TECHNISCHE UNIVERSITÄT
KAISERSLAUTERN

FACHBEREICH BAUINGENIEURWESEN
Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
Baukonstruktion und Fertigteilbau

Dipl.-Ing. Tillman Gauer

Technische Universität Kaiserslautern • Postfach 3049 • 67653 Kaiserslautern

Paul-Ehrlich-Straße
Gebäude 14, Raum 547
67663 Kaiserslautern

Stiftung Energie & Klimaschutz

Durlacher Allee 93

76131 Karlsruhe

Telefon: 0631 205-5455

Telefax: 0631 205-3555

Tillman.Gauer@bauing.uni-kl.de
www.bauing.uni-kl.de

Unsere Zeichen	Kaiserslautern
TG	16.10.2020

Einreichung zum Ideenwettbewerb „Energie und Umwelt –Meine Idee für morgen“

Sehr geehrte Damen und Herren,

mit diesem Schreiben reiche ich meinen Beitrag mit dem Titel „Empfehlungen zur Auslegung von thermisch aktivierten Außenbauteilen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen von Wohngebäuden“ zum diesjährigen Ideenwettbewerb „Energie und Umwelt – Meine Idee für morgen“ ein.

Über eine kurze Bestätigung des Eingangs würde ich mich sehr freuen.

Mit Freundlichem Gruß

Tillman Gauer

Empfehlungen zur Auslegung von thermisch aktivierten Außenbauteilen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen von Wohngebäuden

Der Umbau des Energiesystems, hin zu einer klima- und umweltfreundlichen Energienutzung, stellt die aktuell größte Herausforderung der Energiewirtschaft und Gesellschaft dar. Dieser Umbau betrifft nicht nur die Versorgung mit elektrischer Energie, sondern auch die Wärmeversorgung. Beiden ist gemein, dass zum einen die Nutzung der Erneuerbaren Energie (EE) eine zentrale Stellschraube ist um die nationalen und internationalen Klimaschutzziele zu erreichen. Zum anderen werden in beiden Bereichen Speicher benötigt, um hohe Anteile von EE am Energieverbrauch zu erreichen.

Energiewende im Gebäudesektor

Im Bereich der Wohngebäude gehören elektrische Wärmepumpen und Solarthermieanlagen seit Jahren zum Stand der Technik bei der Wärmeversorgung. Während erstere zu jedem Zeitpunkt Wärmebereitstellen können, können letztere Wärme besonders effizient bereitstellen. Durch diese Charakteristiken ergänzen sich beide Erzeuger optimal. Vor allem um solare Wärme effizient bereitzustellen, werden Speicher benötigt. Diese erlauben eine Deckung des zeitversetzten Wärmebedarfs. Die benötigte Größe dieser Speicher steigt überproportional mit dem angestrebten Deckungsrad an solarer Wärme an. Dieser Zuwachs führt zu zusätzlichem Platzbedarf sowie mechanischen Lasten und schränken die architektonische Freiheit bei der Gestaltung des Gebäudes ein. Da deren Herstellung einen zusätzlichen Energiebedarf darstellt, liegt es nahe Massen in Gebäuden zur Wärmespeicherung heranzuziehen, welche bereits weitere Funktionen erfüllen, wie z.B. den statischen Lastabtrag. Der größte Teil der Masse findet sich bei den meisten Gebäuden im Fundament und den tragenden Bauteilen, wie z.B. Außenwänden bei Einfamilienhäusern. Letztere können durch wasserführende Rohre im Kern des Bauteils mit dem Heizsystem verbunden und aktiv beladen werden, vgl. Abbildung 1. Die Entladung der Wärme an den Raum erfolgt zeitversetzt und passiv durch den Temperaturgradienten zwischen Bauteil und Raumluft. Dies wird als Bauteilaktivierungen und die Bauteile als thermisch aktiviert bzw. TABS bezeichnet. Die Deckung der Heizlast zu jedem Zeitpunkt wird bei der Nutzung von TABS mittels einer zweiten Heizfläche, wie z.B. eine Fußbodenheizung, sichergestellt. Somit können ähnlich hohe solare Deckungsgrade und geringe Energiekosten erreicht werden, wie bei großen Pufferspeichern von Volumen bis zu 10 m³.

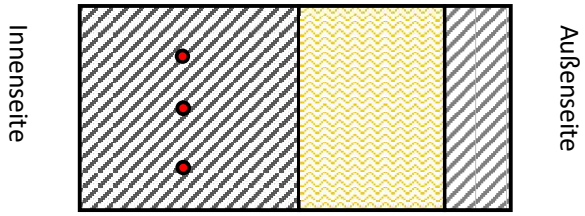


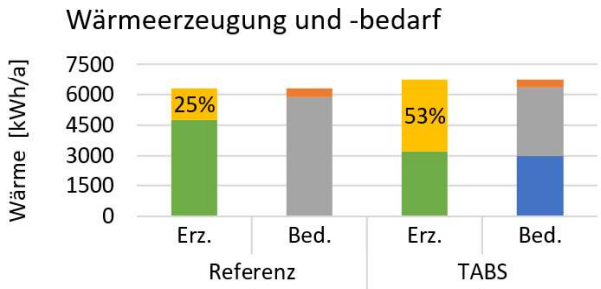
Abbildung 1: Schematischer Aufbau eines TABS Außenwand mit Aktivierung (rot) in der Tragschale (links), Dämmung (gelb) und Vorsatzschale (rechts)

Zur Umsetzung des Konzeptes in der Baupraxis müssen zum einen der ökonomische und ökologische Nutzen und zum anderen die baupraktische Umsetzbarkeit des Konzeptes nachgewiesen werden. Um eine optimale Nutzung der TABS als Wärmespeicher zu garantieren, sind die Einflüsse der baulichen und anlagentechnischen Parameter, wie z.B. Dicke der Tragschicht oder Größe des Kollektors der Solarthermie-Anlage, auf die Effizienz des Systems zu untersuchen.

Ökonomischer und ökologischer Nutzen

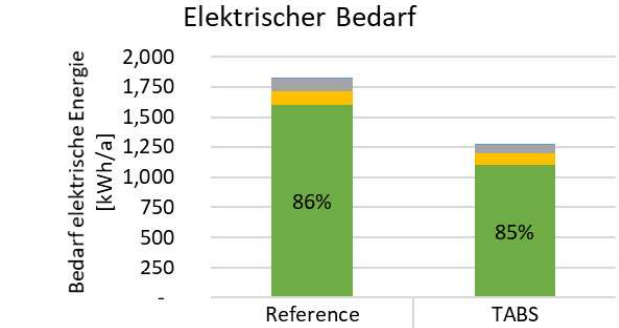
Der Nutzen der TABS wird an einem repräsentativen Einfamilienhaus nach [1] mit einer Wohnfläche von 140 m² untersucht. Dieses verfügt über eine Solarthermie-Anlage, als primärer Wärmeerzeuger,

und einer elektrischen Wärmepumpe, zur gesicherten Abdeckung des Wärmebedarfs. Ein ökonomischer und ökologischer Nutzen kann nur dann eintreten, wenn der Bedarf an elektrischer Energie, im Vergleich zu einer Referenz ohne TABS, reduziert wird. Abbildung 2 zeigt die Wärmebilanz des Gebäudes mit und ohne TABS. Deutlich ist zu erkennen, dass die Nutzung der TABS zu einem höheren Anteil an solarer Wärme an der Wärmeerzeugung führt. Dieser steigt von 25% auf 53%. Die Steigerung des solaren Ertrags um rd. 2.000 kWh/a führt zu einer Reduktion der Wärmeerzeugung der Wärmepumpe um rd. 1.500 kWh/a. Diese Verschiebung resultiert primär aus der höheren Speicherkapazität, durch die Nutzung der TABS als Wärmespeicher. Des Weiteren führt ein effizienterer Betrieb der Solarthermie-Anlage zu einem reduzierten elektrischen Bedarf, wodurch sich deren Jahresarbeitszahl von 13,5 auf 38,8 annähernd verdreifacht.



Verluste Pufferspeicher		432		397
Fußbodenheizung		5,836		3,313
TABS		-		2,995
Solarthermie	1,557		3,532	
Wärmepumpe	4,732		3,193	

Abbildung 2:Wärmebilanz: TABS - Referenz



Regelung	9	9
Fußbodenheizung	105	66
TABS	-	3
Solarthermie	115	91
Wärmepumpe	1,601	1,103

Abbildung 3: Jährlicher elektrischer Bedarf: TABS - Referenz

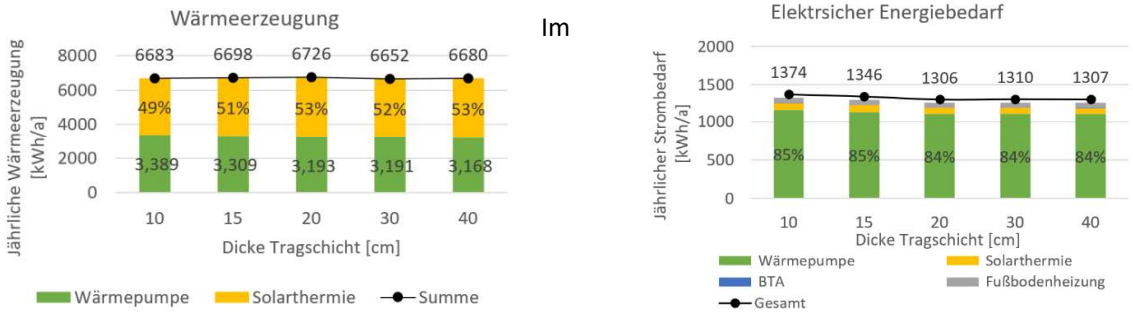
Diese Verschiebung der Wärmeerzeugung, hin zum effizienteren Wärmeerzeuger, führt auch zu einer deutlichen Reduktion des jährlichen Bedarfs an elektrischer Energie, wie Abbildung 3 zeigt. Dieser wird signifikant von rd. 1.900 kWh/a auf rd. 1.300 kWh/a, also um rd. 30% reduziert. Diese Reduktion geht vollständig auf den reduzierten Einsatz der Wärmepumpe zurück. Der leicht gestiegene Einsatz der Umwälzpumpen für TABS und Solarthermie reduzieren diese Einsparungen nur marginal. In beiden Fällen ist der Anteil der Wärmepumpe mit rd. 85% dominierend.

Einfluss der baulichen Parameter

Um einen flächendeckenden Einsatz des Konzeptes bei Neubauten zu erreichen, muss das Konzept auf möglichst viele Gebäude adaptierbar sein. Um die hierfür nötige allgemeingültige Empfehlung zur Auslegung der TABS zu erhalten wurden unterschiedlichste baukonstruktive und anlagentechnische Parameter per Simulation untersucht. Einer dieser Parameter ist die Dicke der aktivierten Tragschale. Wie Abbildung 4 (li.) zeigt bleibt die jährliche Wärmeerzeugung für alle untersuchten Varianten annähernd konstant bei 6.700 kWh/a. Im Gegensatz dazu führt die Erhöhung der Dicke der Tragschicht von 10 cm auf 20 cm zu einer Reduktion der Wärmeerzeugung der Wärmepumpe von rd. 3.400 kWh/a auf rd. 3.200 kWh/a. Diese Reduktion ist auf die höhere nutzbare Speicherkapazität der TABS zurückzuführen, welche eine Speicherung von solarer Wärme ermöglichen. Die annähernd konstante Wärmeerzeugung der Wärmepumpe bei höheren Bauteildicken ist auf die effektive

Eindringtiefe der Wärme in die Tragschicht zurückzuführen. Diese liegt bei 10 cm – in jede Richtung der Aktivierung – und führt somit zu einer effektiv nutzbaren Bauteildicke von 20 cm, unabhängig von der tatsächlichen Bauteildicke.

Dieses Verhalten spiegelt sich ebenfalls im jährlichen Bedarf an elektrischer Energie wieder, welcher bei einer Erhöhung der Dicke der Tragschale von 10 cm auf 20 von rd. 1.375 kWh/a auf 1.300 kWh/a, also um 5%, sinkt. Analog zur obigen Betrachtung resultiert diese Reduktion aus dem sinkenden Einsatz der Wärmepumpe mit steigender Dicke der Tragschale, vgl. Abbildung 4 (re.). Dies bedeutet, dass ab Sichtdicken von 20 cm die zusätzliche verfügbare Speicherkapazität, welche proportional zur Schichtdicke ist, nicht vollständig genutzt werden kann.



Im

Abbildung 4: Wärmebilanz: Einfluss Bauteildicke (li.) und jährlicher elektrischer Bedarf: Einfluss Bauteildicke (re.)

Rahmen der Forschung konnten sowohl die wichtigsten Einfluss-Faktoren, wie z.B. die Anlagentechnik, als auch Mindestanforderungen, wie z.B. eine Dämmung nach Gebäudeenergiegesetz, identifiziert werden. Somit ist es möglich allgemeingültige Empfehlungen zur Auslegung der TABS und der Anlagentechnik zu erarbeiten und so eine weite Verbreitung der TABS in Neubauten zu ermöglichen.

Umsetzbarkeit

Die Umsetzbarkeit des Konzeptes wurde, neben kleineren Bauteilversuchen, am Großdemonstrator „SmallHouse IV“ nachgewiesen. In diesem Testgebäude – 5 m x 8 m Nutzfläche – wurden die Außenwände als TABS ausgebildet, vgl. Abbildung 5. Das „SmallHouse IV“ wird wie oben beschrieben primär durch eine Solarthermie-Anlage versorgt. Somit kann die Speicherung von solarer Wärme zur Beheizung unter realen Bedingungen erforscht werden. Zudem konnten die verwendeten Methoden zur Erstellung der Gebäudemodelle sowie das thermische Modell der TABS anhand des Großdemonstrators verifiziert werden.

Abbildung 5: Herstellung TABS als Fertigteil mit weißen Aktivierungen (li.) und TABS im eingebauten Zustand mit Anlagentechnik rechts (re.)

References

[1] R. Heimrath, M. Haller, The Reference Heating System, the Template Solar System of Task 32: A Report of IEA Solar Heating and Cooling programme - Task 32 “Advanced storage concepts for solar and low energy buildings”, Graz, 2007.

BAUINGENIEURWESEN

TECHNISCHE UNIVERSITÄT KAISERSLAUTERN

Empfehlungen zur Auslegung von thermisch aktivierten Außenbauteilen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen von Wohngebäuden

Beitrag zum Energie-Campus 2020

Dipl.-Ing. Tillman Gauer
Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion & Fachgebiet Immobilienökonomie
TU Kaiserslautern

BAUINGENIEURWESEN

Ausgangslage

TECHNISCHE UNIVERSITÄT KAISERSLAUTERN

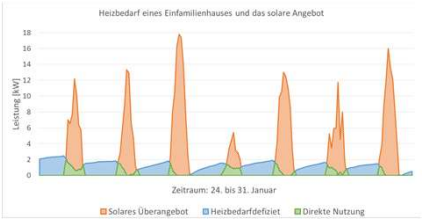
Ausgangslage
- Gebäude tragen signifikant zu den Treibhausgasemissionen bei, in Deutschland rd. 30%
- „Reduktion des Wärmebedarfs“ und „Nutzung Erneuerbarer Energien“ als zentrale Ansätze

Probleme:
- Bedarf kann durch zusätzliche Dämmung kaum noch gesenkt werden
- EE treten fluktuierend und nicht regelbar auf

⇒ Wärmespeicherung benötigt

- Sehr große Speicher, 5-15 m³, werden benötigt

⇒ Raumbedarf, zus. Last, Reduktion der architektonische Gestaltung



Oben: Angebot und Bedarf an Wärme für ein Einfamilienhaus

Rechts: rd. 2 m³ Pufferspeicher in einem Einfamilienhaus

BAUINGENIEURWESEN

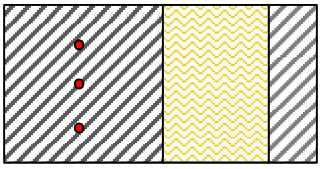
Lösungsansatz

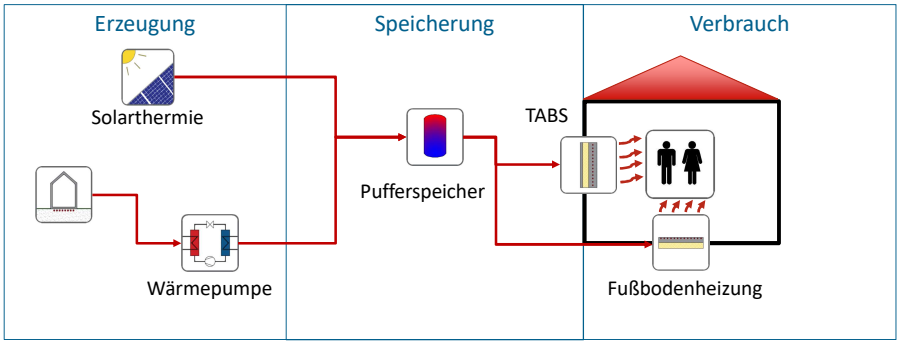
TECHNISCHE UNIVERSITÄT KAISERSLAUTERN

- Wärmespeicherung in Pufferspeicher UND therm. aktiviertem Bauteil (TABS)

⇒ Verhinderung von sehr großen Pufferspeichern von 5 – 15 m³, Pufferspeicher mit 0,3 m³ ausreichend

- Integration der TABS in das Heizsystem und Steuerung zur Maximierung der solaren Erträge





Oben: Außenwandquerschnitt mit thermischer Aktivierung (rot)

Links: Schematische Integration der TABS in das Heizsystem

BAUINGENIEURWESEN

Ergebnisse:

TECHNISCHE UNIVERSITÄT KAISERSLAUTERN

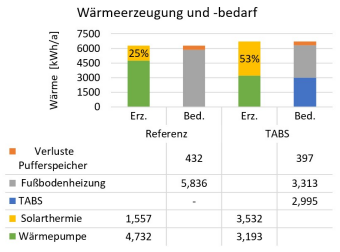
- Jährlicher Bedarf an elektrischer Energie kann um rd. 30% reduziert werden
- Reduktion resultiert primär aus der Verschiebung der Wärmeerzeugung hin zur Solarthermie
- Einfluss der relevanten baulichen und anlagentechnischer Parameter wurde festgestellt
  - Beispiel: Dicke der Tragschicht hat nur geringen Einfluss
- Ableitung von Mindestanforderungen, wie z.B. Außendämmung, und Empfehlung der Anlagentechnik, z.B. Größe des Solarthermiekollektors

⇒ Größe und Lage des aktivierten Bauteils maßgebend

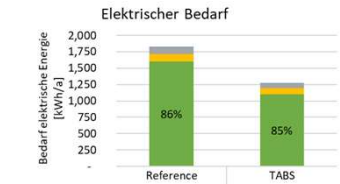
⇒ Solares Angebot bestimmt Einsparungen maßgeblich

- Ökonomische und ökologische Bilanz wird vom el. Bedarf des Heizsystems dominiert

⇒ Konzept für fast alle untersuchten Konfigurationen auch im Lebenszyklus vorteilhaft



	Referenz		TABS	
Verluste Pufferspeicher		432		397
Fußbodenheizung		5,836		3,313
TABS		-		2,995
Solarthermie	1,557		3,532	
Wärmepumpe	4,732		3,193	



	Reference	TABS
Regelung	9	9
Fußbodenheizung	105	66
TABS	-	3
Solarthermie	115	91
Wärmepumpe	1,601	1,103

BAUINGENIEURWESEN

Umsetzbarkeit und Ausblick

TECHNISCHE UNIVERSITÄT KAISERSLAUTERN

Umsetzbarkeit

- Konzept wurde im Großdemonstrator SmallHouse IV umgesetzt und wird kontinuierlich vermessen
- Grundfläche: 5m x 8m
- 15 m² Solarthermie und Sole-Wasser-Wärmepumpe

Ausblick

- Technologie auch potentiell einsetzbar bei
  - *demand side management* bei Wärmepumpen
  - Zeitvariablen Stromtarifen
  - *Prosumer*-Konzepten mit KWK, z.B. BHKW oder Brennstoffzellen

Oben: Herstellung TABS als Fertigteil mit weißen Aktivierungen
Unten: TABS im eingebauten Zustand mit Anlagentechnik rechts (re.)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Weitere Informationen und Projekte unter: Innovation-fertigteilbau.de und https://www.bauing.uni-kl.de/massivbau/home/

BAUINGENIEURWESEN

Quellen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT KAISERSLAUTERN

Folie 1: Eigene Darstellungen bzw. Aufnahmen
Folie 2: Eigene Darstellungen
Folie 3: Eigene Darstellungen
Folie 4: Aufnahmen durch C. Caspari und Heinrich