

Concrete cisterns used for solar energy storage
– Results of application-oriented research and development

Betonzisternen als Solarspeicher
– Ergebnisse anwendungsorientierter Forschung und Entwicklung

Autoren



Prof. Dr.-Ing. Harald Garrecht,
TU Darmstadt
garrecht@massivbau.tu-darmstadt.de

Geb. 1957; Studium Bauingenieurwesen an der Universität Karlsruhe, 1985–1992 Wissenschaftlicher Mitarbeiter dort am Institut für Massivbau und Baustofftechnologie; 1992 Promotion; 1992–1998 Oberingenieur in der Abteilung Baustofftechnologie des o.g. Instituts; 1998 Professur für Baustoffe, Bauphysik und Baukonstruktion an der Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft; seit 2006 Professur für Werkstoffe im Bauwesen an der Technischen Universität Darmstadt, Institut für Massivbau.

In order to protect our environment, a more comprehensive use of renewable energy systems is required. In summer, for example, solar collector systems can be used to heat water. In the winter season, however, the amount of solar energy available is not sufficient to supply the energy needed for heating and hot water. Yet the amount of solar energy supplied in summer could be utilized if the heat generated during this period was stored until the winter season in order to implement a partial solar heating system. However, this method would require suitable reservoirs to store solar energy.

As part of an AIF-funded research project (PRO INNO II) on the “optimization of the use of renewable energy sources on the basis of solar heat in concrete storage tanks”, Thumshirn Bausysteme, Mühlbauer Solartechnik, the Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft (University of Applied Sciences) and Darmstadt University of Technology entered into a cooperation to investigate options to efficiently use solar heat in conjunction with heat storage in underground concrete cisterns. The individual system components were optimized in terms of their efficiency. In this project, concrete cisterns were



Fig. 1 Installation of the concrete cistern with thermal insulation on its outer cylinder surfaces.

Abb. 1 Einbau des auf den Zylindermantelflächen gedämmten Betonbehälters.

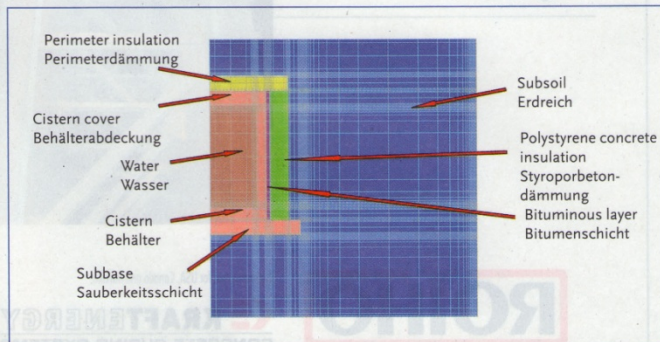


Fig. 2 Discretization of the concrete cistern lowered into the ground as a solid of revolution.
Abb. 2 Diskretisierung des im Erdreich abgesenkten Betonbehälters als Rotationskörper.

Zum Schutz der Umwelt wird die intensivere Nutzung regenerativer Energiesysteme gefordert. So kann die Warmwasserbereitung im Sommer über thermische Solaranlagen erfolgen. Im Winter reicht das solare Energieangebot jedoch nicht aus, den Energiebedarf für Heizen und Warmwasserbereitung zu decken. Doch ließe sich das sommerliche Solarangebot nutzen, sofern die erzeugte Wärme bis in die kältere Jahreszeit geführt werden könnte, um mit ihr teilsolar zu heizen. Hierfür wären aber geeignete Solarspeicher erforderlich.

Im Rahmen eines AIF-Fördervorhabens (PRO INNO II) zur „Optimierung der Nutzung regenerativer Energien auf Basis solar erzeugter Wärme in Betonspeichern“ wurden in Kooperation mit den Firmen Thumshirn Bausysteme und Mühlbauer Solartechnik sowie der Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft und der Technischen Universität Darmstadt die Möglichkeiten der effizienten Nutzung solar erzeugter Wärme im Zusammenspiel mit einer Wärmeeinspeicherung in unterirdischen Betonspeichern untersucht und die einzelnen Systemkomponenten hinsichtlich ihres Wirkungsgrads optimiert. Im Vorhaben wurden Betonbehälter eingesetzt und weiterentwickelt, die in wirtschaftlicher Weise industriell gefertigt werden. Es handelt sich um monolithische Betonbehälter der Firma Thumshirn, die als Regenwasserspeicher angeboten werden (Abb. 1).

Ziel der ersten Projektphase war es, den Prototypen eines Betonenergiespeichers herzustellen. Hierfür sollten geeignete Betonrezepturen entwickelt und wärmetechnisch wie auch systemspezifisch geeignete Dämmmaterialien gefunden werden. Zur Optimierung der Wärmedämmschichtdicke wurde der Wärmeabfluss über die Behälterwandung an das umgebende Erdreich untersucht. Herstellungsbedingt wurde ein mineralisches Dämmsystem bevorzugt, dessen Verhalten in Abhängigkeit von Be- und Entladung des Speichers mittels numerischer Simulation analysiert wurde (Abb. 2). Zudem wurde ein messtechnisches Konzept entwickelt, um das tatsächliche Wärmeverhalten des Betonspeichers im Feldversuch unter konditionierten und natürlichen Einwirkungen zu analysieren.

Die zweite Projektphase beinhaltet die messtechnische Erfassung des Prototypsystems in seinem statischen und dynamischen Verhalten. Verschiedenste Be- und Entladeszenarien wurden beobachtet, sodass Prof. Dorschner und sein Team an der Hochschule Karlsruhe mathematische Modelle für Regelungsstrukturen des Systems aus Solarkollektorfeld, Verbraucher und Betonspeicher entwickeln konnten.

Um im Betonspeicher erwärmtes Wasser einspeichern zu können, mussten zunächst betontechnologische Entwicklungen vorgenommen werden, damit der Betonbehälter dauerhaft den Einwirkungen durch das solar erwärmte Wasser wie auch der Feuchte aus dem Erdreich widerstehen kann. Aus Kostengründen sollte auf eine er-

used and further developed that had been manufactured cost-efficiently on an industrial scale. These monolithic concrete reservoirs are produced by Thumshirn and normally sold as rainwater cisterns (Fig. 1).

The first project phase aimed to manufacture the prototype of a concrete energy storage reservoir. For this purpose, suitable mix designs were to be developed. In addition, insulating materials were to be identified that offered a sufficient thermal performance while meeting the specific system requirements. In order to optimize the thickness of the heat-insulating layer, the degree of heat transmission from the cistern walling to the surrounding soil was investigated. Due to specific features of the manufacturing process, a mineral insulation system was preferred. Its behavior was analyzed depending on loading and unloading of the cistern, using a numerical simulation (Fig. 2). In addition, a measurement concept was developed to log the actual thermal behavior of the concrete cistern in the field both under conditioned and natural impact.

The second project phase included series of measurements of parameters describing the static and dynamic behavior of the prototype system. A wide range of loading and unloading scenarios was recorded so that Prof. Dorschner and his team at Karlsruhe University of Applied Sciences could develop mathematical models as a basis for control patterns to be used for the system consisting of solar collector field, load and concrete cistern.

In order to store hot water in the concrete cistern, some concrete technology modifications had first to be implemented in order for the concrete cistern to permanently resist the impact generated by solar-heated water and moisture in the surrounding soil. For cost reasons, no additional coating was to be applied to the concrete. Therefore the mixes selected needed to be tested to establish their mechanical characteristics, absence of cracks, imperviousness, durability and resistance to chemical attack. To limit heat loss, an insulating material was to be used that was applied at the precast plant and was strong enough to withstand the loads and stresses acting on the concrete cistern during its transport and installation (Fig. 3). In addition, the insulating material had to retain its heat-insulating effect over the service life of the concrete storage reservoir. The research project resulted in new findings regarding the storage of solar-heated water on concrete cisterns. The composition of the concrete was optimized, and the effects on thermal expansion at constantly fluctuating temperatures were investigated. The precast producer had to make appropriate structural modifications to prevent stress cracking. To date, no leaching of the uncoated concrete surface was observed during the test phase. The long-term monitoring scheme is being continued. A low-cost, durable thermal insulation material could be developed from recycled insulating material, and directly cast onto the concrete to create a firm bond. The prototype being used in the field needs to be monitored over a longer period in order to arrive at a reliable assessment of a service life of at least 25 years.

gänzende Beschichtung des Betons verzichtet werden. Hierfür mussten die ausgewählten Betonrezepturen hinsichtlich mechanischer Eigenschaften, Rissfreiheit, Dichtheit, Dauerhaftigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen chemischen Angriff untersucht werden. Zur Begrenzung der Wärmeverluste sollte eine Dämmung zum Einsatz kommen, die werksseitig aufgebracht werden sollte und die den Beanspruchungen beim Transport und Einbau des Betonspeichers standhält (Abb. 3). Zudem muss das Dämmmaterial in der Lage sein, seine Wärmedämmwirkung über die Lebensdauer des Betonspeichers beizubehalten. Als Ergebnis konnten aus dem Forschungsprojekt neue Erkenntnisse zur Speicherung solarthermisch erhitzten Wassers in Betonspeichern abgeleitet werden. So wurden die Materialzusammensetzung des Betons optimiert und Auswirkungen auf die thermische Dehnung unter stets schwankenden Temperatureinflüssen untersucht. Seitens des Betonfertigteilherstellers mussten konstruktive Maßnahmen zur Vermeidung von Spannungsrisen vorgesehen werden. Ein Auslaugen der unbeschichteten Betonoberfläche konnte in der bisherigen Versuchsphase nicht beobachtet werden. Langzeitbeobachtungen werden fortgeführt. Eine preiswerte und dauerhafte Wärmedämmung konnte aus recykliertem Dämmmaterial entwickelt und direkt an den Betonkörper im Verbund angegossen werden. Der im Feldeinsatz befindliche Prototyp muss über eine längere Phase beobachtet werden, um eine sichere Bewertung einer Lebensdauer von mindestens 25 Jahren vornehmen zu können.



Dipl.-Ing. (FH) Tanja Brecht, Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
 tanja.brecht@hs-karlsruhe.de
 Geb. 1978; Baubetriebsstudium an der Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft; 2006–2008 Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe Prof. Garrecht an der Hochschule Karlsruhe, Projektbearbeitung des ProInno II Vorhabens „Optimierung der Nutzung regenerativer Energien auf Basis solar erzeugter Wärme in Betonspeichern“; seit 2009 Bundesanstalt für Wasserbau in Karlsruhe.

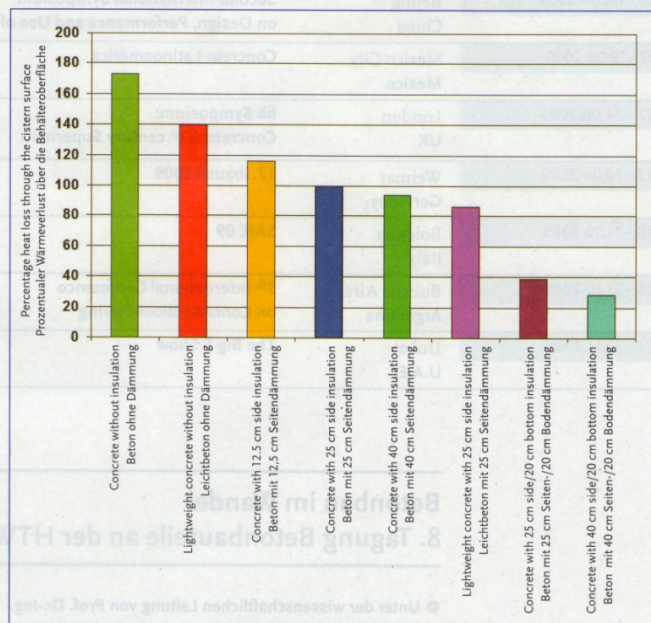


Fig. 3 Percentage heat loss for several heat insulation scenarios applied to the concrete storage reservoir. As a rule, the cistern lid is always covered by an insulating layer. All other enveloping surfaces are insulated as shown in the key.

Abb. 3 Prozentualer Wärmeverlust für verschiedene Dämmenszenarien des Betonspeichers. Grundsätzlich ist der Behälterdeckel stets mit einer Dämmlage abgedeckt. Alle anderen Hüllflächen sind entsprechend der Legende gedämmt.