

FESTSTOFFSPEICHER

THEORETISCHE MÖGLICHKEITEN UND ERSTE PRAKTISCHE ERFAHRUNGEN



Bild 1: Versuchsaufbau eines Feststoffspeichermoduls mit Bodenmaterialien als Speichermedium (mit einer in der Entwicklung befindlichen regenerierbaren Vakuumisolierung)

Ein bekanntes Problem beim Einsatz von Solarkollektoren ist, dass diese nur relativ selten Nutzwärme zu einem Zeitpunkt bereitstellen können, an dem auch ein entsprechender Bedarf an Wärme besteht. Wärmespeicher sollen diese zeitliche Diskrepanz zwischen Angebot und Bedarf überbrücken. Fast immer wird Wasser als Speichermedium für die Wärme benutzt, weil dieses beispielsweise auch bei der Bereitstellung von Warmwasser direkt genutzt werden kann. Aber auch seine hohe Wärmekapazität spricht für dessen Nutzung. Hier soll nun ein alternatives Konzept für die Speicherung von solarer Wärme vorgestellt werden, das im Rahmen einer noch nicht abgeschlossenen Dissertation (TU-Berlin, Professor F. Ziegler) simulationstechnisch untersucht und in einem Privatgebäude zu großen Teilen umgesetzt worden ist.

Dieses Konzept weist im Vergleich zur Verwendung von Wasserspeichern zwei grundsätzliche Unterschiede auf: zum einen die Nutzung von Bodenmaterialien für die Wärmespeicherung, zum anderen die Verwendung von Röhrenkollektoren in einer Art, die es erlaubt,

deren kompletten Temperaturbereich zu nutzen. Letzteres hat zur Folge, dass es nicht zur Abschaltung durch hohe Speichertemperaturen und zur Stagnation durch Erreichen von maximalen Speichertemperaturen kommt.

Übliche Bodenmaterialien unterscheiden sich von Wasser darin, dass es sich um Feststoffe handelt – deshalb auch die Bezeichnung Feststoffspeicher – und dadurch, dass die Materialeigenschaften Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit teilweise deutlich niedriger ausfallen. Diese drei Unterschiede führen dazu, dass sich die internen Vorgänge im Speicher von denen eines Flüssigkeitsspeichers erheblich unterscheiden können. Um die sich daraus ergebenden Vorteile und Nachteile untersuchen zu können, wurde ein Simulations-System entwickelt. Dieses erlaubt es, das saisonale Verhalten von Kombinationen aus Heizwärmeverbrauchern, Kollektoren und Feststoffspeichern, die sich außerhalb des Gebäudes befinden, unter bestimmten Witterungsbedingungen nachzubilden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde die Bereitstellung von Warmwasser nicht mit betrachtet.

Theoretische Deckungsgrade für Einfamilienhäuser aus dem Bestand

Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag dabei auf der Nachbildung von Systemen, die Heizungen von üblichen Einfamilienhäusern aus dem Bestand unterstützen sollen. Die möglichen Deckungsgrade für drei Haustypen, die sich in ihrem Heizwärmebedarf unterscheiden, in Kombination mit unterschiedlichen Speichergrößen und Kollektorflächen, zeigt Bild 2, die dazugehörigen Definitionen zeigt Tabelle 1. In Bild 3 sind zusätzlich die sich ergebenden jährlichen Nutzwärmeerträge pro Quadratmeter Kollektorfläche aufgeführt.

Die zu Grunde liegenden Simulationen gehen von realen Witterungsbedingungen der Jahre 1996 bis 2000 und einem anfangs leeren Speicher aus. Die gezeigten Deckungsgrade und Nutzwärmeerträge sind jeweils der Mittelwert aus acht Untersuchungen, bei denen der Haustyp und der Kolleortyp gleich bleiben, aber der Typ des Feststoffspeichers variiert. Die Variationen entstehen durch die Annahme von zwei Materialtypen, zwei Speichertypen und zwei Arten den Speicher in Segmente/Schichten aufzuteilen und entsprechend zu betreiben. Die Ergebnisse der Simulationen zeigen, dass immer wesentliche Anteile, hier zwischen vierundfünfzig und achtundachtzig Prozent, des Heizwärmebedarfes durch den Einsatz eines Feststoffspeichers gedeckt werden können und damit das Konzept der Speicherung von solarer Wärme in Feststoffen sinnvoll ist. Desweiteren zeigt sich, dass Verbraucher mit höheren Wärmebedarfen, in der Regel ältere Gebäude, bedingt durch die kürzeren Speicherzeiten und besseren Kollektorerrträgen, die Kollektoren effektiver nutzen können.

Den Abbildungen nicht zu entnehmen ist, dass die auftretenden Wärmeverluste ungefähr bei einem Drittel der zugeführten Wärme liegen.

Ein einfacher Vergleich von Feststoffspeichern mit einem Flüssigkeitsspeicher

Ein weiterer Untersuchungsschritt sollte Aufschlüsse darüber geben, wie die möglichen Nutzwärmeerträge bei der Verwendung von Bodenmaterialien im Vergleich zu Wasser ausfallen. Boden-

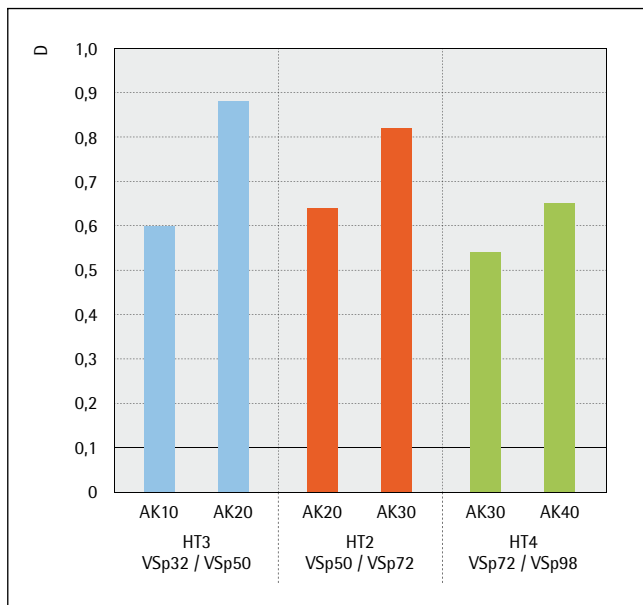


Bild 2: Mittelwert des erzielten Deckungsgrads D über fünf Jahre (1996 bis 2000) für drei Haustypen. Diese wurden jeweils mit zwei Kollektorflächen, zwei Materialien, zwei Speichergrößen und zwei Betriebsstrategien kombiniert.

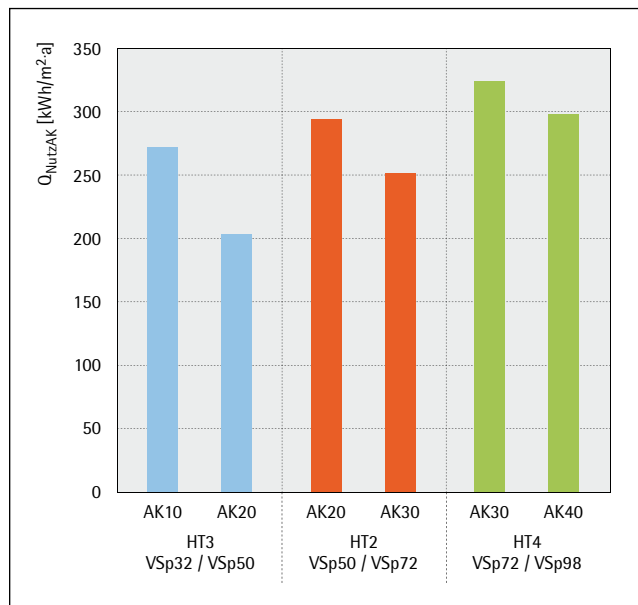


Bild 3: Die jährlichen Nutzwärmeerträge Q_{NutzAK} [kWh/m²-a] pro Quadratmeter Kollektorfläche

materialien haben immer eine niedrigere Wärmekapazität und meist eine niedrigere Wärmeleitfähigkeit als Wasser. Das Simulations-System ist im Prinzip für die Nachbildung von Vorgängen in Feststoffen und nicht für die Vorgänge in Flüssigkeiten ausgelegt. Wenn man aber dafür sorgt, dass beispielsweise im oberen Bereich des Speichers immer die höchste Speichertemperatur herrscht, ist es auch möglich Wasserspeicher mit einer ausreichenden Genauigkeit zu simulieren.

Bild 4 zeigt die Ergebnisse des Vergleichs von fünf Speicher-Materialtypen (M1, M4, M5, M8 und M9, siehe Tabelle 1) mit dem Materialtyp M12, der die Eigenschaften von Wasser besitzt. Für alle Untersuchungen wurde das Speichervolumen gleichgehalten. Beim System mit dem Materialtyp M12 wurde, wie für Wasserspeicher üblich, zusätzlich die Speichertemperatur auf maximal 95°C begrenzt. Der für die Simulation benutzte Speicher war in vier gleiche Segmente aufgeteilt. Er wurde von oben nach unten beladen, die Entladung erfolgte von unten nach oben. Der untersuchte Zeitraum betrug zwei Jahren, wobei der Speicher anfangs wieder leer war. Wie erwartet unterschieden sich die jährlichen Nutzwärmeerträge der Speicher-Materialtypen von denen, die mit dem Material M12 erzielt wurden. Interessanterweise waren die Abweichungen jedoch nicht immer negativ, sondern häufig auch positiv. Bessere Jahresnutzwärmeerträge können also mit Materialien erzielt werden, die eine niedrigere Wärmekapazität und/oder Wärmeleitfähigkeit als Wasser haben. Auf jeden Fall stehen die Verände-

rungen in keinem Verhältnis zu den Veränderungen der Materialeigenschaften. So führt beispielsweise eine Reduktion der Wärmekapazität um die Hälfte nicht zu einer Halbierung des Wärmeertrags, die Reduktion fiel deutlich geringer aus. Für den Fall eines leeren Speichers (M1, Jahr 1) kann der Wärmeertrag im Vergleich sogar positiv ausfallen.

Welchen Einfluss die gewählten Materialeigenschaften auf die Temperatur im Speicher haben, soll an einem Beispiel in Bild 5 gezeigt werden. Die Abbildung zeigt die Temperaturverläufe in den oberen Segmenten, in denen die höchsten Temperaturen auftreten, für die beiden Materialtypen M4 (1/2 Wärmekapazität

von M12) und M12. Die Begrenzung der Beladetemperatur für das Material M12 ist sehr gut zu erkennen, zudem führt die geringere Wärmekapazität von M4 nur zu einer Temperaturerhöhung von gut zwanzig Kelvin. Zu erwähnen ist, dass die Begrenzung der Beladetemperatur beim Material M12 nur an wenigen Tagen auftritt und nur zu einer Reduktion der Wärmezufuhr von einem Prozent im ersten Jahr und zwei Prozent im zweiten Jahr führt.

Die erzielten Unterschiede bei den Materialtypen lassen sich im Wesentlichen dadurch erklären, dass zum einen bei niedriger Wärmekapazität früher der Zeitpunkt erreicht wird, ab dem eine

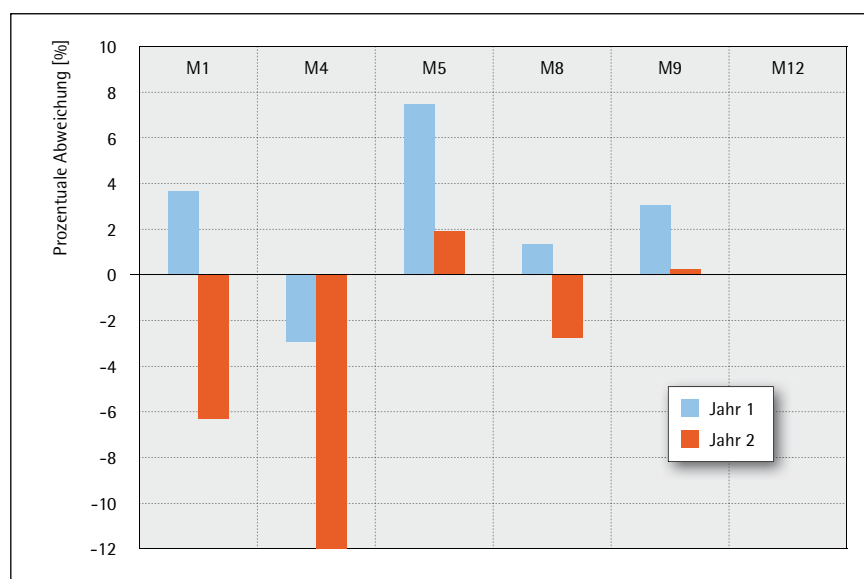


Bild 4: Die prozentualen Abweichungen beim erzielten jährlichen Nutzwärmeertrag von fünf unterschiedlichen Materialtypen zum Material M12 (hat die Materialdaten vom Wasser)

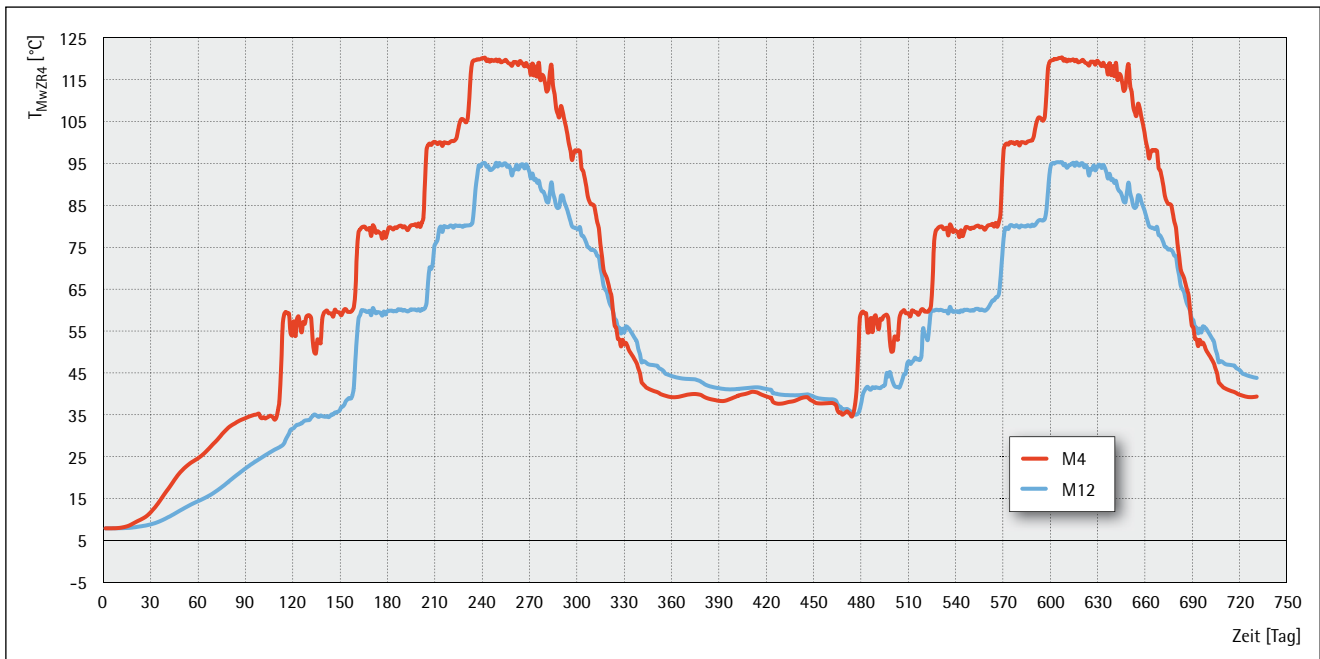


Bild 5: Die Temperaturverläufe im obersten der vier Segmente der untersuchten Speicher

Wärmeentnahme möglich ist und zum anderen dadurch, dass eine niedrigere Wärmeleitfähigkeit sich positiv auf das Wärmeverhalten des Speichers auswirkt.

Möglichkeiten der direkten Nutzung von Kollektorströmen

Bei den obigen Betrachtungen wurde die solar gewonnene Wärme immer in den Feststoffspeicher geleitet und nicht direkt, das heißt ohne Zwischenspeicherung genutzt. Unabhängig vom verwendeten Speichertyp ist eine direkte Verwendung des Kollektorströmes problematisch: Die Verfügbarkeit ist schlecht vorhersehbar und Standard-Heizungen sind normalerweise nicht für stärkere Schwankungen im Wärmebedarf ausgelegt, wenn zum Beispiel die Kollektorwärme direkt zur Temperaturerhöhung des Heizungsrücklaufes verwendet werden soll.

Lässt man diese Probleme aber außer Acht, würden sich rein rechnerisch – unter Randbedingungen wie bei den obigen Untersuchungen und bei einer Kollektorfläche von zwanzig Quadratmetern – Steigerungen bei der Jahresnutzwärme von fünfzehn bis zwanzig Prozent ergeben. Der jährliche Kollektorström würde sich dabei um gut sechshundert kWh erhöhen. Eine mögliche Vorgehensweise, diesen nicht unerheblichen Betrag zumindest teilweise zu nutzen, wird im Folgenden näher beschrieben.

Eine erste praktische Umsetzung

Die ersten positiven Simulationsergebnisse haben mich dazu veranlasst, in meinem Einfamilienhaus zusätzlich zu dem

vorhandenen Warmwasserspeicher zwei Feststoffspeicher zu installieren.

Der erste der beiden füllt einen kompletten Kellerraum aus und besteht aus gut fünfundzwanzig Kubikmetern Bodenmaterial, das zwar umfassend, aber nicht überall gleich stark wärmegeämmt ist. Die Flächen zu angrenzenden Wohnräumen sind weniger stark gedämmt, so dass die auftretenden Wärmeverluste zur Erwärmung dieser Wohnräume beitragen, ohne sie zu überhitzen. Wenn der Warmwasserspeicher auf seine Solltemperatur gebracht ist, wird mit der Beladung dieses ersten Speichers begonnen. Sobald ungefähr 40 °C erreicht sind, beginnt die Entladung. Sie wird beendet, sobald die Temperatur unter diese Schwelle fällt. Zur Wärmeentnahme wird der komplette Rücklauf der Heizung durch diesen Speicher geführt. Die Konstruktion der Abgrenzung des Erdreiches zum eigentlichen Keller ist unkompliziert umgesetzt worden, wie in Bild 6 und 7 dargestellt.

Mit der Installation des zweiten Speichers sollte ein Problem gemindert werden, das bei allen Kollektoren unabhängig vom Speichertyp auftritt: Es betrifft die (Nicht-)Verwendung der in der Anlage vorhandenen Energie zum Abschaltzeitpunkt der Pumpe (Stagnation durch niedrige Kollektortemperatur). Diese theoretisch noch nutzbare Energie ist von der Größe der Kollektoren und der Höhe der aktuellen Abschalttemperatur abhängig. Im Fall meines Systems lag diese schon relativ früh im Jahr in einem Bereich, der durchaus noch nutzbar gewesen wäre. Daher habe ich einen zweiten, nur wenige Kubikmeter großen Feststoffspeicher unterhalb des Bade-

zimmerfußbodens im Keller installiert. Dieser Speicher ist bis auf seine Oberfläche sehr gut wärmegeämmt, so dass die permanenten Wärmeverluste den Badezimmerfußboden erwärmen können. Ein Großteil des Heizwärmebedarfs wird so,



Bild 6: In dieser Abbildung kann man im Hintergrund Holzwände, die vor der eigentlichen Kellerwand mit Abstand montiert wurden. In der Lücke (Holzwand-Kellerwand) befindet sich Isoliermaterial (Glaswolle). Auf dem Boden befindet sich schon eine Schicht Erdmaterial, auf der mäanderförmig Kupferrohr verlegt wurde.



Bild 7: In dieser Abbildung ist der Aufbau der Grundfläche (auf dem das Erdmaterial ruht) zu sehen. Diese besteht (von unten nach oben) aus Betonfußboden, Styropor, Vakuum-Isolierung, Glaswolle und dann Holz.

Bezeichnung	Bedeutung	
HT3	Haustyp mit 5.000 kWh/a* Jahresheizwärmebedarf	
HT2	Haustyp mit 10.000 kWh/a* Jahresheizwärmebedarf	
HT4	Haustyp mit 20.000 kWh/a* Jahresheizwärmebedarf	
AK10	Kollektorfläche 10 m ²	
AK20	Kollektorfläche 20 m ²	
AK30	Kollektorfläche 30 m ²	
AK40	Kollektorfläche 40 m ²	
VSp32	Feststoffspeicher mit Volumen von 32 m ³	
VSp50	Feststoffspeicher mit Volumen von 50 m ³	
VSp72	Feststoffspeicher mit Volumen von 72 m ³	
VSp98	Feststoffspeicher mit Volumen von 98 m ³	
M1	½ Wärmekapazität von M12	¼ Wärmeleitfähigkeit von M12
M4	½ Wärmekapazität von M12	gleiche Wärmeleitfähigkeit wie M12
M5	¾ Wärmekapazität von M12	¼ Wärmeleitfähigkeit von M12
M8	¾ Wärmekapazität von M12	gleiche Wärmeleitfähigkeit wie M12
M9	gleiche Wärmekapazität wie M12	¼ Wärmeleitfähigkeit von M12
M12	Wärmekapazität wie H ₂ O	Wärmeleitfähigkeit wie H ₂ O

Tabelle 1: Erklärung der verwendeten Bezeichnungen (*wenn als Witterungsbedingungen langjährige Mittelwerte angenommen werden)

unterstützt durch die Wärmeverluste des angrenzenden ersten Speichers, gedeckt. Im Winter übernimmt die konventionelle Heizung diese Aufgabe.

Feststoffspeicher in Modulbauweise

Mit Feststoffspeichern können – wie oben gezeigt – problemlos sinnvolle Anlagen zur Nutzung von solarer Wärme gestaltet werden. Jedoch ist eine Kombination aus einem großen und kleinen Speicher nicht immer praktisch umsetzbar, um solare Wärme zumindest teilweise direkt nutzen zu können. Dann bietet sich als Lösung der Einsatz von einem oder mehreren kleineren Speichermodul(en) an. Bild 1 zeigt den Versuchsaufbau eines solchen Speichermoduls. Dieses ist mit einer in der Entwicklung befindlichen regenerierbaren Vakuum-Isolierung versehen, die Betriebstemperaturen bis zu 160°C standhält. Der Einsatz von Standardisolierrmaterial, solange dieses für höhere Temperaturen ausgelegt ist, ist problemlos möglich. Ein Speicher mit entsprechender Kapazität könnte beispielsweise Kaltwasser auf Warmwasserniveau erwärmen und gleichzeitig eine Erhöhung der Temperatur des Heizungsrücklaufs für ein oder zwei Tage sicherstellen. Solare Wärme könnte somit fast direkt genutzt werden, da die Speicherzeiten entsprechend kurz wären. Für eine längerfristige Wärmespeicherung könnte dieses Modul dann in Kombination mit einem größeren Speicher oder auch mehreren kleineren Speichermodulen betrieben werden.

Auch wenn eine hundertprozentige solare Deckung des Jahreswärmebedarfs mit großer Kollektorfläche vorstellbar

ist, wird wahrscheinlich immer ein „normales“ Heizungssystem vorhanden sein. Beispielsweise könnte eine elektrische Wärmepumpe zum Einsatz kommen: Sind ein größerer Speicher und ein kleineres Modul vorhanden, so könnte diese Pumpe durch Abkühlung des größeren Speichers das kleinere Modul auf Nutzttemperatur erwärmen. Dadurch, dass der größere Speicher immer eine Wärmequelle mit relativ hoher Temperatur ist, kann die Wärmepumpe besonders effektiv betrieben werden. Noch verbessert werden könnte dies, wenn sie hauptsächlich dann eingesetzt würde, wenn im Netz Überschussstrom vorhanden ist.

Zusammenfassung

Die theoretischen Untersuchungen als auch die ersten praktischen Erfahrungen lassen erkennen:

Systeme mit Feststoffspeicher/n für solare Wärme, auch in Kombination mit Flüssigkeitsspeichern, bieten vielfältige Möglichkeiten, den regenerativen Anteil bei der Bereitstellung von Wärme deutlich zu erhöhen. Dies gilt insbesondere dann, wenn man Stagnation der Kollektoren bei hohen Temperaturen vermeidet und jede vom Kollektor gewinnbare Kilowattstunde Wärme durch Bereitstellung von Wärmesenken mit niedrigen Temperaturen sinnvoll nutzt.

Die oben erwähnten Feststoffspeicher in Modulbauweise können darüber hinaus mit einem auf den jeweiligen Einsatzort abgestimmten Volumen erstellt werden, so dass auch Gebäude aus dem Bestand flexibel damit nachrüstbar sind und zumindest teilweise solar beheizt werden können. Wie wichtig dies ist, zeigen die vor kurzem vom Statistischen Bundesamt (2015) veröffentlichten Zahlen über den Energiebedarf zur Raumwärme, der seit 1995 nämlich nur um elf Prozent von gut neunzehnhundert PJ auf gut siebzehnhundert PJ im Jahr 2013 gefallen ist und weiterhin zu großen Teilen mit fossilen Brennstoffen gedeckt wird.

ZUM AUTOR:

► J.A. Kroll

Selbstständiger Ingenieur und externer Promotionsstudent bei Professor Ziegler, TU-Berlin

J.A.Kroll@kabelmail.de

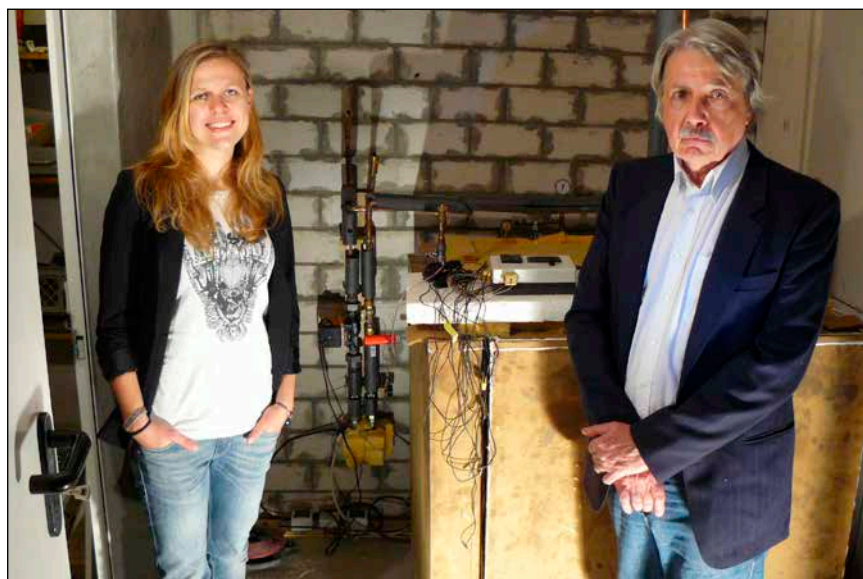


Bild 8: Wenn junge Leute wie Heinke heute lernen, dass neuzzeitliche luftdichte, extrem wärmeisolierte Gebäude als ungesund angesehen werden können, so versuche ich deutlich zu machen, wie die Nutzung von solarer Wärme einen Beitrag leisten kann, zukünftig gesündere Gebäude zu schaffen.