

BAUTEILAKTIVIERUNG ALS GRUNDLASTHEIZUNG IN EINEM NEUEN SONNENHAUSKONZEPT – MODELLVERGLEICH UND SIMULATION

Ch. Büttner¹, J. Steinweg¹, J. Glembin¹, G. Rockendorf¹, N. Rudolph², J. Rust²

¹Institut für Solarenergieforschung GmbH Hameln/Emmerthal (ISFH), Am Ohrberg 1,
31860 Emmerthal, Germany

²HELMA Eigenheimbau AG, Zum Meersefeld 4, 31275 Lehrte, Germany

KURZFASSUNG

Thermisch aktivierte Bauteile übernehmen sowohl die Funktion eines Wärmespeichers als auch einer Flächenheizung und ermöglichen aufgrund ihrer großen Oberflächen die Nutzung niedriger Betriebstemperaturen. Diese Vorteile, bereits in Industrie- und Bürogebäuden (HAUSLADEN & EHLERS, 2010) bewiesen, sind auch im Wohnungsbau nutzbar. Das Energie- und Gebäudekonzept eines Sonnenhauses (DASCH u. a., 2009) soll durch die Bauteilaktivierung (BTA) diese Vorteile nutzen und mit geringem Aufwand, sowohl baulich als auch finanziell, hohe solare Deckungen von über 50 % erzielen. In diesem Beitrag wird die BTA sowohl als Einzelkomponente als auch im Zusammenspiel mit der Anlagentechnik eines neuen Sonnenhauskonzepts betrachtet. Die Auswirkungen von veränderten Parametern bei der Dimensionierung der BTA werden dabei vorgestellt.

Schlagwörter: Betonkernaktivierung, thermische Bauteilaktivierung, Thermo-Aktives Bauteil-System, Sonnenhaus, BTA, TABS, HEAT2, TRNSYS

EINFÜHRUNG

Sowohl die Optimierung bestehender Wärmespeicher als auch die Untersuchung anderer Formen wie Latentwärmespeicher und thermochemische Speicher sind Inhalt aktueller Forschung. Unabhängig vom Gebäude-Energie-Konzept können durch eine Reduktion des Speichers bei gleichem Endenergiebedarf mehrere Vorteile erschlossen werden. In einem Forschungsprojekt (SH-T-Opt) mit den Partnern ISFH und der HELMA Eigenheim AG wird ein neues Konzept für Sonnenhäuser untersucht. Ziel dieses Projekts ist es, den baulichen und finanziellen Aufwand, der sich durch den großvolumigen Pufferspeicher ergibt, zu minimieren. Trotz der Reduktion des Speichers um über 85 % auf nur noch 1 m³ können durch gleichzeitige Erschließung der Gebäudemasse weiterhin hohe solarthermische Erträge gewährleistet werden. Die rein solarthermische Aktivierung der Geschossboden-Betonelemente im Erd- und Obergeschoss auf niedriger Temperatur entlastet in den Winter- und Übergangsmonaten das konventionelle Heizungssystem. Hierdurch werden die für Sonnenhäuser

typischen Werte der hohen solaren Deckung und Energieeinsparung ermöglicht (BÜTTNER u. a., 2013).

In diesem Beitrag werden einige Ergebnisse der Komponentenanalyse vorgestellt. Zunächst erfolgt eine Einzelbetrachtung mittels HEAT2 um den Einfluss von verschiedenen Betriebsbedingungen und Geometrien zu prüfen, anschließend wird mittels TRNSYS die Komponente als Bestandteil der gesamten Gebäude-Anlagentechnik betrachtet. Im Folgenden werden die Ergebnisse durch Veränderung des Verlegeabstands, der Eintrittstemperatur und des Massenstroms präsentiert. Die BTA soll einen hohen solaren Beitrag (Deckungsanteil) zum jährlichen Raumwärmebedarf ermöglichen. Sie wird zu Zeiten hohen Leistungsbedarfs jedoch nur unterstützend fungieren und entsprechend dimensioniert werden.

SIMULATIONSPROGRAMME

Für die Untersuchung des neuen Sonnenhauskonzepts werden im Jahrgang dynamische Systemsimulationen mittels TRNSYS (KLEIN u. a., 2009) durchgeführt. Aufgrund des integralen Bestandteiles der BTA an diesem Konzept erfolgt zunächst die genauere Bewertung dieser Komponente durch eine stationäre Betrachtung in HEAT2, und zu Vergleichszwecken anschließend in TRNSYS. HEAT2 (BLOMBERG, 2000) ermöglicht die zweidimensionale Simulation von Wärmetransportvorgängen unter Verwendung der Finite-Element-Methode. Das Programm ermöglicht eine sehr hohe Freiheit bei der Komponentenanalyse, die energetische Bewertung im zeitlich hoch aufgelösten Jahresverlauf im Wechsel mit der restlichen Anlagentechnik, Nutzern und Wetter auch unter Berücksichtigung einer angepassten Regelstrategie (GLEMBIN u. a., 2014a) wird jedoch nur in TRNSYS ermöglicht.

RANDBEDINGUNGEN

Das Standard-Sonnenhaus beinhaltet als besonderes Merkmal einen bis zu 10 m³ großen Pufferspeicher, der sowohl im Zentrum der Anlagentechnik als auch des Gebäudes steht. Das neue Sonnenhauskonzept zeichnet sich durch einen 1 m³ kleinen Pufferspeicher und thermisch aktivierter Gebäudemasse aus. Hierfür werden die Bodenplatte (BP) und Zwischendecke (ZD) als BTA ausgeführt und können durch den Kol-

lektor direkt beladen werden. Diese Kombination zweier Senken ermöglicht es eine mit Standard-Sonnenhäusern vergleichbare Endenergieeinsparungen zu erzielen und weist Vorteile unter dem Aspekt des Aufwandes und des Wohnkomforts auf (STEINWEG u. a., 2014). Das zweigeschossige Gebäude mit einer Wohnfläche von 180 m² verfügt über einen Heizwärmebedarf von etwa 7200 kWh/a bei einer Raumsolltemperatur von 20 °C und einer Luftwechselrate von 0,4 h⁻¹. In Abbildung 1 ist ein vereinfachtes Energieflussschema des neuen Sonnenhauskonzepts zu finden, welches auch in TRNSYS umgesetzt wurde.

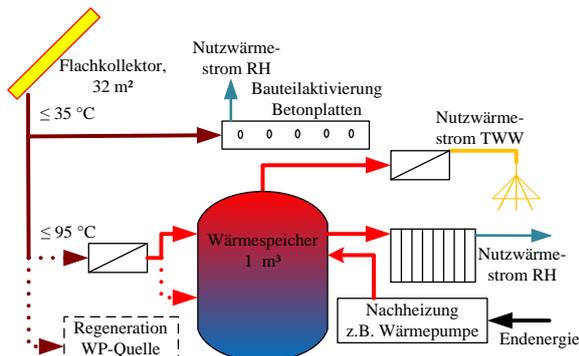


Abbildung 1: Schematische Darstellung des neuen Sonnenhauskonzepts

Die 32 m² des solarthermischen Kollektors können sowohl den Pufferspeicher als auch die BTA beladen, die Entscheidung der Senkenbeladung wird anhand möglicher Kollektorerträge bzw. Endenergieeinsparungen getroffen. Näheres zur Regelung findet sich in (GLEMBIN u. a., 2014b). Die zusätzliche Beladung des Pufferspeichers, um den gesamten Wärmebedarf zu erfüllen, erfolgt durch eine Wärmepumpe mit Erdwärmesonde bzw. -kollektor. Daher liegt der gesamte Endenergiebedarf aller Komponenten als elektrische Energie vor. Die direkte Beladung der BTA ohne hydraulische Trennung ermöglicht die Nutzung geringerer Temperaturen in der Heizsaison. Um Überhitzungen zu vermeiden erfolgt sie nur bis zu einer maximalen Raumtemperatur von 24 °C. Diese Begrenzung stellt sicher, dass höhere Raumtemperaturen nicht öfter als im Standard-Sonnenhaus auftreten, die maximalen Temperaturen sind sogar aufgrund der geringeren Speicherverluste im Sommer reduziert (STEINWEG u. a., 2014).

Die genaue Analyse der BTA, inklusive Fußbodenaufbau, als Komponente erfolgt in HEAT2 unter Berücksichtigung verschiedener Materialien und ihrer Anordnung entsprechend Abbildung 2. Die Bodenplatte und Zwischendecke sind parallel verschaltet und können getrennt voneinander durch den solarthermischen Kollektor beladen werden.

Als Standardwert wird ein im Vergleich zur praxisüblichen BTA-Auslegung von 150 mm (REHAU, 2011b) großer Verlegeabstand von 300 mm gewählt.

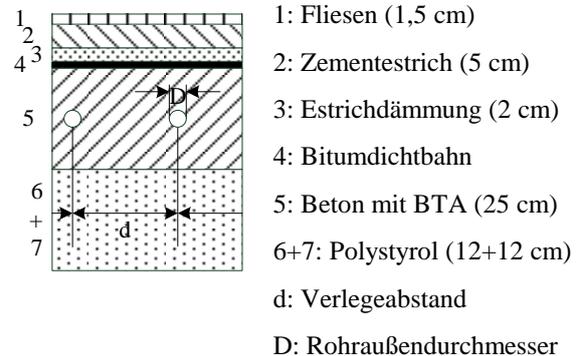


Abbildung 2: Bodenplatte (BP) und Fußboden, Eingabedaten für HEAT2

Die verschiedenen Materialien auf der Oberseite der thermisch aktivierten Bauteile, vor allem die Trittschalldämmung, zeichnen sich durch einen hohen Wärmedurchgangswiderstand R_{th} aus, siehe Tabelle 1.

Tabelle 1:
 Standardwerte der BTA

Wärmedurchgangswiderstand R_{th}	
BP an Raum, oben $R_{th,BP,o}$	0.630 m ² K/W
ZD an Raum, oben $R_{th,ZD,o}$	0.606 m ² K/W
ZD am Raum, unten $R_{th,ZD,u}$	0.177 m ² K/W
Verlegeabstand d	300 mm
Rohrdurchmesser D	25 mm
Eintrittstemperatur	28°C
Auf Wohnfläche bezogener Massenstrom	15 kg/(m ² h)

Für den stationären Betrieb der BTA in HEAT2 werden, wenn nicht anders angegeben, die in Tabelle 1 genannten Werte verwendet. Der Massenstrom ist auf die Gebäudegrundfläche bezogen. Hierbei wird das Bauteil als Einzelkomponente ohne die Wechselwirkung zum übrigen Gebäude betrachtet. Erst in TRNSYS wird der Einfluss der gesamten Anlagentechnik und veränderlichen Eintrittstemperaturen berücksichtigt um den Nutzen der BTA zu bewerten.

SIMULATIONSERGEBNISSE

Wärmeübergangskoeffizient

Die Wärmeabgabe der BTA an die ober- und unterhalb anliegenden Räume wird maßgeblich durch den Wärmeübergangskoeffizienten, der den Wärmeübergang aufgrund von Konvektion und Strahlung zwischen Bauteiloberfläche und Raum berücksichtigt, bestimmt. Für die Berechnung wird auf die Modelle von Glück (GLÜCK, 2008) und von Koschenz (KOSCHENZ & LEHMANN, 2000) zurückgegriffen. Das Modell in TRNSYS (Type 56: Active Layer) verwen-

det als Vorgabe die in Koschenz beschriebene Berechnung, jedoch kann für den konvektiven Anteil die Berechnung geändert werden. Jedoch wird eine dynamische Systemsimulation unter Berücksichtigung des variablen konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten nur durch das Koschenz-Modell ermöglicht. In HEAT2 können beide Modelle eingesetzt werden. Hierdurch kann das in TRNSYS verwendete einfache Modell durch die genauere Finite-Elemente-Methode von HEAT2 auf Plausibilität überprüft werden. Die stationäre Simulation unter HEAT2 wird mit geringen Einschränkungen ebenso in TRNSYS nachgebildet.

In Abbildung 3 ist der konvektive Wärmeübergangskoeffizient jeweils für beide Oberflächen und Modelle in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz aufgetragen.

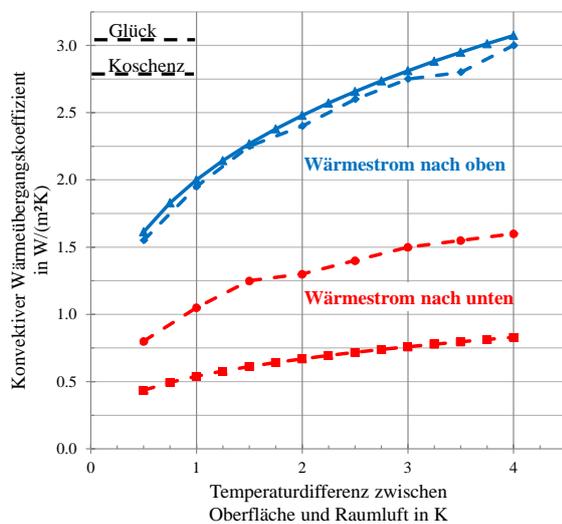


Abbildung 3: Konvektiver Wärmeübergangskoeffizient als Funktion der Temperaturdifferenz

Während der Wärmeübergang nach oben nur geringfügig von der Wahl des verwendeten Modells abhängt (Unterschied 1...3 %), ergibt sich der nach unten gerichtete Wärmestrom nach Koschenz jedoch wesentlich höher als nach Glück. Angaben in der weiteren Literatur weisen zu nach unten gerichteten Wärmeströmen eine hohe Streuung auf. Der konvektive Wärmeübergang ist, abhängig von der Temperaturdifferenz, bei der BTA jedoch nur zu 20 bis 30 % am gesamten Wärmeübergang beteiligt. In der Abbildung 4 ist der Vergleich der Ergebnisse aus HEAT2 und TRNSYS nach Tabelle 1 am Beispiel der thermisch aktivierten Bodenplatte aufgetragen.

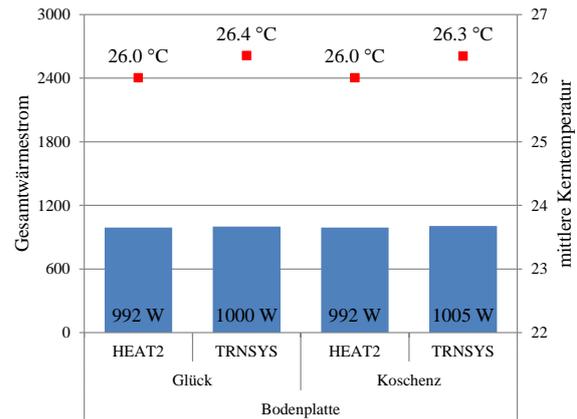


Abbildung 4: Modell- und Programmvergleich für die BTA der Bodenplatte (BP)

Die Bodenplatte ist auf der dem Erdreich zugewandten Seite gedämmt und verliert dort nur über Leitung Wärme. Die Leistungen nach beiden Modellen und Programme stimmen überein, auffällig ist jedoch eine höhere Kerntemperatur bei TRNSYS. Da die beiden Programme für diese stationäre Betrachtung nicht identisch parametrisiert werden können, sind Abweichungen unvermeidbar. In Abbildung 5 ist der entsprechende Vergleich für die Zwischendecke (ZD) aufgetragen und weist eine höhere Variation auf.

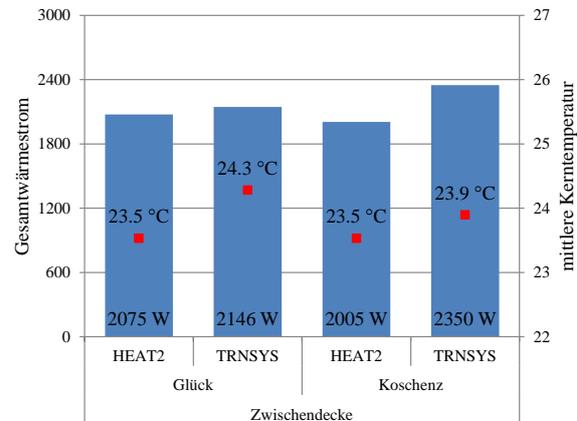


Abbildung 5: Modell- und Programmvergleich für die BTA der Zwischendecke (ZD)

Während der Modell-Unterschied innerhalb von HEAT2 sich auf ca. 3 % begrenzt, beträgt er bei TRNSYS nahezu 10 %. Trotz des höheren konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten ist der Wärmestrom bei der Berechnung nach Koschenz in HEAT2 geringer. Dies liegt an unterschiedlichen mittleren Fluid- und Oberflächentemperaturen, die sich sowohl bei den beiden Modellen als auch den Programmen ergeben. Auch bei der Zwischendecke errechnet TRNSYS eine höhere Kerntemperatur. Es ergibt sich ein ca. 17 % größerer Wärmestrom beim Koschenz-Modell. Unter Berücksichtigung der genannten Modellunsicherheiten erweisen sich die Ergebnisse aus HEAT2 und TRNSYS gut vergleichbar, sie entsprechen zudem

typischen Literaturangaben (KOSCHENZ & LEHMANN, 2000). Im weiteren Verlauf wird das Glück-Modell in HEAT2 und das Koschenez-Modell in TRNSYS verwendet.

Vergleich von Bodenplatte und Zwischendecke

Obwohl der konvektive Wärmeübergangskoeffizient an der Oberseite der BTA höher ist, ist die dort auftretende Oberflächentemperatur durch die auf dieser Seite verwendeten Materialien, vor allem aufgrund der Trittschalldämmung stark reduziert. In Abbildung 6 ist die Aufteilung der Wärmeströme sowohl für beide Bauteile als auch für beide Oberflächen aufgetragen und stammen aus der stationären Betrachtung (Tabelle 1) unter HEAT2.

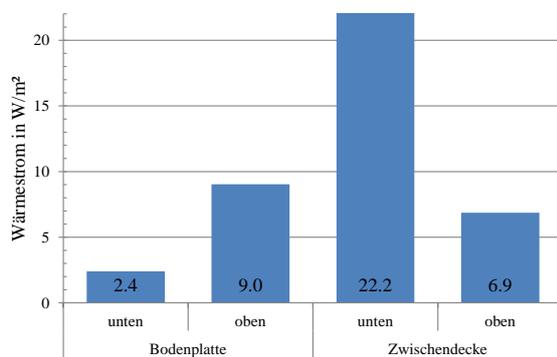


Abbildung 6: Aufteilung der Wärmeströme beider Bauteile nach Oberflächen (HEAT2)

Der große Leistungsunterschied beider Bauteile ergibt sich durch einen anderen thermischen Widerstand, der sich am stärksten im nach unten gerichteten Wärmestrom zeigt. Die Bodenplatte ist zum Erdreich hin gedämmt und erreicht in den stationären Betrachtungen aufgrund ihrer geringeren Leistungsfähigkeit eine höhere Kern- und Oberflächentemperatur als die Zwischendecke. In das Erdgeschoss (EG) gelangt durch die Beheizung durch die Bodenplatte von unten und die Zwischendecke von oben über drei Viertel der gesamten Wärmeleistung. Für eine gleichmäßigere Leistungsabgabe ist z.B. im Obergeschoss (OG) zusätzlich zur thermischen Aktivierung der Zwischendecke die Aktivierung von Wänden oder der OG-Geschossdecke möglich.

Rohrabstand

Der Verlegeabstand der Rohrleitung beeinflusst den Wärmeübergang vom Rohr zum Bauteil und somit auch dessen Leistungsfähigkeit. In Abbildung 7 ist der Einfluss eines veränderten Abstands auf den gesamten Wärmestrom und seine Anteile dargestellt. Die Dimensionierung der BTA soll das konventionelle Heizsystem unterstützen, entsprechend muss nur ein Teil der Heizlast, die max. 33 W/m² beträgt, gedeckt werden können.

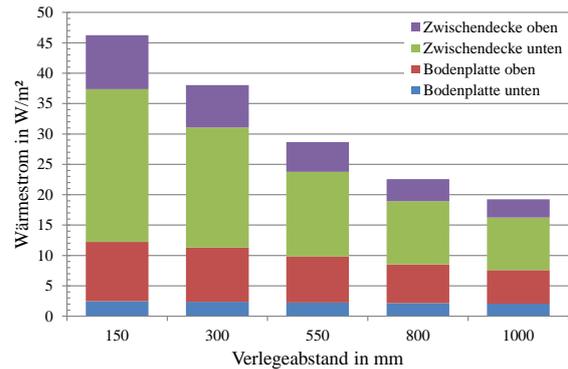


Abbildung 7: Einfluss des Verlegeabstands auf den gesamten Wärmestrom an EG und OG

Nahezu 80 % des gesamten Wärmestroms gelangt durch die Bodenplatte und Zwischendecke in das Erdgeschoss, dieses Verhältnis ändert sich bei veränderten Verlegeabstand nur geringfügig. Der Wärmestrom reduziert sich bei Vergrößerung des Verlegeabstands, wobei die Änderungen der Bodenplatte aufgrund ihrer Dämmung gegen das Erdreich wesentlich gedämpfter ausfallen. Beim geringsten Verlegeabstand kann im Obergeschoss ein Viertel der max. Heizlast gedeckt werden. Aufgrund der unterschiedlichen Leistungsabgaben beider BTA kann sogar bei einem Verlegeabstand von 800 mm ca. die Hälfte der max. Heizlast im Erdgeschoss übernommen werden. Die stationäre Betrachtung zeigt, dass ein breiter Bereich des Verlegeabstands zwischen 300 mm und 800 mm die Forderung nach einer deutlichen Unterstützung des konventionellen Heizsystems erfüllen kann.

In Abbildung 8 sind nun die Auswirkungen des veränderten Verlegeabstands auf das Gesamtsystem dargestellt. Die dargestellten Ergebnisse sind in dynamischen Jahressimulationen mit TRNSYS berechnet worden.

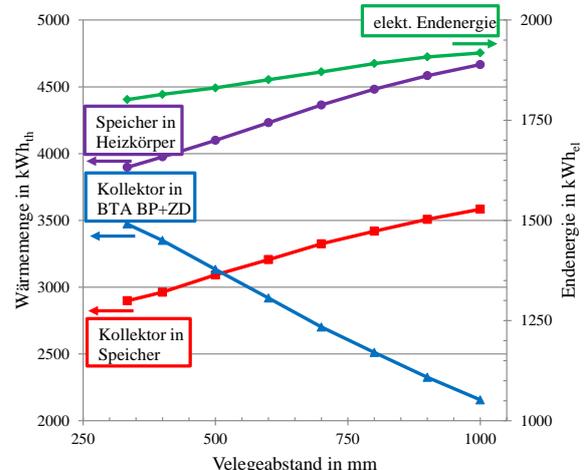


Abbildung 8: Einfluss des Verlegeabstands auf den Energiebedarf des Gesamtsystems

Ebenso wie sich die Wärmeleistung mit höherem Abstand reduziert, verringert sich der gesamte Wärmeeintrag in die BTA. Stattdessen steigen sowohl der Ertrag, der in den Pufferspeicher gebracht wird als auch die Wärmeabgabe des konventionellen Heizsystems. Der kleine Pufferspeicher kann den Mindereintrag in die BTA nur zum Teil kompensieren, als Resultat sinkt die solare Deckung und der Endenergiebedarf steigt. Bis zu einem Verlegeabstand von 500 mm wird mehr Wärme in die BTA eingebracht als in den Pufferspeicher. Sogar mit einem sehr hohen Abstand von 1000 mm nimmt die BTA immer noch ein Drittel der gesamten Kollektorerrträge auf. Der lineare Verlauf der Wärme- und Energiemengen zeigt, dass geringere Verlegeabstände höhere Energieeinsparungen erschließen, so steigt der Endenergiebedarf zwischen 300 und 1000 mm um ca. 6 %. Jedoch wird bei engem Abstand der bauliche Aufwand durch Mehrfachkreise und Unterverteiler deutlich erhöht.

Eintrittstemperatur

Die Bauteiltemperatur bestimmt unter Berücksichtigung der Raumtemperatur den Wärmestrom, der von der BTA abgegeben wird. Für hohe solare Erträge des Kollektors in der Heizsaison (d. h. häufig geringe Einstrahlungen) sind niedrige Betriebstemperaturen notwendig. Auch darf aufgrund von baulichen Restriktionen die Eintrittstemperatur nicht zu hoch liegen. In Abbildung 9 ist die Auswirkung einer veränderten Eintrittstemperatur auf den Gesamtwärmestrom mit stationärer HEAT2-Simulation aufgetragen.

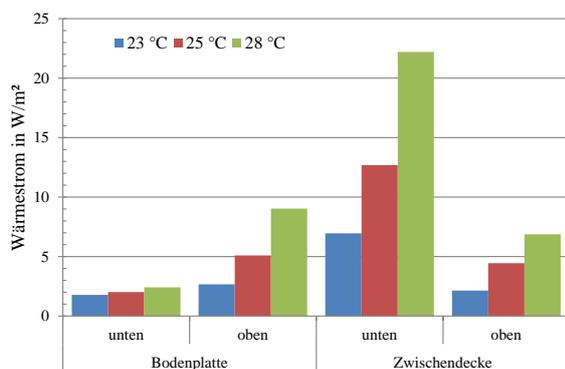


Abbildung 9: Einfluss der Eintrittstemperatur

Der Wärmestrom der einzelnen Oberflächen steigt mit höheren Eintrittstemperaturen, dies ist bei der Oberseite der Bodenplatte und Unterseite der Zwischendecke besonders stark ausgeprägt. Durch höhere Eintrittstemperaturen in der Zwischendecke kann die BTA einen größeren Teil der max. Heizlast im Obergeschoss decken, dieser Anteil fällt jedoch weiterhin wesentlich geringer als im Erdgeschoss aus. Für die Nutzung geringerer Eintrittstemperaturen muss ebenso der Verlegeabstand verkleinert werden, um die

Leistungsfähigkeit der BTA nicht zu stark zu reduzieren. Weiterhin sind für die Nutzung des selbstregelnden Effekts der BTA Betriebstemperaturen nahe der Raumtemperatur notwendig.

In der Simulation unter TRNSYS wird der Kollektoraustritt mit dem Rücklauf der BTA gemischt, damit eine maximale Eintrittstemperatur in das Bauteil nicht überschritten wird. Dies hat einen Einfluss auf den Massenstrom und die Betriebstemperaturen des Kollektors. In Abbildung 10 ist der Einfluss dieser Veränderung aufgetragen

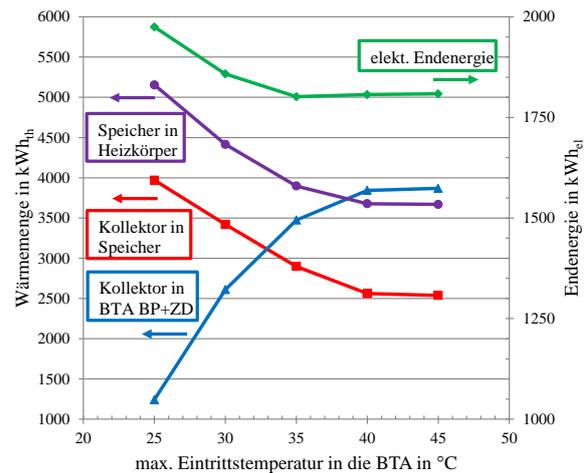


Abbildung 10: Einfluss der maximalen BTA-Eintrittstemperatur auf den Energiebedarf des Gesamtsystems

Bei Werten unterhalb von 35 °C sinkt die in die BTA eingebrachte Solarwärme drastisch ab. Dies resultiert in einer erhöhten Wärmeversorgung durch das konventionelle Heizsystem und einem entsprechenden Anstieg des Endenergiebedarfs. Der kleine Pufferspeicher ist auch hier nicht im Stande, entsprechende Kollektorerrträge aufzunehmen. Ab einer max. Eintrittstemperatur von 35 °C übernimmt die BTA bereits über ein Drittel des gesamten Raumheizbedarfs. Temperaturen über 40 °C führen zu keinem Mehrertrag der BTA, diese Temperaturen fallen zudem oft bei geringerem Heizbedarf an und sind daher im Pufferspeicher auch zur Deckung des Warmwasserbedarfs besser geeignet. Um die Materialbelastung und die Komfortansprüche zu berücksichtigen und aufgrund des geringeren energetischen Nutzens sind höhere Temperaturen als 35 bis 40 °C nicht sinnvoll.

Massenstrom

Der Massenstrom durch die Rohre der BTA beeinflusst den Wärmeübergang vom Fluid an die Rohrwand sowie die Temperaturspreizung zwischen Ein- und Austritt und damit auch die Temperatur am Kollektoreintritt und hat damit direkte Auswirkung auf den Wärmestrom und den Wärmeertrag. Ein in der Praxis üblicher Massenstrom liegt zwischen 10 und

15 kg/(h m²) pro Segment, durch Unterverteilungen wird dabei der Gesamtdruckverlust gering gehalten.

In Abbildung 11 ist der Einfluss eines veränderten Massenstroms unter stationären Bedingungen in HEAT2 auf die Wärmeabgabe der Bodenplatte und Zwischendecke aufgetragen. Die Angabe des Massenstroms erfolgt hierbei bezogen auf die Geschossfläche.

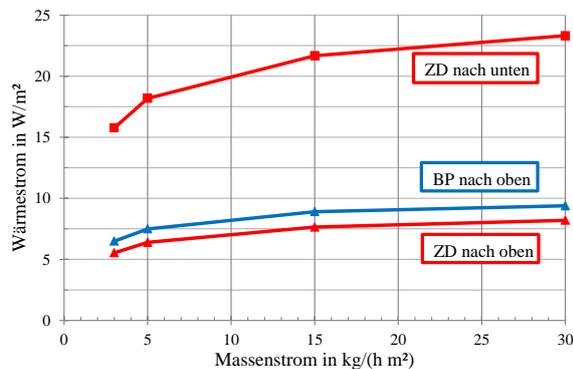


Abbildung 11: Wärmestrom beider BTA in Abhängigkeit des Massenstroms

Die Veränderungen des Wärmestroms nehmen mit steigendem Massenstrom ab und sind zusätzlich im nach unten gerichteten Wärmestrom wesentlich stärker ausgeprägt als bei jenem nach oben. Die Temperaturdifferenz zwischen Ein- und Austritt reduziert sich in diesem Beispiel von 5,5 K bei 3 kg/(h m²) auf 1 K bei 30 kg/(h m²).

In Abbildung 12 sind die Auswirkungen eines veränderten Massenstroms bei dem Betrieb der BTA unter Berücksichtigung des Druckverlusts im Gesamtsystem nach TRNSYS dargestellt.

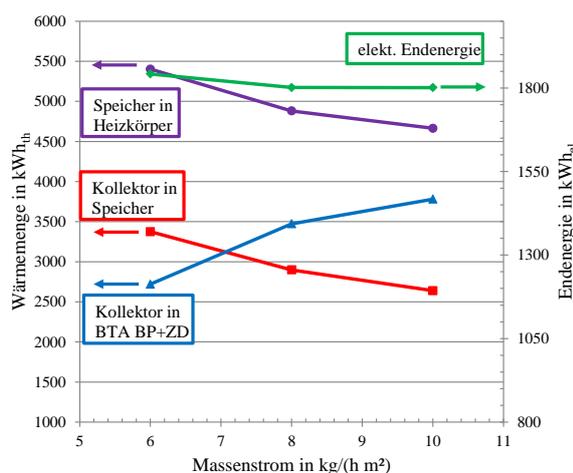


Abbildung 12: Einfluss des Massenstroms

Durch Erhöhung des Massenstroms durch die BTA wird der solarthermische Kollektoreintrag in die BTA stärker erhöht als der Eintrag in den Pufferspeicher reduziert wird. Dadurch steigt der gesamte solarther-

mische Ertrag, wodurch sich eine Reduktion des Gesamtenergiebedarfs einstellt. Bei einem Massenstrom von über 8 kg/(h m²) ist diese Änderung jedoch nur noch gering, sodass sich keine weiteren Energieeinsparungen ergeben. Dieser Massenstrom liegt unterhalb der praxisüblichen Werte und kann aufgrund eines geringeren Druckverlustes mit geringem Aufwand realisiert werden.

ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Beitrag wird die Vorgehensweise zur Auslegung einer ausschließlich durch Sonnenkollektoren versorgten dynamisch betriebenen BTA zur Teillastheizung in einem Sonnenhaus mit einem kleinen Pufferspeicher beschrieben. Die für die unterschiedlichen Varianten jeweils zunächst stationäre Betrachtung der BTA mit dem Simulationsprogramm HEAT2 zur Beschreibung des Komponentenverhaltens wird anschließend auf eine dynamische Gesamtsystemsimulation der vollständigen Anlagentechnik in TRNSYS übertragen. Auf diese Weise können die wesentlichen Konstruktions- und Betriebsparameter untersucht werden, unter Einbeziehung der Kosten lassen sich nunmehr Optimierungen durchführen.

Durch die direkte solarthermische Aktivierung der Bodenplatte und Zwischendecke gelangen über zwei Drittel des BTA-Wärmestroms in das Erdgeschoss. Für die Entlastung des konventionellen Heizsystems und hohe Kollektorserträge ist ein Verlegeabstand von 500 mm ausreichend. Die BTA übernimmt ein Drittel des jährlichen Raumheizbedarfs und kann ohne zusätzlichen Energiebedarf den Wohnkomfort durch die Option höherer Raumtemperaturen steigern. Bei dieser Ausführung nimmt die BTA gleichviel Solarwärme wie der Pufferspeicher auf. Die maximale Eintrittstemperatur, mit der die BTA beladen wird, sollte dabei zwischen 35 °C und 40 °C liegen. Die niedrigen Vorlauftemperaturen ermöglichen einerseits die effektive Nutzung von Kollektorserträgen in der Übergangszeit und andererseits eine passive selbstregelnde Wärmeabgabe. Ein spezifischer Massenstrom pro BTA von 8 kg/(h m²) ist ausreichend und ermöglicht eine Realisierung der thermischen Aktivierung mit geringem baulichen Aufwand, d. h. geringem Druckverlust und somit wenigen Rohrleitungskreisen.

Trotz der drastischen Reduktion des Pufferspeichervolumens nimmt dieser nahezu die Hälfte der gesamten Solarwärme auf, die thermische Aktivierung der Bodenplatte und Zwischendecke ermöglicht die Speicherung und Abgabe der restlichen Erträge. Das neue Sonnenhauskonzept zeigt, dass eine Kombination aus Pufferspeicher und thermisch aktivierter Gebäudemasse hohe solare Deckungsraten und Endenergieeinsparungen ermöglicht.

Der geringe Aufwand bei der Realisierung der BTA sowie die Vorteile durch die Verwendung eines han-

delsüblichen kleinen Pufferspeichers führen zu einer größeren Kosteneffizienz bei der Umsetzung des neuen Sonnenhauskonzepts. Der Preis für das Rohmaterial der hier vorgestellten Ausführung der BTA beläuft sich auf unter 8 €/m² Wohnfläche (ohne Mehrwertsteuer) (REHAU, 2011a).

Das in einer umfangreichen Systemstudie untersuchte neue Sonnenhauskonzept wird im Laufe des Frühlommers 2014 als Demonstrationsgebäude mit umfassender Messtechnikausstattung realisiert.

DANKSAGUNG

Das diesem Beitrag zugrunde liegende Vorhaben „Entwicklung eines Konzepts zur temperatur-optimierten Wärmebedarfsdeckung in Solaraktivhäusern“ wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen FKZ 0325981 gefördert. Die Bearbeitung des Verbundprojekts erfolgt durch das ISFH, die HELMA Eigenheimbau AG und die RESOL - elektronische Regelung GmbH, Hattingen. Die Autoren danken für die Unterstützung. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt ausschließlich bei den Autoren.

LITERATUR

BLOMBERG, THOMAS: *HEAT 2 - A PC-program for heat transfer in two dimensions. Manual with brief theory and examples.* Lund, Sweden : Lund-Gothenburg Group for Computational Building Physics, 2000

BÜTTNER, CHRISTOPH ; STEINWEG, JAN ; GLEMBIN, JENS ; RUDOLPH, NICOLAS ; OPPERMANN, MICHAEL: Potenzial der temperaturoptimierten Wärmebedarfsdeckung in Sonnenhäusern. In: . Bad Staffelstein, Deutschland : OTTI e.V., Regensburg, 2013 — ISBN 978-3-943891-10-2

DASCH, GEORG ; HILZ, WOLFGANG ; JOIKO, CHRISTIANE ; RÖPCKE, INA ; SCHUSTER, ANDREAS: *Das Sonnenhaus ... unabhängig und umweltbewusst: Wohnen mit der Sonne.* 2. Aufl. Straubing : Sonnenhaus-Institut e.V., 2009

GLEMBIN, JENS ; BÜTTNER, CHRISTOPH ; STEINWEG, JAN ; ROCKENDORF, GUNTER ; RUDOLPH, NICOLAS-KAI ; RUST, JÜRGEN: Solar Active Building with Directly Heated Concrete Floor Slabs. In: *Energy Procedia, Proceedings of the 2nd International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry (SHC 2013).* Bd. 48 (2014a), S. 561–570

GLEMBIN, JENS ; BÜTTNER, CHRISTOPH ; STEINWEG, JAN ; ROCKENDORF, GUNTER ; RUDOLPH, NICOLAS-KAI ; RUST, JÜRGEN: Verbrauchen geht

vor Speichern - Sonnenhäuser mit Bauteilaktivierung und kleinem Pufferspeicher. In: *Tagungsband des 24. Symposiums Thermische Solarenergie, Thermische Solarenergie.* Bd. 24. Bad Staffelstein : OTTI e.V., Regensburg, 2014b

GLÜCK, BERND: *Heizen und Kühlen mit Niedrigexergie (LowEx) - Innovative Wärmeübertragung und Wärmespeicherung, BMWi-Projekt FKZ: 0327370* (Abschlussbericht). Jößnitz (Plauen) : Westsächsische Hochschule Zwickau, 2008

HAUSLADEN, GERHARD ; EHLERS, MARTIN: *Potential und Einsatzgrenzen der Bauteilaktivierung im Wohnungsbau, BMWi-Projekt FKZ: 0327413A* (Forschungsbericht). München : TU München, 2010

KLEIN, S.A. ; BECKMANN, W.A. ; MITCHELL, J.W. ; DUFFIE, J.A. ; FREEMAN, T.A.: *TRNSYS 17, A Transient System Simulation Program, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison.* Stuttgart, 2009

KOSCHENZ, MARKUS ; LEHMANN, BEAT: *Thermoaktive Bauteilsysteme tabs.* Dübendorf : EMPA, 2000 — ISBN 3905594196

REHAU: Rehau Kalkulationspreisliste Gebäudetechnik, Rehau AG + Co (2011a)

REHAU: Rehau Technische Informationen Flächenheizung/ -Kühlung Technische Unterlagen, Rehau AG + Co (2011b)

STEINWEG, JAN ; GLEMBIN, JENS ; BÜTTNER, CHRISTOPH ; ROCKENDORF, GUNTER: Sonnenhäuser mit Bauteilaktivierung und kleinem Pufferspeicher - Systemperformance und Behaglichkeit. In: *Tagungsband der 11. Internationale Konferenz für solares Heizen und Kühlen.* Bd. 11. Gleisdorf, Österreich, 2014