinge mit dem des in Reihe zugeschalteten Masterzählers verglichen. Als Referenzzähler kamen ein Coriolis-Massendurchflussmessgerät und ein magnetisch-induktives Durchflussmessgerät zum Einsatz.

Bei den untersuchten Messverfahren wurde je Konfiguration der Volumenstrom in Schritten von 500 l/h variiert. Nach einer genügend langen Einlaufzeit wurden bei einem konstanten Volumenstrom in jedem Messpunkt eine ausreichend hohe Anzahl einzelner Messungen durchgeführt, um eine statistisch zuverlässige Aussage zur Abweichung der gemessenen Volumenströme zwischen idealer und gestörter Einlaufstrecke am Prüfling treffen zukönnen. Der untersuchte Durchflussbereich bewegte sich dabei in den Grenzen des Versuchsstandes zwischen 0 l/h und etwa 5000 l/h, dies entspricht bei einem Innendurchmesser der zu untersuchenden Messgeräte von 25 Millimetern, etwa Strömungsgeschwindigkeiten zwischen 0 – 2,8 m/s.

Die Abweichung der absolut gemessenen Volumenströme der Prüfgeräte vom tatsächlich vorliegenden Durchfluss der Referenzgeräte hat durch die Versuchsdurchführung mit vergleichender Messung von Prüflingen mit idealer und gestörter Einlaufstrecke kaum Bedeutung, da der absolute Durchfluss weniger von Interesse sind. Wesentlich wichtiger ist der Reproduzierbarkeitsfehler der Referenzgeräte, da bei mehrfacher Messung (ideale/gestörte Einlaufstrecke) mit gleichen Volumenströmen möglichst auch ein identisches Ausgabesignal erfolgen soll und die Unterschiede lediglich aus dem Einfluss der nichtidealen Einlaufstrecke resultieren sollten. Die Differenz der eingestellten Volumenströme zwischen den zu vergleichenden Messungen beträgt maximal $\pm 1,5 \%$.

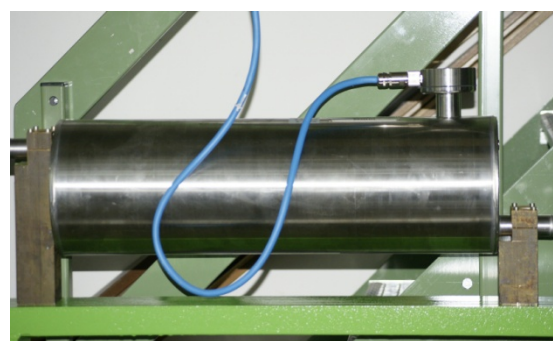
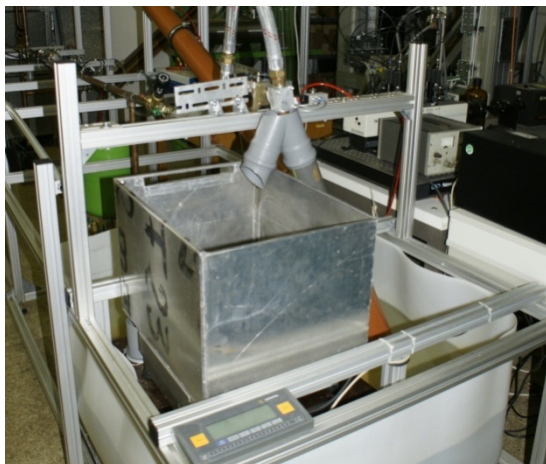


Abb. 68: Referenzmessgeräte zur Bestimmung des Massendurchflusses, Waage (links) und Coriolis-Massendurchflussmesser (rechts)

Referenzmessung durch Masterzähler

Als Vergleichsnorm zwischen den Messreihen mit einer idealer Einlaufstrecke am Prüfling und einer Einlaufstrecke mit einer Strömungsstörung kommen im Versuchstand ein Coriolis-massendurchflussmessgerät und ein magnetisch-induktives Durchflussmessgerät zum Einsatz. Die analogen 4-20 mA-Ausgabesignale der Mastergeräte liegen mit den Signalen der Prüflin-

ge auf einer Messkarte im HWH-Datenlogger. Lediglich bei Ausgabe eines Impulssignals der Prüflinge wurde die digitale Zählkarte genutzt. Die Masterzähler der Firma Siemens besitzen folgende Eigenschaften:

Tab. 22: Daten des Masterzähler (Coriolis)

| | |
|---|---------------------------------|
| Messverfahren | Coriolismassendurchflussmessung |
| Hersteller | Fa. Siemens |
| Sensortyp | Sitrans F C Massflo Mass2100 |
| Messbereich | 0 – 25.000 kg/h |
| Kalibrierung | Standard, 3 Durchflüsse |
| Linearitätsabweichung bei Durchfluss >5 % von Vmax. | 0,10 % v. akt. Durchfluss |
| Reproduzierbarkeit | 0,05 % |
| Messumformertyp | Mass 6000 |
| Ausführung | abgesetzt |
| Signalausgang zum Datenlogger | 4...20 mA |

Tab. 23: Daten des Masterzähler (MID)

| | |
|---|-------------------------------------|
| Messverfahren | Magn.- induktive Durchflussmessung |
| Hersteller | Fa. Siemens |
| Sensortyp | Magflo Mag 5100 W |
| Messbereich | 0 – 17.700 kg/h |
| Kalibrierung | Standard, 2 Durchflüsse je zwei mal |
| Messgenauigkeit bei Strömungsgeschwindigkeit >0,5 m/s | 0,25 % v. akt. Durchfluss |
| Messumformertyp | MAG 6000 |
| Ausführung | Direktanzeige |
| Signalausgang zum Datenlogger | 4...20 mA |

Referenzmessung durch Wägung (Volumenströme < 1500 l/h)

Da der Messfehler von Durchflussmessgeräten im unteren Messbereich charakteristisch zunimmt, kommt bei Messungen mit einem Volumenstrom kleiner als 1.500 l/h zusätzlich zu den Masterzählern eine Waage zum Einsatz. Dabei durchströmt das Messfluid in der Regel trotzdem zuerst den installierten Masterzähler, bevor es hinter der Prüfstrecke in den Waagebehälter geleitet wird. Die Spezifikationen der verwendeten Waage sind in der nachfolgenden Tabelle aufgelistet.

Tab. 24: Daten der Waage

| | |
|--|-----------------------|
| Hersteller | Fa. Sartorius |
| Typ | Factory Series FBG 64 |
| Wägebereich | 0 – 64.000 g |
| Linearitätsabweichung | $\leq \pm 0,5$ g |
| Reproduzierbarkeit | $\leq \pm 0,1$ g |
| typ. Messzeit | 1,5 s |
| Maximaler Wägebereich mit Anfangbehälter | Ca. 58.000 g |
| Maximale Wägedauer bei 2000 kg/h | Ca. 104 sek |

Nach der Installation des Versuchsstandes in Jahr 2009, folgte der Inbetriebnahme im ersten Halbjahr 2010 eine Optimierungsphase. Diese machte sich erforderlich, da die erwartete Funktionalität des Versuchsstandes noch nicht erreicht war. Dafür gab es mehrere Gründe.

Bei der Aufzeichnung des 4...20 mA-Ausgangssignals der Messumformer mit dem eingesetzten HWH-Datenlogger zeigte sich, dass die analogen Messkarten im Logger mit falschen Widerständen bestückt waren und somit eine Nachbesserung durch den Hersteller erforderlich wurde. Während der anschließenden Kalibrierung der Referenzzähler erwies sich die nach den knappen Angaben der Bedienungsanleitung, gewählte Einbausituation des Coriolismassendurchflussmessgeräts als ungünstig, sodass der Versuchsaufbau an mehreren Stellen nochmals geändert werden musste.

Gleichzeitig stellte sich das Umschalten des Volumenstromes zwischen Waagebehälter und Bypass mit den verwendeten Magnetventilen als zu träge heraus. Mit Schaltvorgängen länger eine Sekunde konnte bei einer mit dem HWH-Logger möglichen zeitlichen Auflösung von kürzestens einer Sekunde keine exakte Zuordnung des geflossenen Mediums gemacht werden. Die Anordnung wurde dahingehend überarbeitet, dass anstelle der Magnetventilumschaltung eine flexible

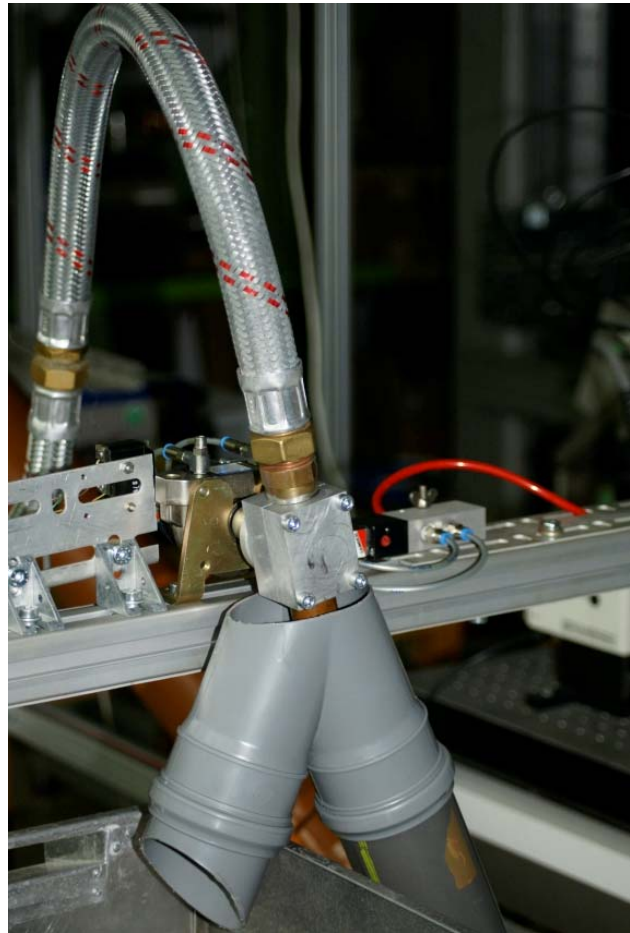


Abb. 69: pneumatische Umschaltvorrichtung zwischen Waagebehälter und Bypass

Wasserleitung pneumatisch zwischen Waagebehälter und Bypass umgeschwenkt wird. Die Schaltdauer konnte dadurch deutlich verringert werden ($T_{\text{Schalt}} < 0,25 \text{ s}$). Eine genauere Zuordnung der geflossenen Fluidmenge wurde somit möglich. Dies ist Voraussetzung für eine Verwendung der Wägetechnik als Normal.

Die Messung erfolgte durch eine statische Wägung mit fliegenden START / STOP –Betrieb. Wie in den vorangegangenen Abbildungen dargestellt (Abb. 66 und Abb. 67), wird das Wasser entweder über den Hochbehälter oder nur über die Pumpe im Kreis gefördert. Während das Fluid vor dem eigentlichen Messvorgang im Bypass zum Wäagebehälter strömt, wird der gewünschte Durchfluss über das Regelventil eingestellt. Der konstante Durchfluss im Bypass ist gleich dem Durchfluss im Prüfling und entspricht dem Messdurchfluss der späteren Wägung. Durch Schalten des pneumatischen Antriebs, startet die Messung. Ein beweglicher Panzerschlauch schwenkt über ein Hosenstück aus PE-Rohr und leitet den Flüssigkeitsstrahl vom Bypass in den Wäagebehälter (Zeitraum $t_1 - t_3$ in Abb. 70). Durch einen großzügig gewählten Radius des Panzerschlauches bleibt der Druckverlust beim Schwenken der Umlenkung nahezu konstant, sodass sich kein Einfluss auf den Durchfluss ergibt. Nach dem Zeitpunkt t_3

strömt das komplette Messmedium auf die Waage und es ergibt sich ein Wägesignal mit einem zeitproportionalen Anstieg. Ist der Wägebehälter gefüllt, schaltet der Antrieb erneut und das Fluid strömt aus dem Panzerschlauch wieder an der Waage vorbei (Zeitraum $t_4 - t_6$). Mit 0,25 Sekunden zwischen $t_1 - t_3$ bzw. $t_4 - t_6$ ist die Zeitdauer sehr gering, in der sich der Volumenstrom während des Schaltvorganges zwischen Wägebehälter und Bypass aufteilt und nicht eindeutig zuordenbar ist.

Statische Wägung:

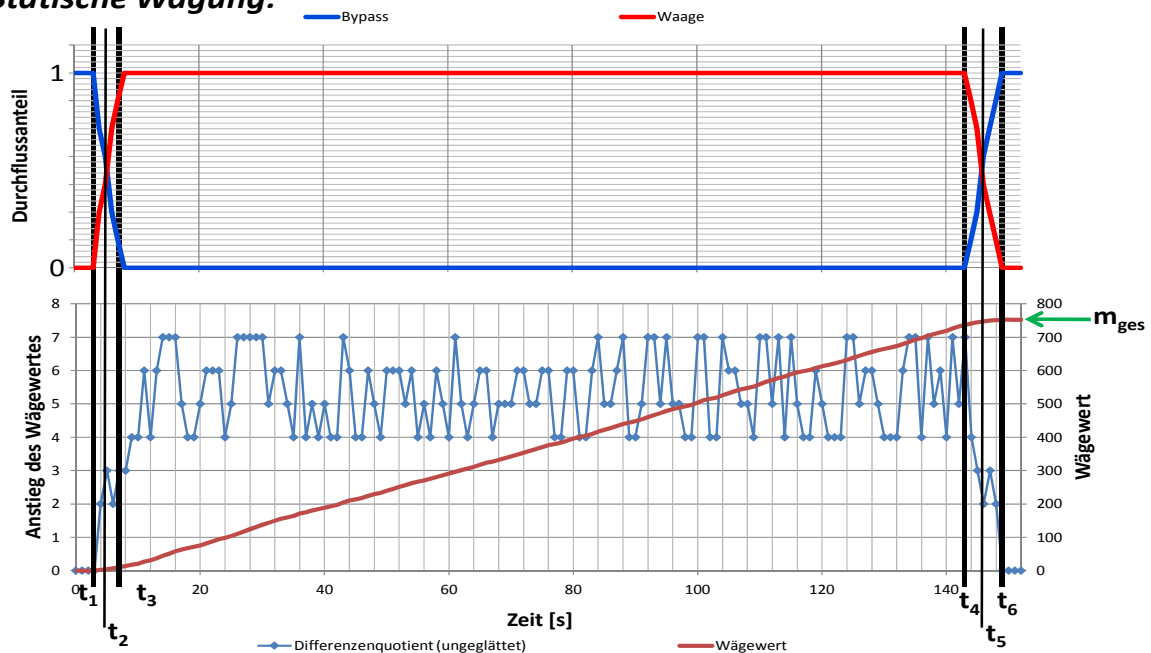


Abb. 70: beispielhafter zeitlicher Verlauf des Wägesignals beim Umschalten zwischen Bypass und Wägebehälter

Im Messbereich um ca. 2000 kg/h liefert der Coriolismassendurchflussmesser noch verlässliche Ergebnisse. Allerdings nimmt sein Fehler bei kleineren Volumenströmen zu. Der maximale Wägebereich der Waage liegt unter Berücksichtigung des Aluminiumauffangbehälters bei etwa 58.000g. Bei einem Massenstrom von etwa 2.000 kg/h beträgt die längstmögliche Messdauer damit etwa 105 Sekunden. Der verwendete HWH-Logger besitzt jedoch als kleinstes einstellbares Messintervall lediglich eine Sekunde, daher kann der Schaltzeitpunkt im ungünstigsten Fall sowohl zu Beginn als auch am Ende der Messung um eine Sekunde falsch zu geordnet werden. Der aus der Zeitmessung entstehende Fehler kann somit bei diesem Volumenstrom bis zu 2 Prozent betragen und ist als zufälliger Fehler nicht reproduzierbar. Gleichzeitig nimmt der aus dem Umschalten resultierende absolute Fehler mit steigender Messdauer ab, je kleiner der Volumenstrom wird. Die Nutzung der Waage als Vergleichsreferenz bei kleinsten Durchflüssen bietet sich daher an.

Bei Messverfahren, die einen Volumendurchfluss bestimmen, ist zu beachten, dass das gemessene Ergebnis über die Mediumsdichte mit dem gemessenen Massendurchfluss bzw. der

gemessenen Masse der Referenzmessverfahren verknüpft ist. Zur Berücksichtigung der Temperaturabhängigkeit der Fluidichte ist unmittelbar vor der Prüfstrecke ein kalibrierter PT100-Fühler in einem 6 mm-Schutzrohr aus Edelstahl installiert. Über die Approximation von Glück wurde die temperaturabhängige Mediumsdichte berechnet.

$$\rho = 1,002045 \cdot 10^3 - 1,029905 \cdot 10^{-1} t - 3,698162 \cdot 10^{-3} t^2 + 3,991053 \cdot 10^{-6} t^3 \quad \text{in kg/m}^3$$

(Autorenkollektiv (Recknagel/Sprenger/Schramek): Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik.
Seite 95, München: R. Oldenburg Verlag GmbH 2007/08)

Der dabei entstehende Fehler ist im Bereich zwischen 20 ... 200 °C kleiner als 0,09 %.

Messreihen

Im Rahmen des Projektes wurden unterschiedliche Messverfahren an Geräten verschiedener Hersteller bezüglich ihres Messverhaltens bei nicht idealer Einlaufstrecke untersucht. Zu beachten ist der Bezug der angegebenen Einlaufstrecken. In verschiedenen Literaturstellen und Normen (z.B. DIN EN 29 104) wird häufig die Distanz bis zur Messebene als Einlaufstrecke angegeben, so das ein Teil der Einlaufstrecke bereits in den Messgeräten integriert ist. Andererseits beziehen sich die Herstellerangaben meist auf den Prozessanschluß (Flansch, Verschraubung,...).

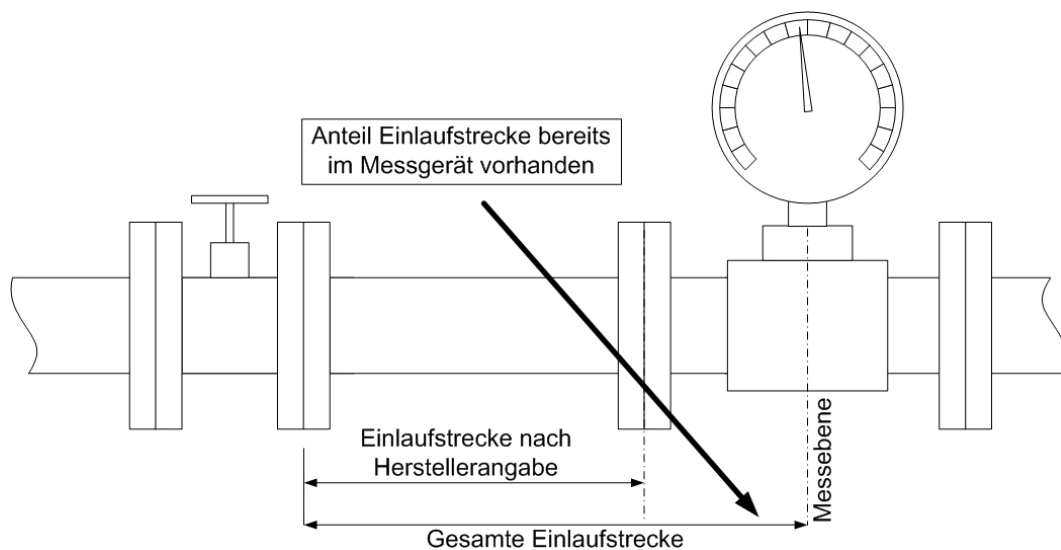


Abb. 71: Unterscheidung nach gesamter Einlaufstrecke und Einlaufstrecke nach Herstellerangabe

Folgende Messverfahren fanden Eingang in die Untersuchungen.

| Messverfahren | Untersuchte Störungen | Durchflüsse |
|---|-----------------------|-------------|
| Magnetisch-Induktive Durchflussmessung (MID) | | |
| MID_A | Referenzmessung | 0-5000 l/h |
| Fa. ABB, Typ: FXE-4000 | 3D Umlenkung | 0-5000 l/h |
| | Regelventil | 0-5000 l/h |
| | | |

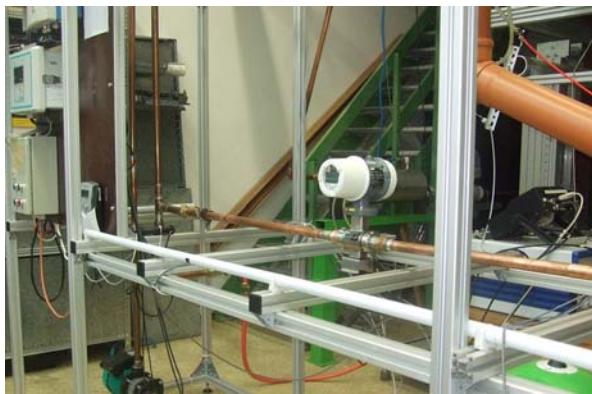
| | | |
|--|-------------------------|------------|
| MID_B | Referenzmessung | 0-4000 l/h |
| Fa. ABB; HygienicMaster FEH-311 | 3D Umlenkung | 0-4000 l/h |
| | | |
| MID_C | Referenzmessung | 0-3000 l/h |
| Fa. PKP, Typ: DM01.1.P.05.0 | 3D Umlenkung | 0-3000 l/h |
| | Regelventil | 0-3000 l/h |
| | | |
| Klappendurchflussmesser | | |
| Klappe_A | Referenzmessung | 0-5000 l/h |
| Fa. PKP; Typ: DK04.20.2.0.1 | 3D Umlenkung | 0-5000 l/h |
| | | |
| Wirbeldurchflussmesser (Vortex) | | |
| Vortex_A | Referenzmessung | 0-5000 l/h |
| Fa. Grundfos, Typ: VFS 10-200 | 3D Umlenkung | 0-5000 l/h |
| | Regelventil | 0-5000 l/h |
| | senkrecht, nach oben | 0-5000 l/h |
| | senkrecht, nach oben | 0-5000 l/h |
| | | |
| Vortex_B | Referenzmessung | 0-5000 l/h |
| Fa. Grundfos; Typ: VFS 5-100 | 3D Umlenkung | 0-5000 l/h |
| | | |
| Ultraschalldurchflussmesser | | |
| Ultraschall_A | Referenzmessung | 0-5000 l/h |
| Fa. Siemens, Typ: Sitrans FUS 1010 | Querschnittserweiterung | 0-5000 l/h |
| | 90° Umlenkung | 0-5000 l/h |
| | | |
| Ultraschall_B | Referenzmessung | 0-5000 l/h |
| Fa. Endress und Hauser | 90° Umlenkung | 0-5000 l/h |
| Typ: Prosonic Flow 90UA1 ClampOn | Regelventil | 0-5000 l/h |
| | | |
| Coriolis-Massendurchflussmesser | | |
| Coriolis_A | Referenzmessung | 0-5000l/h |
| Fa. Endress&Hauser, Typ: Promass 80E25 | 3D Umlenkung | 0-5000l/h |

Magnetisch induktive Durchflussmessung (MID)

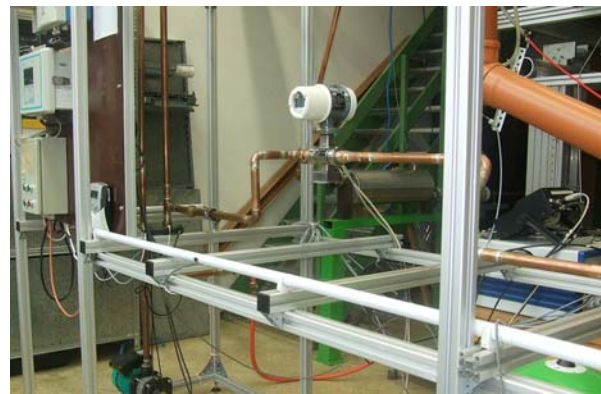
In einer durch ein Magnetfeld strömenden, elektrisch leitfähigen Flüssigkeit entsteht nach dem Induktionsgesetz ein elektrisches Feld senkrecht zum Erregermagnetfeld und der Strömungsrichtung. Die im elektrischen Feld entstehende Messspannung wird an zwei Elektroden in der Wandung des Messrohres abgegriffen. Bei einer radialsymmetrischen Strömung im Sensorbereich des Messrohres ist die Messspannung eine lineare Funktion der mittleren Ge-

schwindigkeit unabhängig vom Strömungsprofil. Hinter verschiedenen Strömungsstörungen kann jedoch nicht von einer radialsymmetrischen Strömung ausgegangen werden. Es treten Störströmungen auf, welche das Messergebnis verfälschen. Durch die Verwendung inhomogener Magnetfelder zur Erzeugung der Messspannung konnte der Messfehler bei unsymmetrischen Strömungsprofilen in der Praxis deutlich verringert werden. Unabhängig davon machen Fachliteratur und die Bedienungsanleitungen der Hersteller magnetisch-induktiver Durchflussmesser Angaben zu den einzuhaltenden Ein- und Auslaufstrecken. Die Angaben schwanken dabei im Allgemeinen zwischen dem drei- und zehnfachen Nenndurchmesser für die Einlaufstrecke und zwei bis fünffacher Auslaufstrecke.

Bei dem untersuchten Gerät MID_A der Nennweite DN 25 handelt es sich um ein MID mit einem Messbereich von 0 – 12.000 l/h. Die in der Montageanleitung geforderte Einlaufstrecke des Gerätes beträgt 3 x DN und die Auslaufstrecke 2 x DN gemessen ab der Verschraubung des Messgerätes. Ein Einbau hinter Raumkrümmern ist zu vermeiden. Die Ausgabe des Messsignales erfolgte als analoges 4-20 mA-Signal. Untersucht wurden ein Regelventil und ein Raumkrümmer mit Abständen von weniger als drei Nennweiten zum Prozessanschluss. Die aus den Strömungsstörungen resultierende Abweichung lag dabei bei einer Mehranzeige von etwa einem halben Prozent gegenüber den Messwerten der Referenzmessung (Abb. 75).



**Abb. 72: Referenzmessung mit ungestörter Einlaufstrecke
> 10 x DN**



**Abb. 73: Vergleichsmessung mit einer 3D-Raumkrümmung
innerhalb der Einlaufstrecke (Abstand 3 DN)**



**Abb. 74: Vergleichsmessung mit einem Regelventil
innerhalb der Einlaufstrecke (Abstand < 3 DN)**

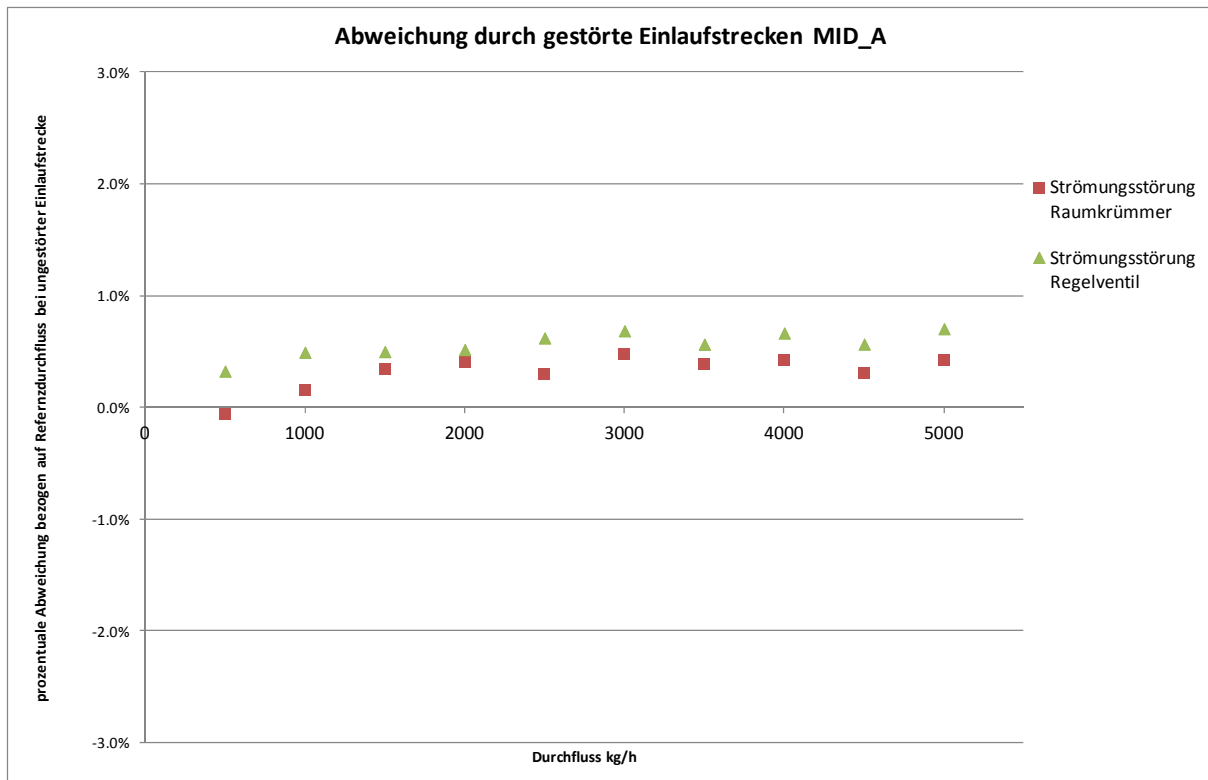


Abb. 75: Messwertabweichung zwischen ungestörter Einlaufstrecke und Strecken mit Strömungsstörungen (Regelventil, Raumkrümmer) des MID_A

Ein zweites MID der Nennweite DN 15 mit einem Messbereich von 0 - 6.000 l/h wurde untersucht (MID_B). Die in der Montageanleitung geforderten Ein- und Auslaufstrecken betragen wie beim vorangegangenen Gerät 3 x DN und 2 x DN ab dem Prozessanschluss. Die Ausgabe des Messsignales erfolgte ebenfalls als analoges 4-20 mA-Signal. Als Strömungsstörung wurde eine dreidimensionale Umlenkung des Fluids untersucht, da diese laut Herstelleranleitung als kritisch einzustufen ist. Der entstehende Messfehler betrug dabei weniger als ein Prozent über den gesamten untersuchten Messbereich von 0 – 4000 l/h (Abb. 77).



Abb. 76: Vergleichsmessung mit einem 3D-Raumkrümmer innerhalb der Einlaufstrecke

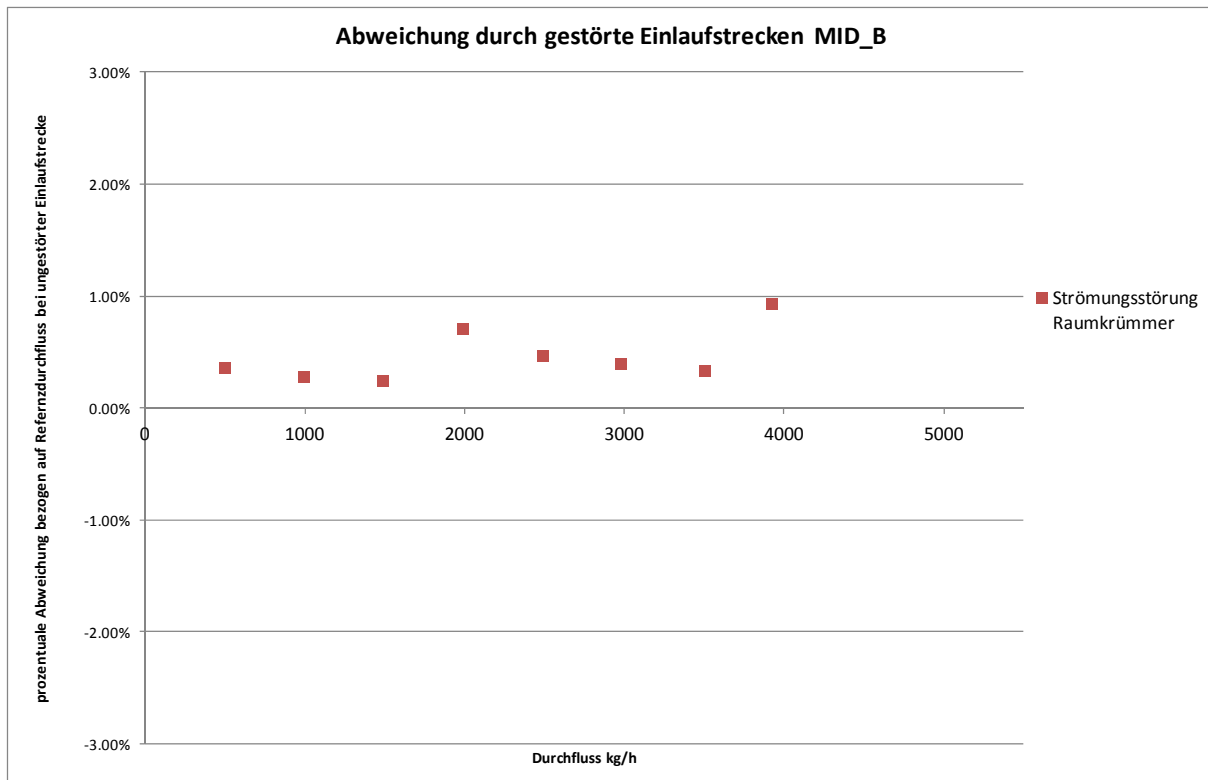


Abb. 77: Messwertabweichung des MID_B zwischen ungestörter Einlaufstrecke und einer Strecke mit einem Raumkrümmer

Das untersuchte MID_C kann als Low-Cost Gegenstück zum MID_A angesehen werden. Dimension und Messbereich sind mit DN 25 und 600 (0) – 12.000 l/h ähnlich. Allerdings verfügt es nicht über einen konfigurierbaren Messwertausgang. Die Ausgabe erfolgt als digitales Impulssignal der Wertigkeit 100 Imp/l. Die Count485-Karte im HWH Datenlogger erkennt Impulse jedoch nur bis zu einer minimalen Breite 6 ms, kürzere Impulse werden vom Logger als Prellen interpretiert und verworfen. Der maximale auflösbare Durchfluss liegt daher bei knapp 3.000 l/h und dient als Durchflussobergrenze für das zu untersuchende Low-Cost-MID. Der Anschluss des MIDs erfolgt über ein Kunststoffaußengewinde. Dabei ist besondere Vorsicht geboten, durch unsachgemäße Verschraubung kann es an dieser Stelle leicht zur Beschädigung der Gewindegänge kommen (Abb. 78).

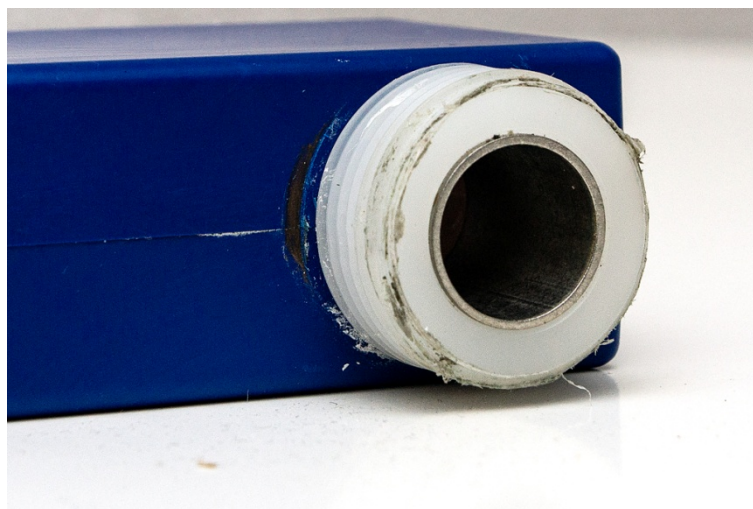


Abb. 78: Beschädigung am Kunststoffaußengewinde des Prozessanschluss

Die im Rahmen des Projektes untersuchten günstigen Messgeräte wurden neben ihrem Verhalten gegenüber gestörten Einlaufstrecken gleichzeitig auch bezüglich ihrer absoluten Abweichung zu den Referenzgeräten untersucht (Abb. 79). Die Genauigkeit des MID_C wird mit 1,0 % FullScale angegeben. Die Messergebnisse zeigen dabei eine deutlich bessere Genauigkeit zum verwendeten Master-MID und liegen ausschließlich innerhalb der vom Hersteller angegebenen Fehlergrenzen. Im Bereich unter 600 l/h gibt das Datenblatt eine Genauigkeit von 5,0 % des Messbereichsendwerts von 12.000 l/h an. Daraus folgt, dass sich im Durchflussbereich unter 600 l/h eigentlich keine Aussage zum vorliegenden Volumenstrom machen lässt. Die durchgeführten Messungen unterhalb dieses Grenzvolumenstroms lassen aber ebenfalls auf eine Funktionalität des Messgerätes schließen.

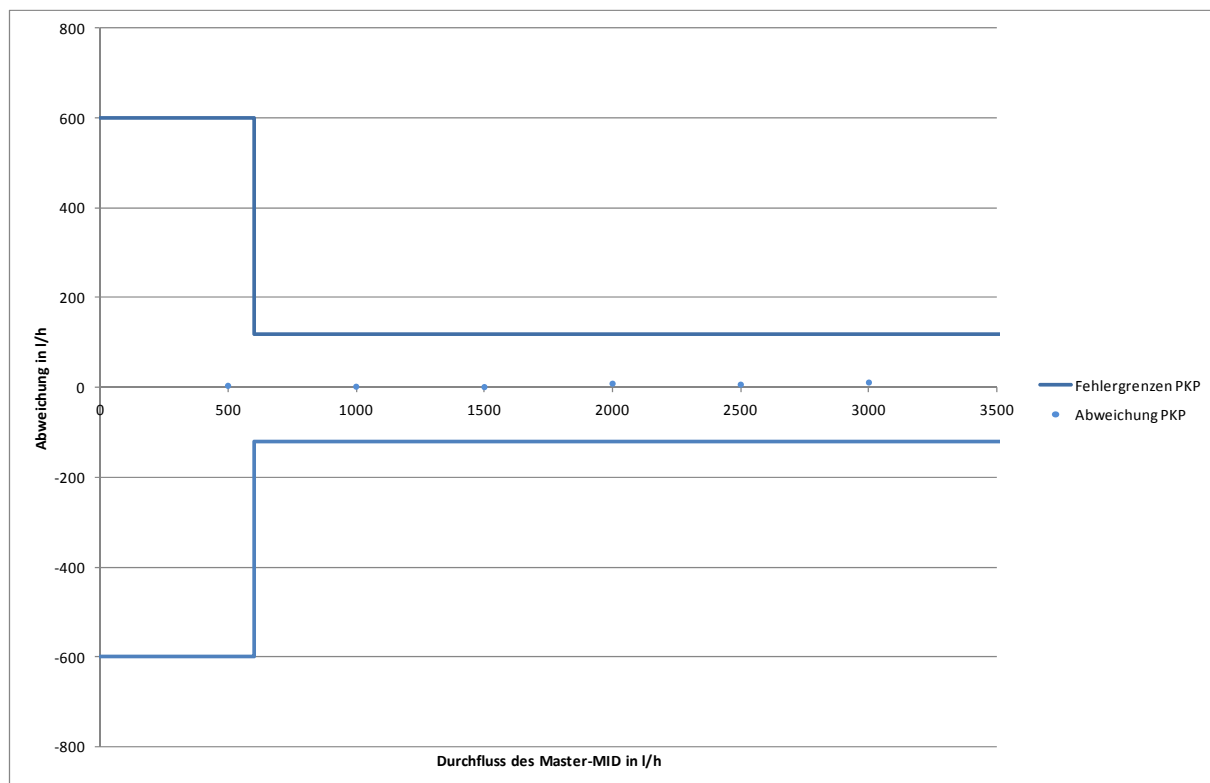


Abb. 79: Abweichung des Low-Cost-MID bezogen auf das Master-MID unter Referenzbedingungen (ungestörte Einlaufstrecke)

Die Einlaufstrecke ist vom Hersteller mit 5 x DN und die Auslaufstrecke mit 2 x DN spezifiziert. Untersucht wurden analog zum MID_A ein Raumkrümmer und ein Regelventil in der Einlaufstrecke, dabei liegt die Messwertabweichung zur Referenzmessung nur geringfügig über den Werten des MID_A (Abb. 83). Durch die kompakte Bauform dieses Messgerätes befindet sich die Strömungsstörung näher an der Messebene (siehe Abb. 71) als bei den beiden vorher betrachteten MIDs und hat daher anscheinend einen größeren Einfluss auf das Messergebnis.



Abb. 80: Referenzmessung Low-Cost-MID mit ungestörter Einlaufstrecke $> 10 \times \text{DN}$



Abb. 81: Vergleichsmessung mit einer 3D-Raumkrümmung innerhalb der Einlaufstrecke (Abstand 3 DN) im Hintergrund



Abb. 82: Vergleichsmessung mit einem Regelventil innerhalb der Einlaufstrecke (Abstand $< 3 \text{ DN}$)

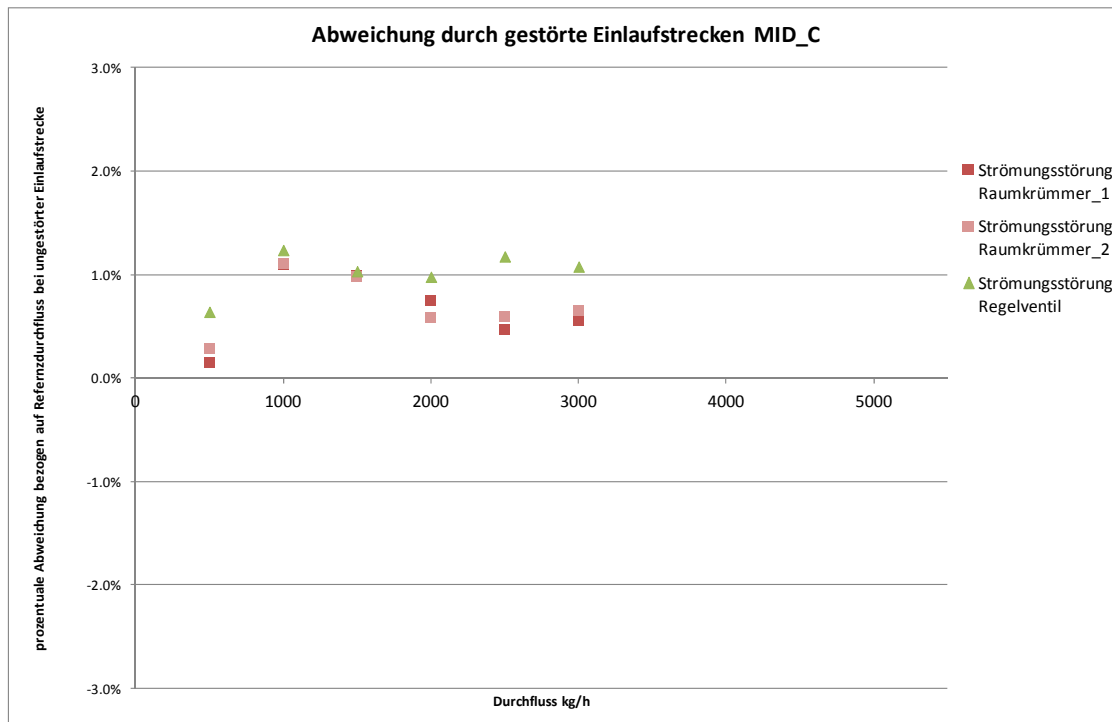


Abb. 83: Messwertabweichung zwischen ungestörter Einlaufstrecke und Strecken mit Strömungsstörungen (Regelventil, Raumkrümmer) des MID_C

Bei allen untersuchten magnetisch-induktiven Durchflussmessgeräten scheint der Einfluss von Strömungsstörungen in der Einlaufstrecke gering und sorgt lediglich bei dem wesentlich kompakterem MID_C für eine Messabweichung von knapp mehr als einem Prozent.

Klappendurchflussmesser

Beim eingesetzten Klappendurchflussmessgerät wird eine dünne Blende ausgelenkt. Mittels eines Hallsensors und eines Magnetes auf der Klappe wird die Auslenkung als Maß des Durchflusses bestimmt. Der Messbereich des verwendeten Gerätes liegt zwischen 0 – 4.800 l/h und wird per analogem 4-20 mA Signal zum Datenlogger übertragen. Die Messgenauigkeit ist mit drei Prozent vom Messwert angegeben ab einem Durchfluss von 0,25 l/min. Im unteren Messbereich konnten die Messwerte diese Aussage bestätigen. Im oberen Messbereich erreichen die Werte allerdings die Fehlergrenze und überschreiten diese sogar geringfügig (Abb. 84).

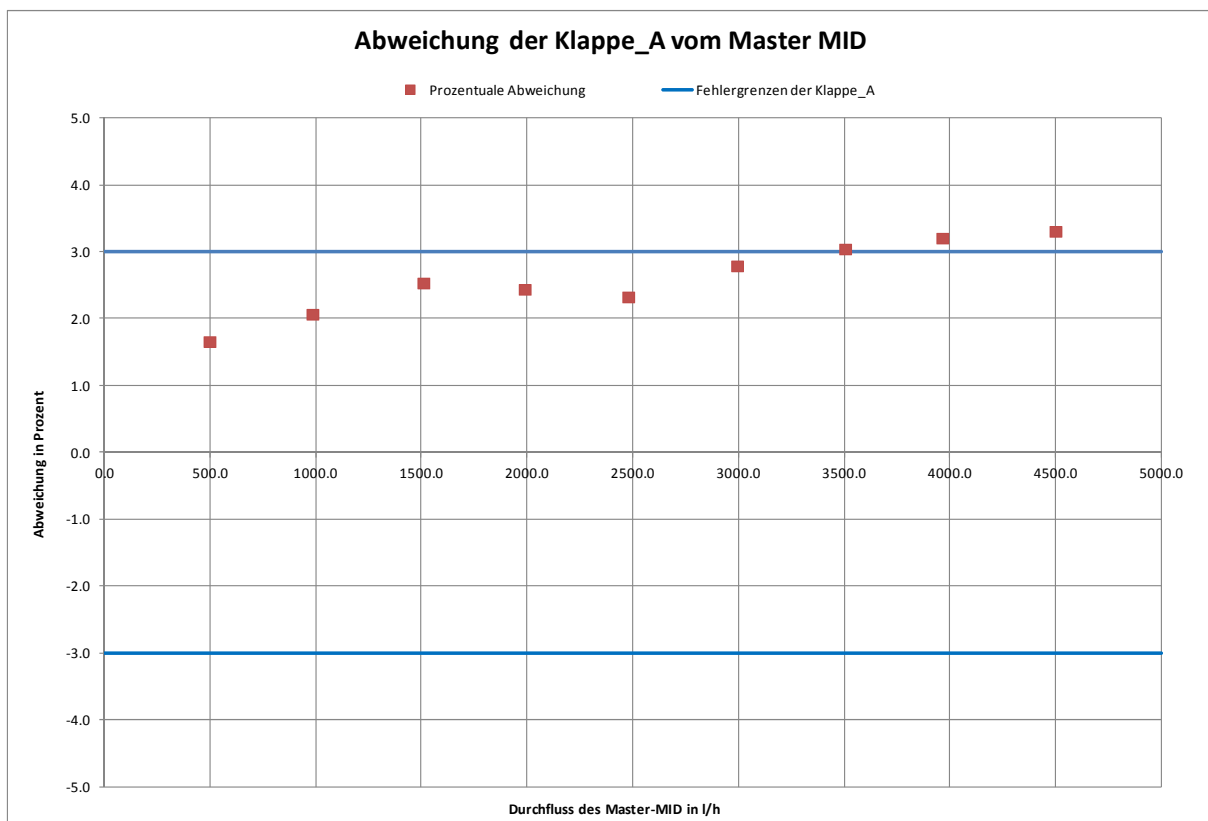


Abb. 84: Abweichung der Klappe bezogen auf das Master-MID unter Referenzbedingungen (ungestörte Einlaufstrecke)

Die knappe Bedienungsanleitung des Herstellers macht keine Aussage zu möglichen geforderten Einlaufstrecken. Allerdings scheint eine Strömungsstörung in unmittelbarer Nähe des Messgerätes den Messvorgang zu beeinflussen. Die ermittelten Abweichungen zur Referenzmessung sind mit Werten zwischen ein und zwei Prozent jedoch relativ gering.



Abb. 85: Referenzmessung Klappendurchflussmessers mit ungestörter Einlaufstrecke > 10 x DN



Abb. 86: Vergleichsmessung mit einer 3D-Raumkrümmung innerhalb der Einlaufstrecke (Abstand 3 DN)

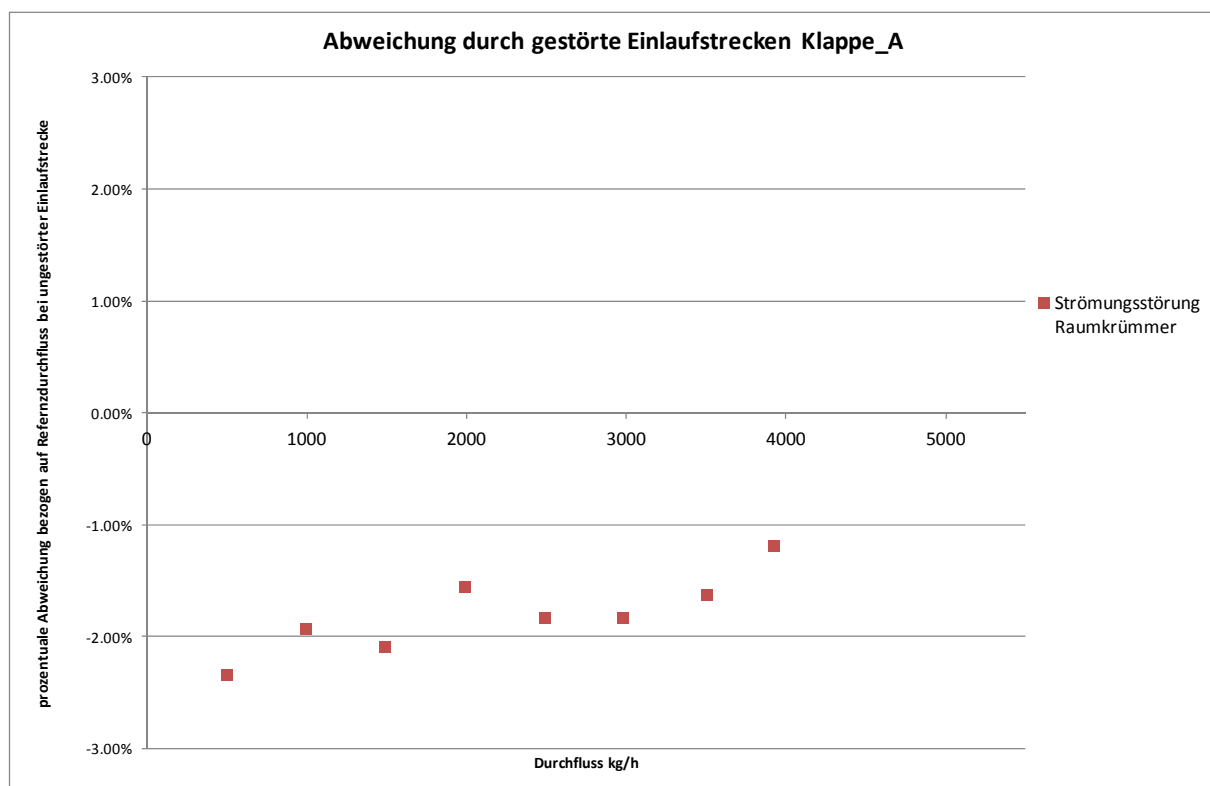


Abb. 87: Messwertabweichung des Klappendurchflussmessgerätes zwischen ungestörter Einlaufstrecke und einer Strecke mit einem Raumkrümmer

Wirbeldurchflussmesser (Vortex-Durchflussmesser):

Vortextdurchflussmesser beruhen auf dem Prinzip der Karmanschen Wirbelstraße. In das Messrohr ist ein Staukörper integriert, an dem sich periodisch gegenläufige Wirbel ablösen. Diese sorgen stromabwärts für Druckschwankungen die detektiert werden und aus denen der Durchfluss bestimmt wird. In der Literatur wird darauf hingewiesen, dass Wirbelzähler ungestörte Strömungsverhältnisse bedingen. Die verfügbaren Angaben liegen dabei je nach Strömungsstörung zwischen dem 10 und 50 fachen des Nenndurchmessers. Dabei werden besonders Raumkrümmer (40 DN) und Regelventile (50 DN) als kritisch betrachtet.

Bei den eingesetzten Vortexmessgeräten handelt es sich um kostengünstige Direct Sensoren der Firma Grundfos in den Größen 5-100 l/min und 10-200 l/min. Die Sensoren geben ein lineares Spannungssignal im Bereich zwischen 0,35 V und 3,50 V aus, welches über einen Spannungsteiler im HWH-Datenlogger erfasst wird.

Das Datenblatt der Sensoren macht keine Aussage zu eventuell geforderten Einlaufstrecken. In Gesprächen mit dem Hersteller wurde allerdings 4 DN bis zur Verschraubung als mindeste Strecke genannt. In beiden Geräten selbst sind bereits jeweils etwa 7,0 cm als Einlaufstrecke bis zum Staukörper integriert. Dies entspricht bereits zusätzlich etwa 2,7 DN im größeren Gerät VFS 10-200 (Vortex_A) und 3,5 DN im Gerät VFS 5-100 (Vortex_B).



Abb. 88: Ansicht Sensor und Messrohr Grundfos DirectSensor VFS 10-200 (Vortex_A)

Die Untersuchungen zur absoluten Messabweichung unter ungestörten Einlaufbedingungen zeigen zufriedenstellende Ergebnisse und liegen innerhalb den Fehlergrenzen des Herstellers (Abb. 89).

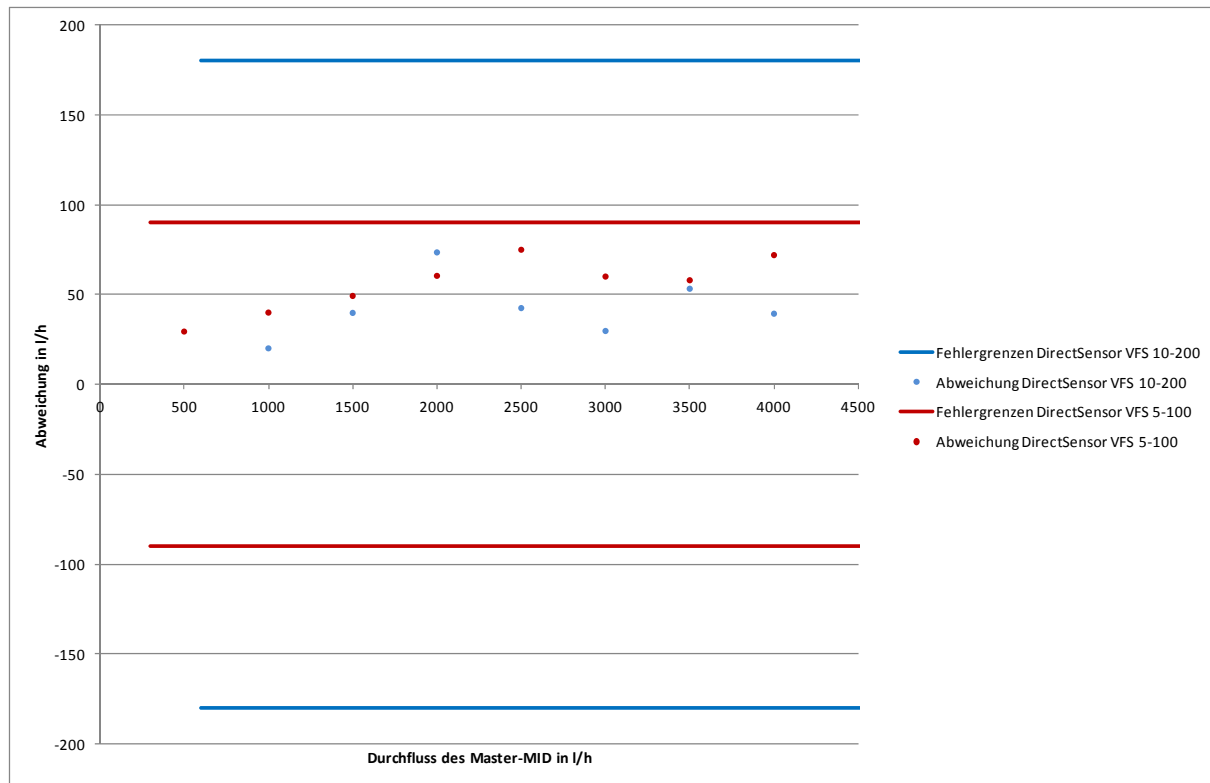


Abb. 89: Abweichung der zwei untersuchten DirectSensoren bezogen auf das Master-MID unter Referenzbedingungen (ungestörte Einlaufstrecke)

Im Bereich unterhalb des vom Hersteller angegebenen Mindestdurchflusses liefern die Vortex-Messgeräte, anders als das untersuchte Low-Cost-MID, trotz eines konstanten Durchflusses kein nutzbares Durchflusssignal (Abb. 90).

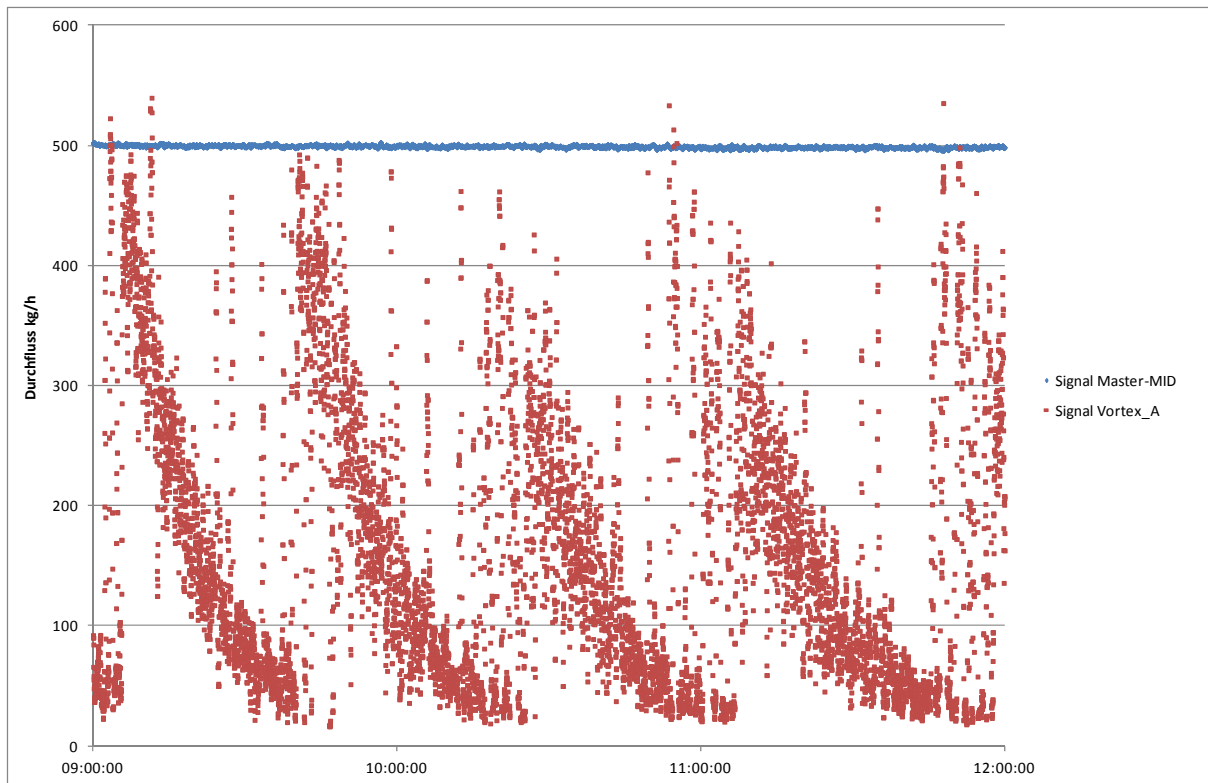


Abb. 90: Durchflusssignal des Sensors Vortex_A unterhalb des Grenzdurchflusses von 600 kg/h

Der Einfluss von gestörten Einlaufstrecken auf das Messergebnis wurde an den Strömungsstörungen untersucht, welche im Vorfeld als am kritischsten eingeschätzt wurden. Dabei zeigten beide Messgerätdimensionen einen bis zu vier Prozent geringen Durchfluss an als unter Referenzbedingungen, was auf eine deutliche Beeinflussung durch gestörte Strömungsverhältnisse schließen lässt (Abb. 94, Abb. 97).

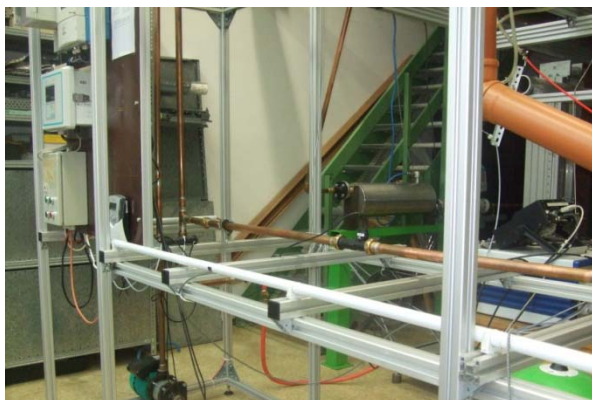


Abb. 91: Referenzmessung DirektSensor VFS 10-200 mit ungestörter Einlaufstrecke > 10 x DN



Abb. 92: Vergleichsmessung mit einer 3D-Raumkrümmung innerhalb der Einlaufstrecke (Abstand 3 DN)



**Abb. 93: Vergleichsmessung mit einem Regelventil
innerhalb der Einlaufstrecke (Abstand 3 DN)**

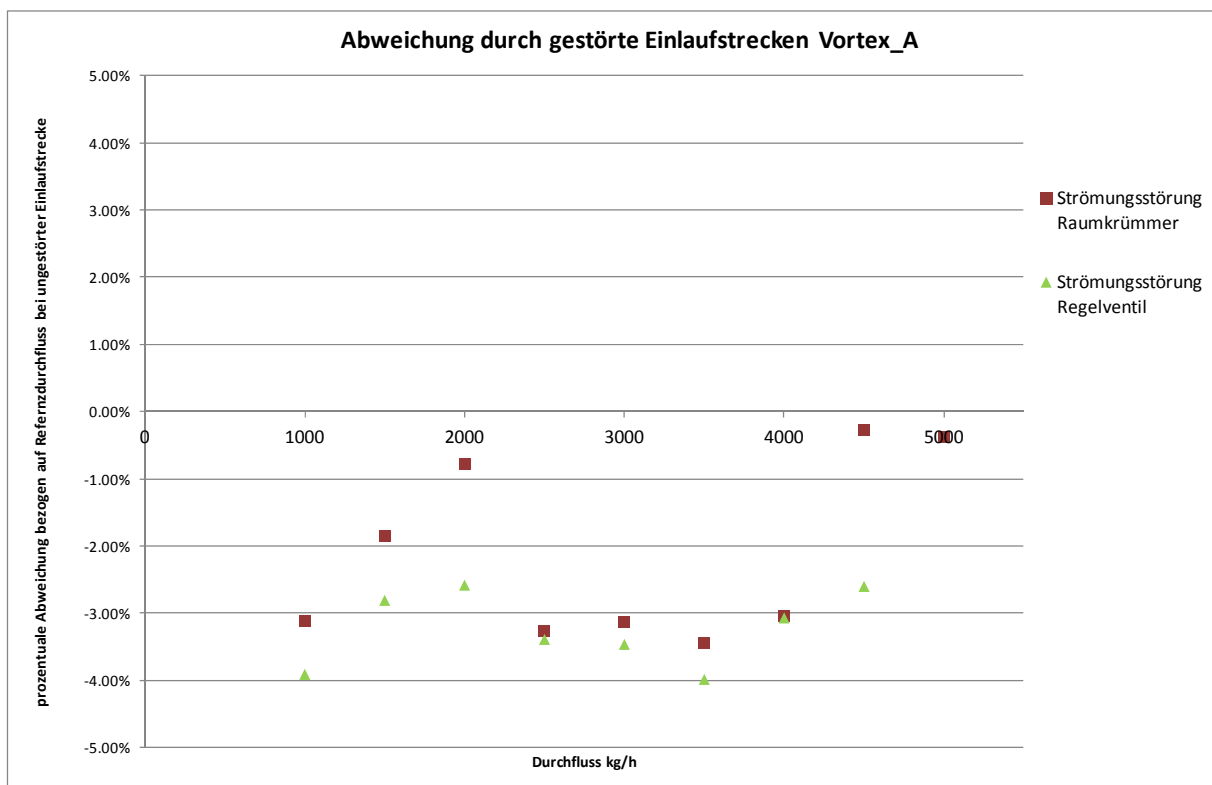


Abb. 94: Messwertabweichung des Sensors Vortex_A zwischen ungestörter Einlaufstrecke und einer Strecke mit einem Raumkrümmer bzw. einem Regelventil



Abb. 95: Referenzmessung DirektSensor VFS 5-100 mit ungestörter Einlaufstrecke > 10 x DN



Abb. 96: Vergleichsmessung mit einer 3D-Raumkrümmung innerhalb der Einlaufstrecke (Abstand 3 DN)

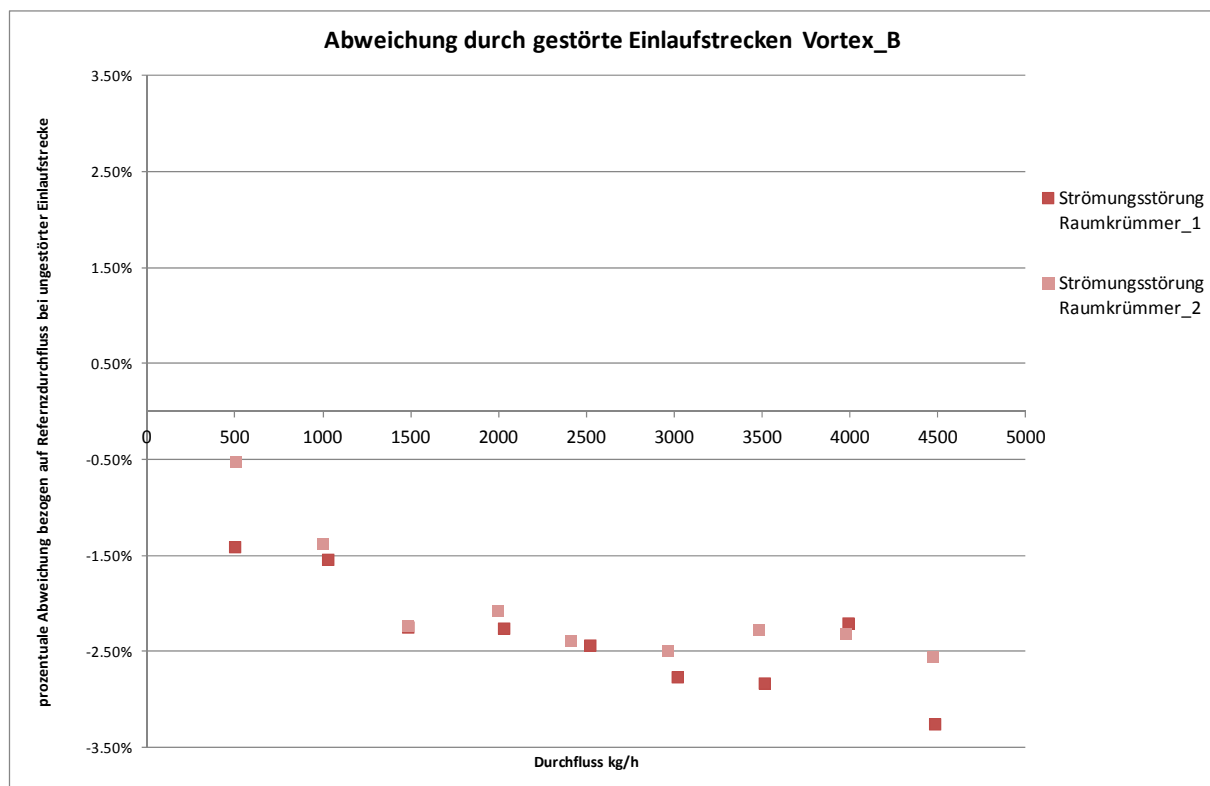


Abb. 97: Messwertabweichung des Sensors Vortex_B zwischen ungestörter Einlaufstrecke und einer Strecke mit einem Raumkrümmer (Messbereich zweimal durchlaufen)

Ultraschalldurchflussmesser (ClampOn-Ausführung)

Grundlegender Vorteil dieser Sensoren ist eine Durchflussmessung ohne Eingriff in ein bestehendes Rohrleitungssystem, so dass ein Ein- bzw. Umsetzen der Sensoren ohne größeren Aufwand erfolgen kann. Allerdings führte selbst lediglich ein Umsetzen der Transducer unter ansonsten identischen Randbedingungen bei den Untersuchungen bereits zu einem geringfügig veränderten Messergebnis. Aus den Montageschienen für die Transducer resultiert bei beiden untersuchten Messgeräten bereits automatisch eine Einlaufstrecke bis zur Messebene. Die Montageschiene beider Messgeräte bedingt ein gerades Rohrstück von etwa 20 DN bei

den gewählten Rohrdimensionen des Prüfstandes. Durch Versatz der Sensoren von der eigentlich vorgesehenen Position an das entferntere Ende der Schiene, kann somit in einem begrenzten Rahmen zusätzliche Einlaufstrecke generiert werden (Abb. 98). Für die nachfolgenden Versuche wurden die Transducer allerdings an Positionen nach Herstellerangabe belassen.

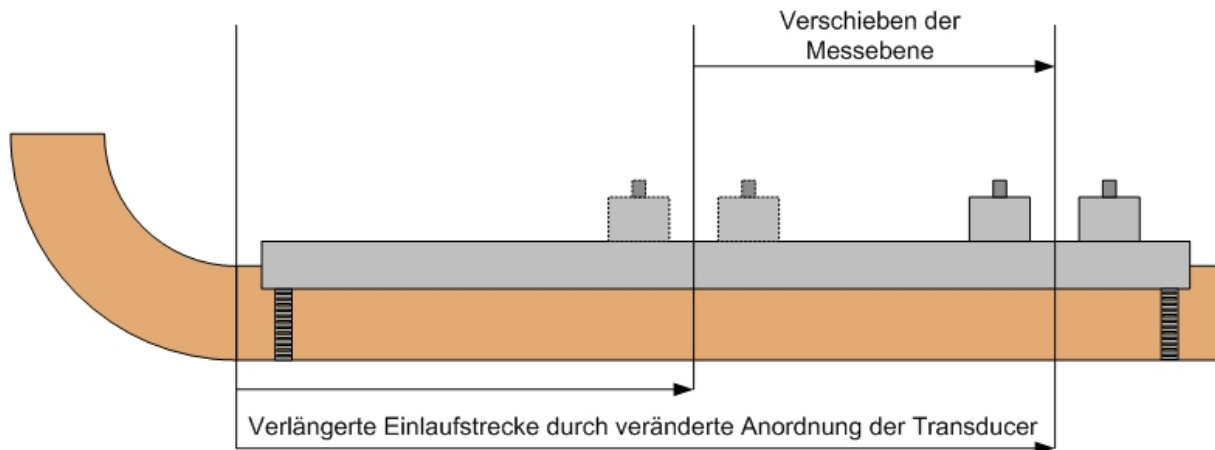


Abb. 98: möglicher Gewinn zusätzliche Einlaufstrecke durch Verändern der Sensorposition

Da mit den ClampOn-Ultraschallsensor_A teilweise selbst unter idealen Einbaubedingungen keine zufriedenstellenden Messergebnisse erzielt werden konnten, wurden diese aus der Messstrecke entfernt und an einer anderen, ebenfalls geeigneten Positionen im Rohrleitungssystem parallel weiter untersucht. Trotz zeitintensiver Fehlersuche konnten beim Ultraschallsensor A kein grundlegend befriedigendes Messergebnis erzielt werden. Der durch den Hersteller zur Verfügung gestellte Austauschsensor zeigte ein etwas besseres Messverhalten, konnte jedoch bezüglich der Messgenauigkeit die Erwartungen ebenfalls nicht erfüllen. Auffällig sind besonders die Streuung der einzelnen Messwerte und das Langzeitverhalten vom Messgerät Ultraschall_A (Abb. 99). Eine Untersuchung analog der anderen Messgeräte war nicht möglich.

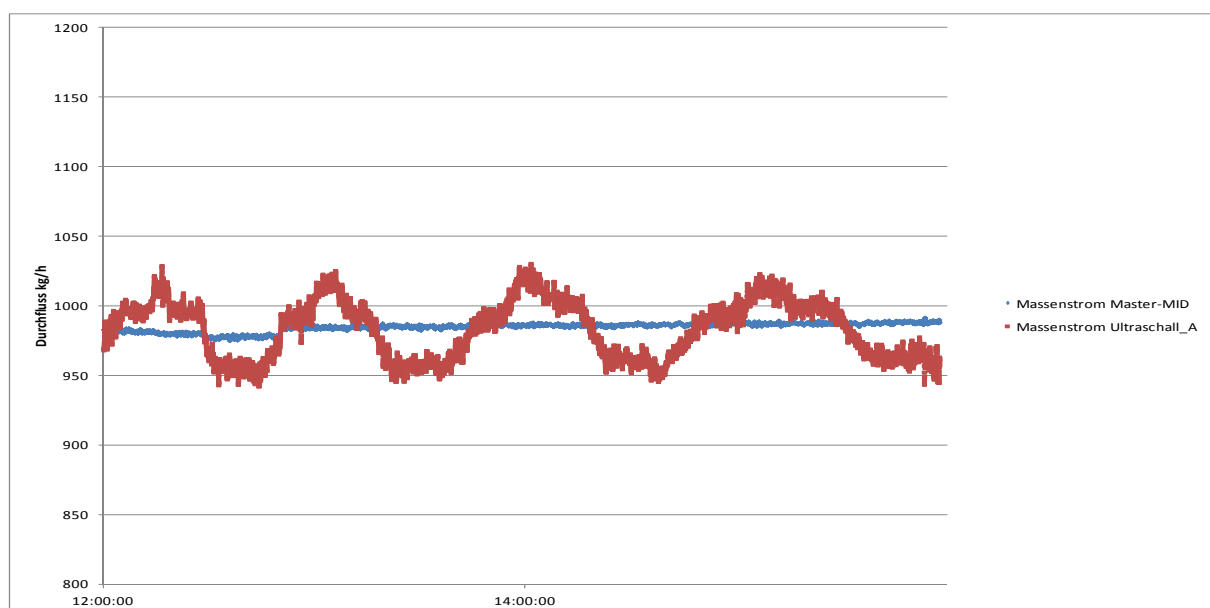


Abb. 99: Langzeitverhalten des Sensors Ultraschall_A

Bei einer längeren Mittelung der Messwerte entspricht der Mittelwert etwa dem des Mastergerätes. Da aber als ein Haupteinsatzzweck von ClampOn-Sensoren eine kurzzeitige Messung bzw. Überprüfung von Durchflüssen betrachtet wird, ist dieses Verhalten als kritisch einzuschätzen.

Die Bedienungsanleitung des Ultraschallgerätes B fordert den 15 fachen bzw. 40 fachen Nenndurchmesser als Einlaufstrecke für einen 90°-Bogen bzw. ein Regelventil als untersuchte Strömungsstörungen. Können diese Randbedingungen nicht eingehalten werden, führt dies mit bis zu fünf Prozent Differenz zur Referenzmessung zu einer deutlichen Abweichung (Abb. 103).

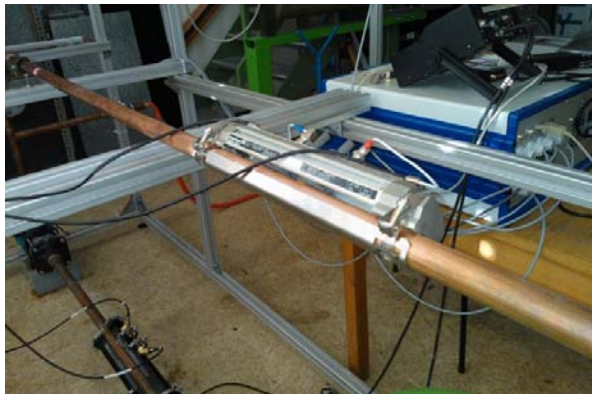


Abb. 100: Referenzmessung DirektSensor VFS 5-100 mit ungestörter Einlaufstrecke > 10 x DN



Abb. 101: Vergleichsmessung mit einer 3D-Raumkrümmung innerhalb der Einlaufstrecke

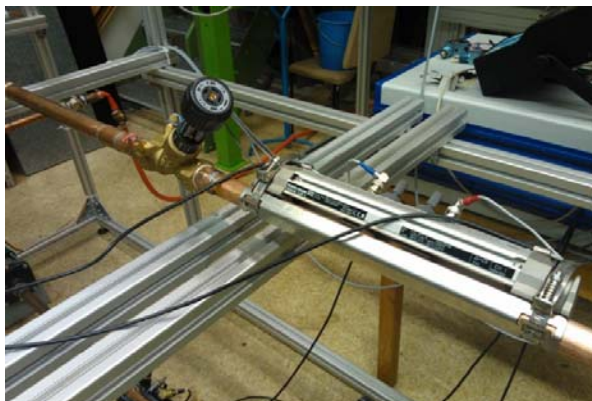


Abb. 102: Vergleichsmessung mit einem Regelventil innerhalb der Einlaufstrecke

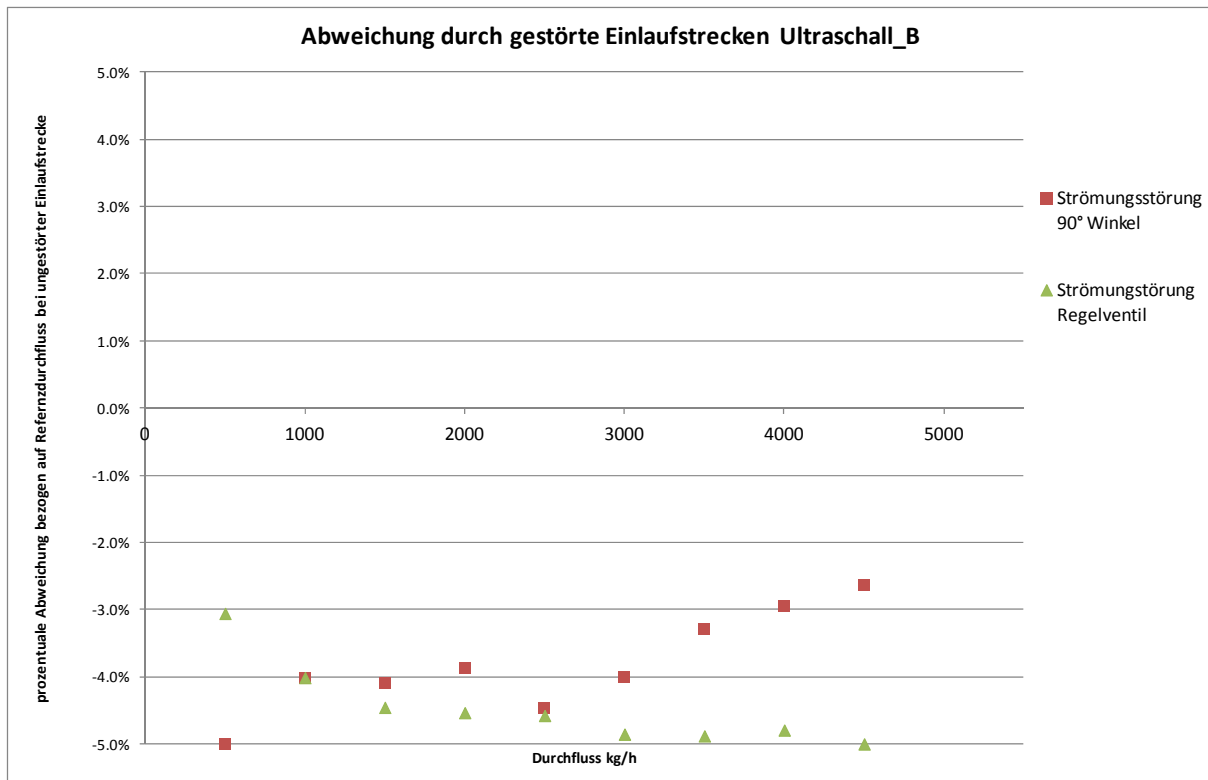


Abb. 103: Messwertabweichung des Sensors Ultraschall_B zwischen ungestörter Einlaufstrecke und einer Strecke mit einem 90°-Winkel bzw. einem Regelventil

Coriolismassendurchflussmesser

Entgegen den anderen untersuchten Messverfahren wird bei der Durchflussmessung mit einem Coriolismassenmesser direkt der Massenfluss bestimmt. Für eine energetische Bilanzierung, muss daher keine Umrechnung des Volumenstromes über die temperaturabhängige Dichte vorgenommen werden. Die Messgenauigkeit von Coriolismassendurchflussmessern wird als unabhängig vom Strömungsprofil mit Werten im Bereich deutlich unter einem halben Prozent angegeben. Forderungen nach einer Einlaufstrecke bestehen daher in der Regel nicht. Die in den Vergleichsmessungen ermittelten Abweichungen zur Referenzmessung sind mit Werten kleiner einem halben Prozent sehr gering. Dies bestätigt, dass offensichtlich kaum eine Beeinflussung durch die nichtideale Einlaufstrecke besteht.



Abb. 104: Referenzmessung Coriolismassendurchflussmessers mit ungestörter Einlaufstrecke > 10 x DN

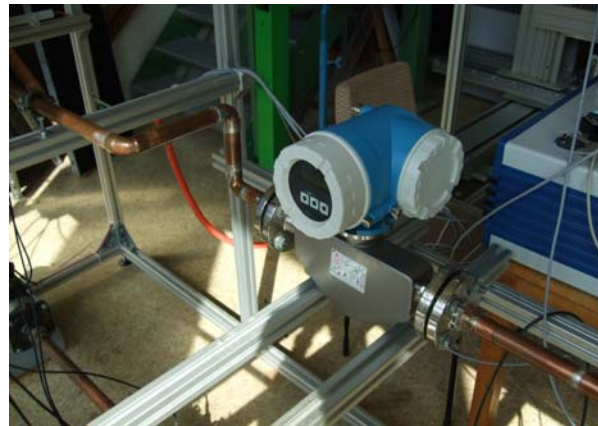


Abb. 105: Vergleichsmessung mit einer 3D-Raumkrümmung innerhalb der Einlaufstrecke (Abstand 3 DN)

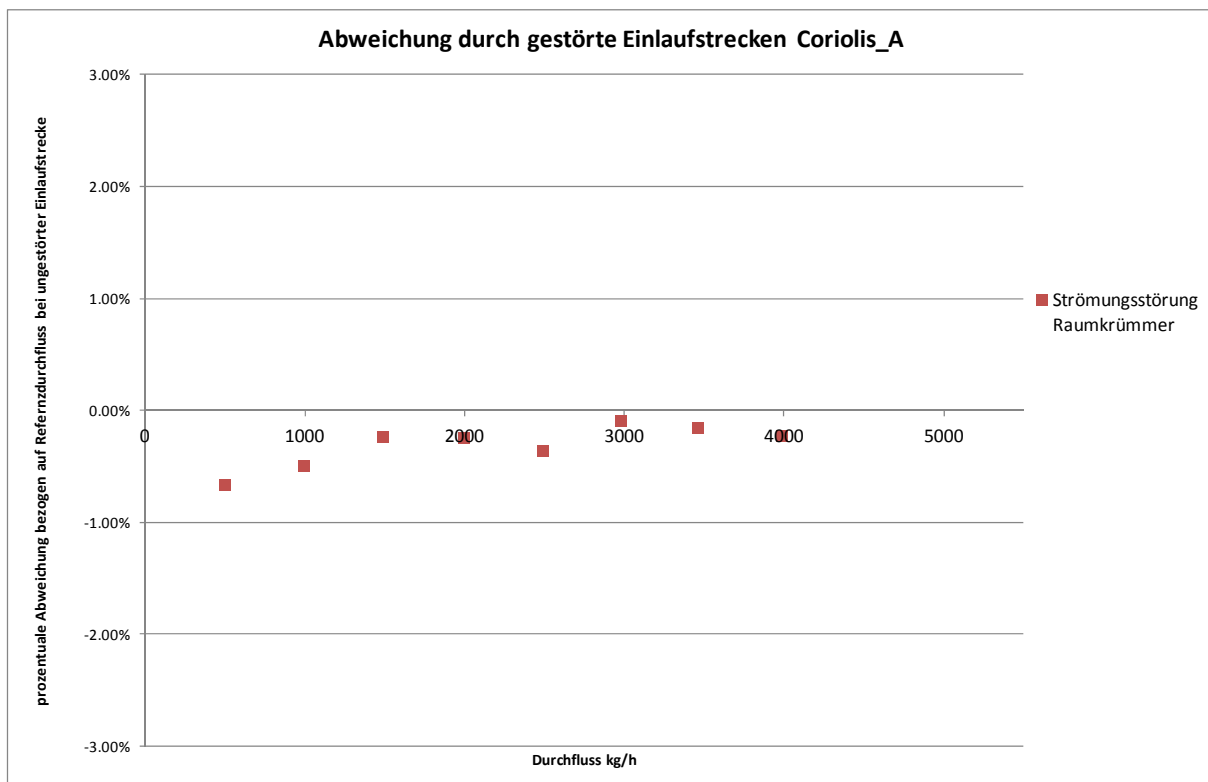


Abb. 106: Messwertabweichung des Sensors Coriolis_A zwischen ungestörter Einlaufstrecke und einer Strecke mit einem δ -Raumkrümmer

Fazit

Sowohl die Sensoren im hochpreisigen Segment als auch die Low-Cost-Sensoren bestätigten während der Tests die Herstellerangaben zu ihren Fehlergrenzen unter Referenzbedingungen. Die untersuchte Low-Cost-Messtechnik kann daher in Standardanlagen durchaus als preisgünstige Alternative zur Ertragsbilanzierung zu den wesentlich teureren Geräten angesehen werden. In Pilotanlagen mit Forschungscharakter sollte allerdings auf teurere Messgeräte zurückgegriffen werden, da diese wesentlich mehr Einstellmöglichkeiten bieten um sie an die konkrete Messaufgabe anzupassen. Als besonders durch verkürzte Einlaufstrecken beeinflusst stellten sich wie bereits im Vorfeld erwartet, Mess-

geräte heraus, welche ein ausgeprägtes Strömungsprofil bedingen. Besonders zu erwähnen sind an dieser Stelle Sensoren nach dem Vortex- und dem Ultraschallprinzip mit ermittelten Abweichungen von bis zu fünf Prozent. Die Abweichungen der anderen untersuchten Messverfahren (MID, Klappe, Coriolis) liegen zwischen Referenz- und Vergleichsmessung im Bereich unter zwei Prozent (bei Coriolis sogar unter 0,5 Prozent).

5.3.2 Temperaturmessung

Technische Vorgaben aus Solarthermie2000

Als einheitliche Vorgabe für Temperatursensoren waren Pt100-Fühler im Schutzrohr aus Edelstahl (Durchmesser 6 mm) mit DIN-Anschlusskopf ausgewählt. Diese waren als gepaarte Exemplare mit maximaler Ungenauigkeit bezüglich der Temperaturdifferenz von 0,05 K im Bereich von 0°...100°C einzusetzen.

Dahinter stand die Philosophie: Hauptgegenstand der Anlagenbewertung sind energetische Bilanzen an den umgewälzten Wärmeträgerströmen. Bei Temperaturdifferenzen von z.B. 5 K stellt eine Messabweichung von 1 K (wie sie in Industriefühlern z.T. toleriert wird) ein Fehlerpotenzial von 20% dar, wobei der Mengenmessfehler noch unbeachtet ist. Selbst bei Unsicherheit von 0,2 K bleiben noch 4% Fehleranteil allein aus der Temperaturmessung.

Da die Mehrzahl dieser Bilanzen auf einem Produkt aus einem sehr großen Mengenstrom und einer relativ geringen Temperaturdifferenz basieren, führt schon ein kleiner absoluter Fehler der Temperaturdifferenzmessung zu großen Abweichungen bei den Absolutwerten der zu bilanzierenden Energiemengen (z.B. solarer Ertrag).

Diese hoch angesetzten Forderungen schlugen sich in hohen Beschaffungskosten nieder. Ende der 90er Jahre lag ein derartiger Einzelfühler bei ca. 80...110 DM (alle Preise netto). Gegenwärtig muss man von 50...70 € ausgehen. Dabei sind jeweils die noch benötigte Tauchhülse und auch die Anschlussleitung nicht im Preis enthalten. Auch hier ist eine Preisentwicklung nach oben zu verzeichnen, da bei den beiden Posten hauptsächlich die Materialkosten durchschlagen.

Für ausgewählte Objekte in einem Forschungs- und Demonstrationsprogramm sind derartige Kosten vertretbar.

Der Wunsch nach massenhafter Ausstattung thermischer Solaranlagen mit Monitoring-Technik wäre unter diesen Randbedingungen wirtschaftlich nicht durchsetzbar.

Alternative Konzepte

Am hergebrachten **Pt100** gibt es noch ein gewisses Einsparpotenzial ohne auf Genauigkeit verzichten zu müssen:

Bsp.: fertig konfektioniert mit VA-Schutzrohr (Ø kleiner als 6 mm) und Einschraubgewinde (kleiner als 1/2"), mit Längen von 40...60 mm und fertiger Anschlussleitung in vorgegebenen Längenschritten. Nach Aussagen der Hersteller könnten die Materialeinsparungen bei Zusagen für Massenproduktion zu einer gewissen aber keiner drastischen Kostensenkung führen. Der Verzicht auf die Tauchhülse und der Direkteinbau des Fühlers wirken sich sowohl kostensenkend als auch genauigkeitssteigernd aus. Es entsteht

das Komfortproblem der erforderlichen Systementleerung (oder Teilentleerung) bei Fühlertausch.

Pt1000-Fühler sind auch in den geforderten Genauigkeitsklassen wie oben angesprochen verfügbar (1/3 DIN, neuerdings AA). Bei selektiver Auswahl und Fühlern auf Zirkoniumoxidbasis ließe sich somit sogar die Forderung nach der maximalen Abweichung von 0,05 K bei Differenzmessung darstellen. Beim Fühler allein, ohne Hülse und Kabel, käme man auf Preise von ca. 5 € (bei Stückzahlen > 1000).

Eine weitere Kosteneinsparung bietet die Pt1000-Anwendung durch den möglichen Verzicht auf Vierleiterschaltung. Beim Pt100-Fühler wird der Einfluss des (sich zusätzlich noch temperaturabhängig ändernden) Anschlussleitungswiderstandes durch den vierpoligen Sensoranschluss ausgeschlossen. Zwei Anschlüsse dienen der Messstromversorgung, an den beiden anderen Anschlüssen wird der Spannungsabfall direkt am Fühler abgegriffen. Damit müssen für jeden Pt100-Fühler an der Messwerterfassungseinheit 4 Klemmstellen vorgehalten werden. Das entspricht in der üblichen Zählweise 2 Datenpunkten. Die Anzahl der Datenpunkte ist ein Kostenfaktor in allen Messwerterfassungssystemen. Die Kosten für die Anzahl verfügbarer Datenpunkte im Erfassungssystem bewegt sich vom niedrigen zweistelligen Eurobereich bis hin zu ca. 200 € bei hochwertigen Datenerfassungssystemen. Da beim Pt1000-Fühler das Verhältnis vom Anschlussleitungswiderstand zum Messwiderstand um ein Vielfaches geringer ist als beim Pt100, kann hier auf den dritten und vierten Leiter verzichtet werden. Somit benötigt ein Messsystem auf Basis von Pt1000-Fühlern bei gleicher Messstellenanzahl nur halb soviel Datenpunkte, wie ein Pt100-System.

Ein interessantes Beispiel ist aus Italien bekannt geworden. Dort konnten auf Basis der Solarförderung große Sensorzahlen abgesetzt werden. Es kamen Pt1000-Sensoren auf Aluminiumoxidbasis, konfiguriert als Kabelfühler zum Einsatz. Die Auswahl von gepaarten Fühlern erfolgt im konfektionierten Zustand. Hierbei sind Stückpreise von 1,20 € pro Fühler angegeben worden. In dieser Kostensituation ist die verpflichtende Ausstattung von Solaranlagen mit Überwachungssensoren problemlos durchsetzbar.

Thermoelemente

Für Temperaturdifferenzmessungen können mit Thermoelementen gleich genaue Messungen durchgeführt werden wie mit gepaarten PT100-Fühlern. Theoretisch ist bei der Differenzmessung der Fehler sogar Null. Technisch ergibt sich das Problem der Messung von sehr kleinen Spannungen in der Messwerterfassungseinheit. Schon bei der großen Temperaturdifferenz von 10K wäre die dabei aufzulösende Spannung ca. 0,3mV. Es machen sich Spannungsverstärkungen erforderlich, die wieder zu Fehlern in der Auswertetechnik führen. Der erfolgreiche Einsatz von Thermoelementen hängt somit stark von der Verfügbarkeit preiswerter AD-Wandlertechnik für den Mikrospannungsbereich ab. Bei Absolutmessungen im interessierenden Temperaturbereich empfehlen sich die Cu-CuNi-Thermoelemente, als die mit der kleinsten Grundwertabweichung. Allerdings bieten die befragten Firmen nur Informationen zu NiCr-Ni-Thermoelementen, der am häufigsten genutzten Thermopaarung an.

Für fertig konfektionierte Fühler mit 6mm-Einschraubhülse und 5m PVC-Anschlussleitung können bei Abnahme größerer Stückzahlen ca. 30 € angesetzt werden. Damit sind die Kalkulationen für gute Pt1000-Fühler nicht zu unterbieten.

NTC-Fühler

Von den Autoren wurden große Erwartungen in die Weiterentwicklung der sogenannten Heißleiter-Widerstandsfühler gesetzt, da bei den industriellen Fühlern dort ein hoher Preisverfall zu verzeichnen ist. Es waren von keinem abgefragten Anbieter am deutschen Markt Informationen zu Verfügbarkeit, Genauigkeit und dazugehörige Kosteneinstufungen in Erfahrung zu bringen.

Informationen von: THERMOCOAX GmbH, Temperaturmeßtechnik Geraberg GmbH, RÖSSEL-Messtechnik GmbH

5.3.3 Sonstige

Einstrahlungsmessung

Die im Monitoring-Programm Solarthermie2000 eingesetzten Pyranometer CM11 von Kipp&Zonen liegen nach wie vor in einem Preissegment, welches für die Massenausstattung von thermischen Solaranlagen nicht in Frage kommt (1999 ca. 2500 DM , aktuell ca. 1800 €).

Unabhängig davon sind deutlich preiswertere Sensoren auf dem Markt. Der preiswerte Aufbau wird erkaufte durch eine grundsätzlich größere Messunsicherheit, die sich äußert in geringerer Langzeitstabilität, unvollständiger Erfassung des Spektralbereichs der Solarstrahlung, größerer Abhängigkeit des Messsignals von der Sensortemperatur, größerer Nichtlinearität des Signals, größerem Richtungsfehler und größerer Steubreite der Grundtoleranz.

Insofern empfiehlt es sich weniger, Strahlungssensoren zum Zweck der absoluten Einstrahlungsenergiemessung vorzusehen, sondern nur tendenzielle Kontrollen zu betreiben. Das würde bedeuten, es wird über die Betriebsdauer nur der Zusammenhang zwischen dem Einstrahlungsmesssignal und der Größe des solaren Ertrags beobachtet. Treten hierbei deutliche Änderungen auf, besteht Klärungsbedarf. Bei einer derartigen Messung können die o.g. Einschränkungen der preiswerteren Einstrahlungsfühler toleriert werden.

Beispiele:

Obere Preisgrenze:

SP-Lite2 von Kipp&Zonen 300...350 €

kann angeblich mit „Erste Klasse-Geräten“ nach ISO9060–Spezifikation verglichen werden, was der nächstniedrigen Genauigkeitsgruppe nach den eingangs beschriebenen CM11 bzw. dem Nachfolger CM11P entspricht.

Untere Preisgrenze:

GBS01 von Technische Alternative 30...35 €

Es wird eine Messungenauigkeit von +/- 10% genannt oder +/- 5% zuzüglich +/-50W/m².
Bei massenhafter Ausstattung von solarthermischen Anlagen sollten die Geräte des unteren Preissegments völlig ausreichend sein.

6 Allgemeine Auswertung

Messtechnik für das Monitoring

Als zusammenfassende Schlussfolgerung aus den Monitoring-Erfahrungen und den eigenen Untersuchungen lt. Kap. 5.3 ergeben sich folgende Erkenntnisse:

Wie aus den Darstellungen zu den Einzelanlagen zu erkennen ist, besteht ein großer Anteil der wissenschaftlichen Begleitung aus der messtechnischen Beobachtung der Anlagen. Das beginnt bei der Erarbeitung des anlagenspezifischen Messtechnikkonzeptes, setzt sich fort über die Formulierung des Abschnittes Messtechnik der Gesamtausschreibung (als Zuarbeit für den Fachplaner) und führt über die Kontrolle und Erprobung der eingebauten Messtechnik zur kontinuierlichen Erfassung und Auswertung von Messdaten.

Im Teilprogramm 2 von Solarthermie2000 ergab sich die zusätzliche Besonderheit, dass für die einzusetzende Sensor- und Datenloggertechnik einheitliche Vorgaben vorhanden waren. Dies hat den Vorteil einer Rationalisierung der Messwerterfassung und –verarbeitung. Bei längerlaufenden Projekten entsteht der Nachteil, dass speziell die Datenverarbeitungshard- und –software zu schnell veraltet.

Allgemein kann festgestellt werden, dass die vorgestellten Anlagen in Solarthermie2000 im Mittel Systemkosten von ca. 80% und zusätzliche Kosten für das Monitoring von ca. 20% aufwiesen. Dies verschob sich in Solarthermie2000plus zu geringeren Messtechnikkosten bis zu ca. 10%, weil kostendämpfende Synergien genutzt wurden. Sowohl im Projekt 5.2.2 als auch im Projekt 5.2.3 wurde auf eigene Datenerfassungs- und –umwandlungstechnik verzichtet. Die zur Prozesssteuerung sowieso erforderliche Technik wurde so angepasst, dass die vorgegebenen Monitoringmesswerte zusätzlich zu den Gebäudetechnik- und Prozesssteuerungsdaten erfasst und verarbeitet wurden. Per Datenfernübertragung konnten Rohdaten übernommen und an die Belange des Monitorings angepasst werden.

Allerdings bedingt diese Vorgehensweise eine sehr gut funktionierende Abstimmung zwischen Betreiber und Monitoringbearbeiter.

Die oben genannten prozentualen Kosten für die Monitoringmesstechnik gelten für die in Solarthermie2000 und Solarthermie2000plus betrachteten Großanlagen mit verhältnismäßig hohen Gesamtkosten. Bei kleineren Anlagen werden die Kosten für eine qualitativ gleichwertige Messtechnik nicht linear mit den Gesamtkosten sinken. D.h. bei Verwendung der hochwertigen Temperatur- und Einstrahlungssensoren, der redundanten Durchflussmesstechnik und einer separaten Loggertechnik ist eine derartige Monitoringtechnik wirtschaftlich unvertretbar. Andererseits zeigen die Betriebserfahrungen, dass unkontrolliert laufende Solaranlagen zu deutlichen Mindererträgen führen.

Es sollte somit grundsätzlich unterschieden werden, ob Betriebsmesswerte zur Gewinnung wissenschaftlicher Erkenntnisse oder zur reinen Anlagenüberwachung genutzt werden sollen.

Die Untersuchungen aus Kapitel 5.3 belegen, dass im wissenschaftlichen Monitoring

- die Mengenmessung auf MID basieren sollte;
 - für eine exakte Einstrahlungsmessung keine Alternativen zu den CM11-ähnlichen Pyranometern existieren
 - gepaarte Pt100-Fühler gegebenenfalls durch gepaarte Pt1000-Fühler oder Differenzthermoelemente ersetzt werden können und
- und dass für die allgemeine Funktionskontrolle
- sehr preiswerte Alternativen für die Mengenmessung existieren (Vortexfühler)
 - PV-basierte Einstrahlungssensoren völlig ausreichend sind und
 - Es auch bei den Temperaturfühlern noch Kompromisse zwischen Genauigkeit und Kosten gibt.

Gleiche Aussagen wie für das wissenschaftliche Monitoring gelten für den Fall, dass der Betrieb einer solarthermischen Anlage mit einer einklagbaren Ertragsgarantie verbunden wird. Justiziabel belastbare Ertragsüberwachungen sind nur mit hochwertiger Messtechnik erzielbar.

Erfahrungen aus den messtechnisch gestützten Bewertungen der Solarsysteme

Eine wesentliche Aufgabe bei der wissenschaftlichen Begleitung der Anlagen war neben der Ermittlung zahlreicher Messdaten die Auswertung und Interpretation dieser. Zur Vergleichbarkeit von Messwerten und zur Verallgemeinerung wurden u.a. Kennzahlen wie der Systemnutzungsgrad ermittelt.

Um qualitative Aussagen zum Betrieb der Solaranlagen treffen zu können, werden die Systemnutzungsgrade berechnet und entweder die Werte eines Systems oder verschiedener Anlagen miteinander verglichen. Der Systemnutzungsgrad ist das Verhältnis zwischen der Energie, welche das Solarsystem dem Verbraucher liefert und dem Angebot an solarer Strahlungsenergie. Dieses Verhältnis ist über einen definierten Zeitraum (in unserem Fall möglichst immer über ein Jahr) zu erfassen. Der Systemnutzungsgrad ist sowohl vom Solarstrahlungsangebot als auch vom Energieverbrauchsprofil abhängig.

Weiterhin besteht eine Abhängigkeit des Systemnutzungsgrades vom geplanten solaren Deckungsanteil. Die Systemnutzungsgrade sinken mit steigendem solarem Deckungsanteil.

Ein Quervergleich von Systemnutzungsgraden mehrerer Systeme ist nur sinnvoll, wenn die Auslegung des Solarsystems auf gleichen Grundlagen beruhte, d.h. für den gleichen Verbrauchertyp und gleiche solare Deckungsgrade. Bei den vorgestellten Anlagen ist dies nur in Solarthermie2000 der Fall, so dass durch einen Vergleich der Systemnutzungsgrade für die Solaranlagen untereinander folgende Aussagen getroffen werden können:

Ändert sich der Systemnutzungsgrad innerhalb einer Anlage, gab es mögliche Veränderungen hinsichtlich des Verbrauches, der Funktionsweise des Systems oder des

Solarenergieangebotes. Wobei die Änderungen in Abhängigkeit des Solarenergieangebotes relativ gering sind.

Es besteht die Möglichkeit, dass sich **innerhalb einer Anlage** die einzelnen Änderungen gegenseitig aufheben, so dass sich trotz konstantem Systemnutzungsgrad Anlagenbetriebszustände geändert haben.

Ist der Systemnutzungsgrad einer Anlage gegenüber einer anderen ähnlichen Anlage höher,...

...besteht zum einen die Möglichkeit, dass das Solarsystem besser funktioniert. Bei ähnlichen Verbrauchssituationen ist hier ein Vergleich der technischen Systeme möglich.

...besteht zum anderen die Möglichkeit, dass das Solarsystem nicht im Bereich der Auslegung arbeitet. Bei einem kleineren tatsächlichen Verbrauch gegenüber dem prognostizierten ist das System größer ausgelegt worden. Es arbeitet mit einem höheren Deckungsgrad zu Lasten des Systemnutzungsgrades.

Sonstige Erfahrungen während des Monitoring

Garantierte Solarerträge (nur relevant für Solarthermie2000)

Die Vorgabe eines garantierten Energieertrages dargestellt über Wärmegestehungskosten als Auswahlkriterium für die Auftragsvergabe zur Errichtung der Solaranlage führte zu zwiespältigen Resultaten. Zum einen wurde natürlich wie gewünscht eine Motivation zur wirtschaftlichen Planung leistungsfähiger Anlagen entwickelt. Den Zuschlag für die Errichtung der Solaranlage erhält der Bieter, welcher die günstigsten solaren Nutzwärmekosten anbietet. Niedrige solare Nutzwärmekosten werden durch geringe Investitionskosten bzw. durch hohe Solarerträge erzielt. Da der Profit der Installationsfirmen in die Investitionskosten integriert ist, werden die Werte für die garantierten Solarerträge häufig höher angesetzt, um somit die solaren Nutzwärmekosten zu drücken. Die von den Installateuren garantierten Solarerträge werden, wie auch die, von den Planern entworfenen Solarsysteme durch die Projektgruppen einem Plausibilitätstest unterzogen. Somit werden Projekte, welche den Projektgruppen unsinnig erscheinen, als auch Installationsfirmen, deren Garantiewerte zu hoch angesetzt worden sind, herausgefiltert. Dennoch lässt diese Vorgehensweise Bieter zu, welche sich im oberen Akzeptanzbereich für garantierte Solarerträge bewegen, was dann bei der Darstellung der Ergebnisse dazu führt, dass die Mehrzahl der Anlagen bei der Garantieverfüllung unter den prognostizierten Werten bleibt, wenn auch noch im Toleranzbereich.

Planung

Die Fachplanung lag in der überwiegenden Zahl der Fälle in der Hand von Haustechnikplanern und keinen reinen Solarplanern (in Ausnahmefällen wie in Pirna sogar bei Schwimmbadplanern). Oft war dies darin begründet, dass Antragsteller gern auf ihre „Hausplaner“ zurückgegriffen haben. Die Firmen, welche mit der Fachplanung beauftragt waren, sollten diese weitgehend eigenständig erledigen. Dies war in den seltensten Fällen gegeben. Wegen fehlender Routine in solarer Planung mangelte es dabei am technischen Verständnis für die Funktionsweise einer Solaranlage, ohne dass dies den Beteiligten bewusst war. Außerdem wurde die Planung der Solaranlage als kleine Zugabe zur eigentlichen Haustechnikplanung gesehen.

Ein weiteres Problem entstand, wenn die Solaranlage als Teilsystem in einer umfangreichen Gebäudeleittechnik mit geregelt werden sollte (DDC). In der Informationskette von der Regellogikvorgabe des Fachplaners bis zur Umsetzung in den Regelalgorithmus durch den DDC-Programmierer ergaben sich regelmäßig Fehlerpotenziale, die im Nachgang nur sehr schwer zu lokalisieren sind. Der erfolgreiche Einsatz einer DDC wird von dem technischen Fachwissen der Programmierer zur Solartechnik bestimmt. Der Einsatz von separaten Solarreglern erwies sich während der Projektlaufzeit als die einfacher beherrschbare Vorgehensweise.

Installation und Optimierung

Innerhalb dieser Phase wurde bei einigen Anlagen nach mehreren erfolglosen Versuchen die Programmierung der Regelung erst durch die wissenschaftliche Begleitung einsatzfähig gemacht. Dies war die Voraussetzung, dass bei immer noch vorhandenem Fehlbetrieb nach tatsächlichen Installationsfehlern gesucht werden konnte. Erwähnenswert sind die Feststellungen, dass 2-Wege-Ventile verkehrt eingebaut wurden, Verschaltungen mehrerer Pufferspeicher untereinander nicht zufriedenstellend funktionierten und Beladeeinrichtungen in den solaren Pufferspeichern fehlerhaft montiert waren, grundsätzlich nicht funktionierten oder einfach fehlten. Um solche Fehler im Vorfeld zu vermeiden, würde sich eine Vorabnahme der Anlage im unbefüllten Zustand anbieten. Dies würde eine Berücksichtigung des Innenaufbaus des Pufferspeichers ermöglichen.

Weiterführung der messtechnischen Betreuung

Die bekannten Ansprechpartner der noch in Betrieb befindlichen Anlagen aus Solarthermie2000 erhielten zum Ende des Gesamtprojektes Informationsschreiben, in denen ihnen die Möglichkeit eröffnet wird, sich auch weiterhin bei messtechnischen Problemen von sachkundigen Personen beraten zu lassen.

Als Ansprechpartner sind die beiden Unterauftragnehmer dieses Projektes, das Steinbeis Innovationszentrum Energie- und Umwelttechnik Oelsnitz/Erzgeb. und das Ingenieurbüro D.E.U.T. Teuchern benannt. In beiden Einrichtungen sind Personen tätig, die maßgeblich an den Forschungsprojekten Solarthermie2000 und Solarthermie2000plus mitgewirkt haben.

Internetpräsentation

Eine wesentliche Form der öffentlichen Darstellung der Fördervorhaben und der daraus erwachsenden Ergebnisse ist die Internetpräsentation. Die Konzipierung, Einrichtung und Pflege der beiden Homepages zu den Solarthermieprogrammen war Teilaufgabe der hier abgerechneten Projekte.

Unter dem Link <http://www.solarthermie2000.de> wird über die erreichten Ergebnisse einzelner Anlagen bis hin zu umfassenden Statistiken informiert.

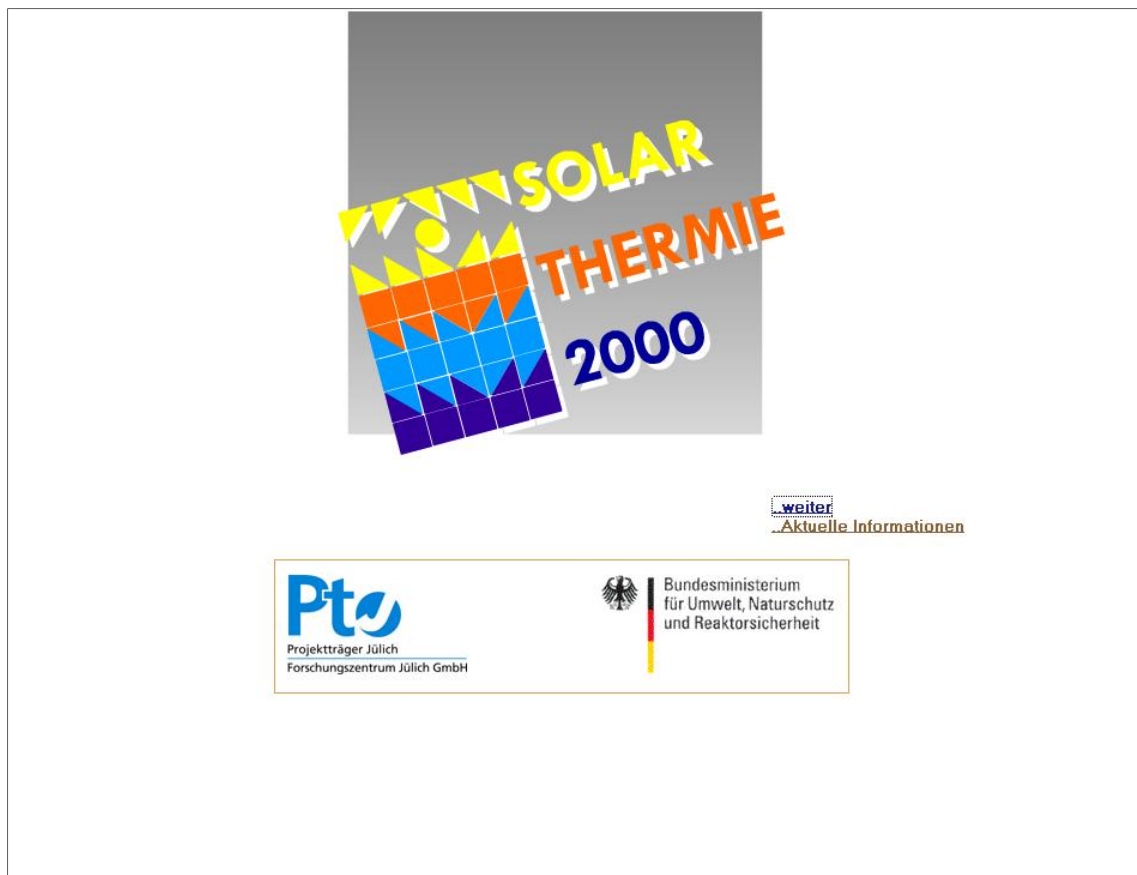


Abb. 6.5.-1: Startseite des Internetauftritts des Förderprogrammes „Solarthermie 2000“

Während auf der Startseite unter „**Aktuelle Informationen**“ der Verweis auf das Nachfolgevorhaben „Solarthermie 2000plus“ zu finden ist, gelangt man unter „...weiter“ zur Auswahl der 3 Teilprogramme. Seitens der Chemnitzer Projektgruppe wurde im Internet die Präsentation aller 3 Teilprogramme betrieben. Der fachliche Gegenstand der Projektgruppe war in das Teilprogramm 2 eingebunden.

Auf der Startseite des Teilprogrammes 2 kann am linken Bildschirmrand aus dem braun hinterlegten Auswahlmenü die gewünschte Information abgerufen werden. Es finden sich grundlegende organisatorische Informationen, die während der aktuellen Programmdauer interessant waren. Über diese Projektdauer hinaus liefern die dargestellten Ergebnisse sowohl zu Veröffentlichungen, zur Begleitforschung als auch zu den einzelnen Demonstrationsanlagen über die Projektdauer hinaus hilfreiche Informationen.

Teilprogramm 2

Solarthermische Demonstrationsanlagen für öffentliche Gebäude mit Schwerpunkt in den neuen Bundesländern - 1993 bis 2002
(keine weiteren Anträge möglich!)

Teilprogramm 2

Dieses Teilprogramm beinhaltet die Errichtung von bis zu 100 mittelgroßen Demonstrationsanlagen zur aktiven thermischen Nutzung der Sonnenenergie (mindestens 100 m² Kollektorfläche) sowie deren messtechnische Analyse und wissenschaftliche Begleitung bezüglich ihres Betriebsverhaltens und ihrer Wirtschaftlichkeit.

Besonders die in den neuen Bundesländern erfolgenden, umfangreichen Sanierungs- und Modernisierungsmaßnahmen an bestehenden öffentlichen Gebäuden erlauben es, die Integration solarer Systeme nicht nur bei Neubauten entsprechend dem neuesten Erkenntnisstand zu planen und zu realisieren.

Da Anlagen zur Warmwasserbereitung und Heizung sowie Solaranlagen und deren Installation eine typische Domäne von mittelständischen Unternehmen und des Handwerks sind, werden mit diesen anwendungsnahen Forschungsarbeiten durch die Vermittlung von Know-How auch für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) neue Märkte eröffnet und moderne, zukunftsorientierte Arbeitsplätze geschaffen.

Für die projektbegleitende wissenschaftliche Betreuung sind neben der ZfS - Rationelle Energietechnik GmbH vor allem ortsnahe Hochschulen und Fachhochschulen eingebunden. Von letzteren werden auch die begleitenden Messprogramme durchgeführt.

Projektinformationen
Geförderte Projekte
Messergebnisse
Allgemeine Ergebnisse
Begleitforschung
Programmbetreuung
Kontakt, Impressum
Projektübersicht

Pt Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Abb. 6.5.-2: Startseite des Internetauftritts des Förderprogrammes „Solarthermie 2000“ Teilprogramm 2

Der Zugriff auf den Bereich „**Messergebnisse**“ ist durch ein Passwort geschützt, welches durch Interessenten bei der Projektgruppe erfragt werden kann. Innerhalb dieses Bereiches können detaillierte Werte der Energien und Wirkungsgrade in gewünschten Zeitintervallen in einem interaktiven Dialog als Tabelle bzw. als Diagramm für jede einzelne Anlage (aus dem Betreuungsbereich der Chemnitzer Projektgruppe) abgerufen werden. Zur weiteren Ansicht ohne Verbindung zum Internet besteht die Möglichkeit unter „**Download**“ die Werte und Diagramme als PDF auf den eigenen PC herunterzuladen.

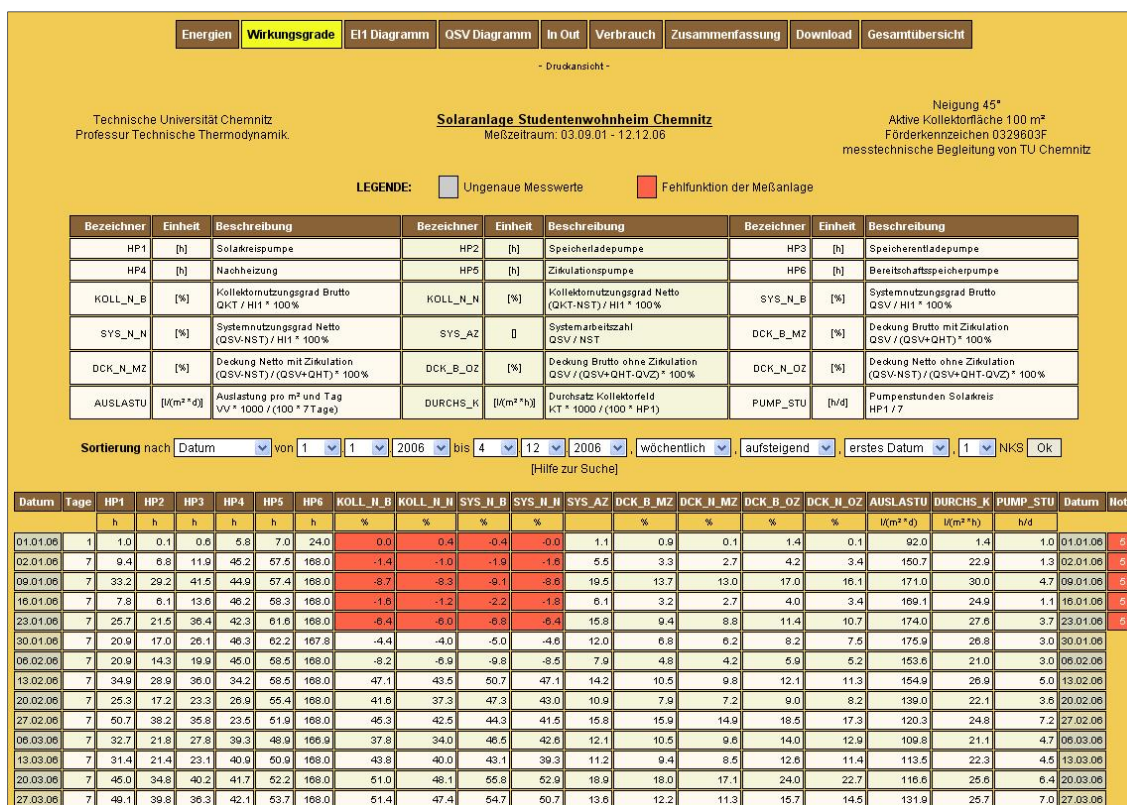


Abb. 6.5.-3: Darstellung der Messergebnisse in Form von Tabellen

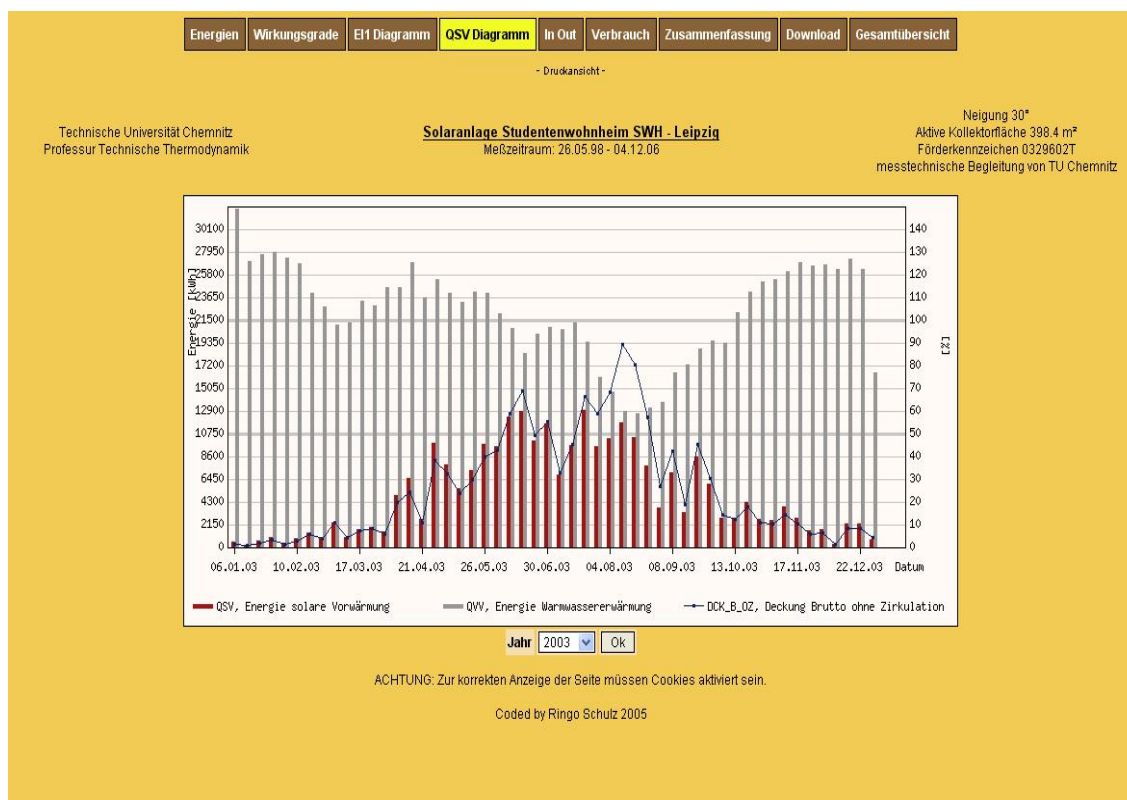


Abb. 6.5.-4: Darstellung der Messergebnisse in Form von Diagrammen

Unter <http://www.solarthermie2000plus.de> erfolgt der Zugriff auf die Präsentation des gleichnamigen Projektes. Da die Vielfalt und Unterschiedlichkeit der dort bearbeiteten Einzelprojekte deutlich größer als bei der Solarthermie2000 ist, unterscheidet sich auch die Art der Präsentation. Je nach Zuarbeit der jeweils verantwortlichen Projektbearbeiter ist es möglich, mehr oder weniger zeitnah und mehr oder weniger umfangreich zu berichten.



Abb. 6.5.-5: Startseite des Internetauftritts des Förderprogrammes „Solarthermie 2000plus“

Grundsätzlich wird hier in die beiden Kategorien „Forschungsprojekte“ und „Pilot- bzw. Demonstrationsanlagen“ unterschieden.

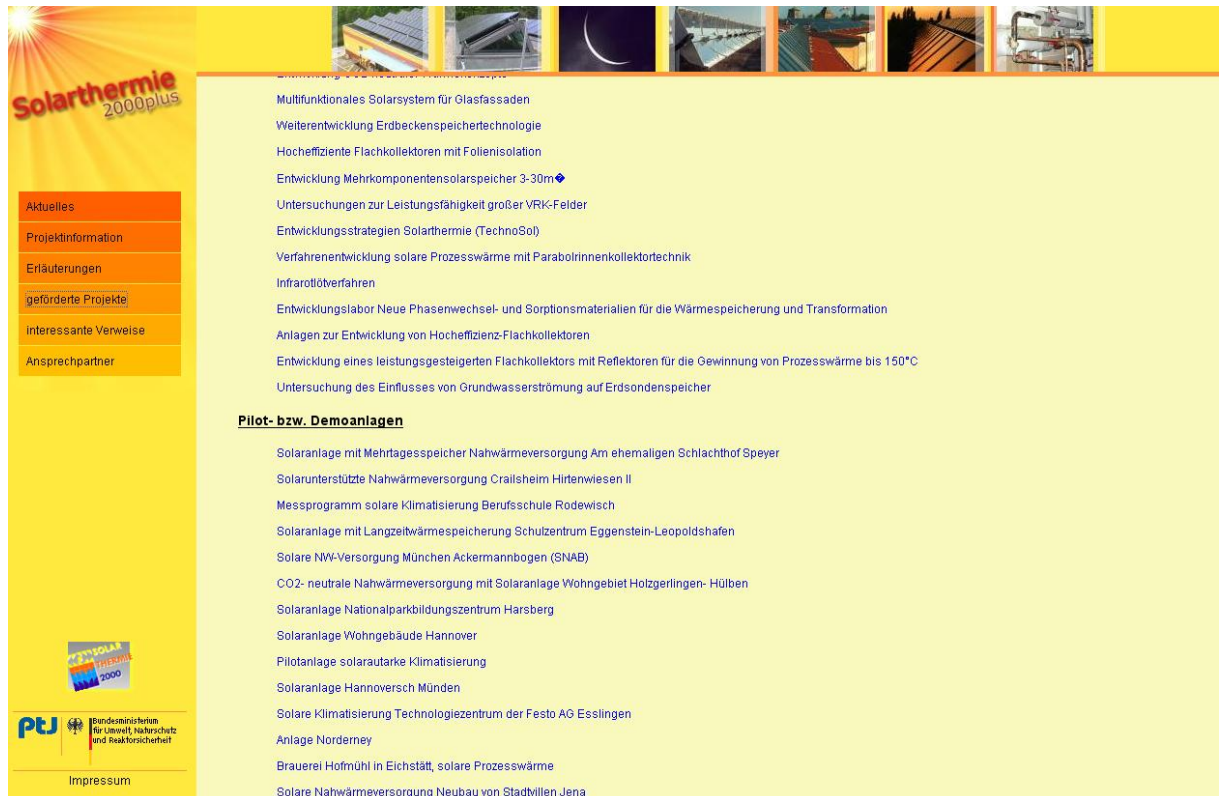


Abb. 6.5.-1: Aufzählung der im Programm „Solarthermie 2000plus“ geförderten Objekte

Die Pflege der beiden o.g. Homepages kann nach Abschluss des Projektes nicht weiter betrieben werden. Es wird versucht, die Präsentationen selbst noch über einen akzeptablen Zeitraum hinweg zu erhalten.

Zum Zeitpunkt der Erarbeitung dieses Berichtes war garantiert, dass die beiden Internetpräsentationen noch bis Ende 2013 verfügbar sind.

Fazit

zu Solarthermie2000, Teilprogramm 2

Aus den Erfahrungen der wissenschaftlichen Begleitung können folgende verallgemeinerungsfähigen Erkenntnisse abgeleitet werden:

- Große solarthermische Anlagen zur Brauchwasservorwärmung sind in guter Qualität und mit den erwarteten Energieerträgen realisierbar. Als ein sehr gut funktionierendes Anlagenkonzept hat sich die typische Vorwärmanlage, wie sie auch in der VDI 6002 oder in der Internetpräsentation <http://www.solarthermie2000.de> TP 2 unter „allgemeine Ergebnisse“ empfohlen wird, erwiesen.
- Solarthermische Großanlagen bedürfen der Planung durch auf diesem Gebiet spezialisierte Fachplaner. Viele potenzielle Betreiber beharren auf der Ansicht, dass ihr „Hausplaner“ derartiges nebenbei beherrscht.
- Das bestmögliche Zusammenwirken von Solartechnik und zugehöriger konventioneller Haustechnik muss in den meisten Fällen in einer Erprobungsphase der Anlage aufeinander eingestellt werden.
- Grundsätzlich ist es zu empfehlen, bei großen Solaranlagen eine doppelte Abnahme vorzusehen. Die erste Abnahme dient der Überprüfung von im Betrieb später nicht mehr sichtbarer Anlagentechnik (Innenleben von Pufferspeichern, mit Wärmedämmung umbaute Armaturen). Die zweite Abnahme sollte erst der Funktionalität dienen.
- Eine große Quelle funktioneller Unwägbarkeiten stellt die Regelungstechnik dar. Ein Klartext des umgesetzten Regelalgorithmus gehört in jede Anlagendokumentation. Klartext soll heißen, dass ein unabhängiger Prüfer im Stande sein muss, anhand dieses Textes und reiner visueller Beobachtung des Anlagenbetriebes, festzustellen, ob und wie das Regelungsregime funktioniert. Dieses Problem ist mit einer separaten Solarregelung meist besser zu lösen als beim übergreifenden Einsatz einer Gebäudeleittechnik.
- Eine große thermische Solaranlage kann über längere Zeit nur erfolgreich in Betrieb gehalten werden, wenn das technische Personal des Betreibers Minimalkenntnisse zur Solartechnik besitzt, motiviert ist und wenn dazu eine Fachfirma einen Wartungsauftrag sachgerecht wahrnimmt.
- Die hohe Förderquote war eine richtige Entscheidung, um öffentliche Träger am Projekt interessieren zu können. Im Fall der hohen Förderquote ist es aber umso dringlicher geboten, im Vorfeld der Förderung justiziable Verfahrensweisen zu finden, um nachträglich desinteressierte Betreiber motivieren zu können.
- Wenn nach Inbetriebnahme einer größeren Solaranlage keinerlei Funktions- und/oder Ertragsüberprüfung stattfindet, ist die Gefahr groß, dass schätzungsweise jede zweite Anlage schlecht oder gar nicht funktioniert.
- Die Einführung einer Ertragsgarantie erwies sich nicht als das qualitätsfördernde Element. In vielen Fällen wurde dadurch der zu erwartende Ertrag zu optimistisch eingeschätzt, damit der maßgebliche Quotient aus Kosten und Energiegewinn klein gerechnet werden konnte.
- Die Einschätzung bezüglich der eingesetzten Messtechnik ist vielschichtig. Für eine sehr tiefgehende Detailanalyse z.B. der Funktionalität der Wärmeübertrager erwiesen sich die verwendeten Volumenstromzähler als zu störanfällig und ungenau.

Diese Unsicherheit bezüglich der Messgenauigkeit und –stabilität relativierte sich durch den Einbau redundanter Technik.

- Die eingesetzten Schautafeln zur Visualisierung der Ergebnisse mit dem Ziel der öffentlichen Demonstrationswirkung entsprechen nicht mehr dem Stand der Technik. Im Nachhinein betrachtet waren sie grundsätzlich zu aufwändig und damit zu störanfällig gestaltet. Die Beobachtung zeigt, dass eine nicht oder falsch funktionierende öffentliche Anzeige deutliche Negativpropaganda bewirkt. In zukünftigen Anlagen sollte deutlich sichtbare aber möglichst robuste störanfällige Technik eingesetzt werden.
- Von den 19 wissenschaftlich begleiteten Anlagen, die den vorausgesagten solaren Ertrag erbrachten, kann bestenfalls bei der Hälfte gesagt werden, dass dieses auch ohne das Monitoring funktioniert hätte. Keine dieser Anlagen konnte völlig unverändert (also so wie vom Installateur in Betrieb gesetzt worden war) weiterbetrieben werden.
- Auch ein motivierter, solartechnisch interessierter Betreiber kann zum Risiko für den Anlagenbetrieb werden. Es muss durch Beratung und Überprüfung sichergestellt sein, dass keine unkontrollierten Veränderungen an den Anlagen- und Regelungseinstellungen vorgenommen werden.

zu Solarthermie 2000plus

Obwohl der Kreis der förderfähigen Konzepte gegenüber Solarthermie2000 deutlich vergrößert wurde, ist die Zahl der Projektanfragen gegenüber der Anlaufphase von Solarthermie2000 aus Sicht der Projektgruppe deutlich zurückgegangen.

Kontraproduktiv wirkt hier sicher die Tatsache, dass viele industrielle Energieverbraucher solche Sonderkonditionen beim konventionellen Energiebezug erfahren, dass selbst die geförderte regenerative Energie nicht wirtschaftlich darstellbar ist. Damit verbleiben als Antragsmotivation nur Einsicht in die ökologischen Belange und Erwartungen zur Imagesteigerung.

Letztlich verblieb dem Berichtersteller zur Verallgemeinerung von Erkenntnissen nur ein erfolgreiches Projekt, die Hofmühlbrauerei in Eichstätt.

Sie ist zumindest ein Beleg dafür, dass konventionelle Solartechnik auch in unseren Breiten zur Bereitstellung von Prozesswärme im 100°C-Bereich völlig ausreichend ist.

7 Publikationen

2008

Göppert, S.

Einsatz von Solaranlagen in Industriebetrieben

Vortrag, 18. Symposium „Thermische Solarenergie“, Staffelstein, 23.04. bis 25.04.2008

Ostbayerisches Technologie Transfer Institut e.V. (OTTI), Regensburg

Wutzler, M.

Planung und Realisierung eines Prüfstandes zur Bestimmung von Einfallswinkelkorrekturfaktoren

Diplomarbeit, Fakultät für Maschinenbau, 2008

Wutzler, M.; Schirmer, U.; Platzer, B.

Monitoring zur Solaren Klimatisierung des Ärztehauses Rheineck in Berlin

Monitoringseminar Solarthermie 2000+ 2008, 16.12.2008 Freiburg

2010

Wutzler, M.; Schirmer, U.; Platzer, B.

Erste Betriebserfahrungen zur solaren Prozesswärmeerzeugung der Hofmühlbrauerei in Eichstätt

20. Symposium „Thermische Solarenergie“, Staffelstein, Ostbayerisches Technologie

Transfer Institut e.V. (OTTI), Regensburg (Hrsg.), 2010, Tagungsband, S. 180-193

ISBN 978-3-941785-29-8

Wutzler, M.; Schirmer, U.; Platzer, B.

Solaranlage der Hofmühl-Brauerei in Eichstätt

Monitoringseminar Solarthermie 2000+ 2010, 14.-15.06.2010 Bad Boll

2011

Wutzler, M.; Schirmer, U.; Platzer, B.

Auswertung des ersten Betriebsjahres zur solaren Prozesswärmeerzeugung der Hofmühlbrauerei in Eichstätt unter besonderer Berücksichtigung des Frostschutzbetriebes

21. Symposium „Thermische Solarenergie“, Staffelstein, Ostbayerisches Technologie

Transfer Institut e.V. (OTTI), Regensburg (Hrsg.), 2011, Tagungsband, S. 159-164

ISBN 978-3-941785-57-1

Wutzler, M.; Schirmer, U.; Platzer, B.

Betriebsergebnisse der solaren Prozesswärmeerzeugung der Hofmühl Brauerei in Eichstätt

World Sustainable Energy Days 2011, 03.-04.03.2011 Wels, Österreich

Wutzler, M.; Schirmer, U.; Platzer, B.

Monitoring zur Solaren Prozesswärmeerzeugung der Hofmühl-Brauerei in Eichstätt
Statusworkshop Solare Prozesswärme, 07.04.2011 Kassel

Wutzler, M.; Schirmer, U.; Platzer, B.

Solar process heat application at the Hofmühl brewery at Eichstätt/Germany
ISES Solar World Congress 2011, 28.08.-02.09.2011 Kassel,