



Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Massivbau und Baukon-
struktion

Baukonstruktion und Fertigteilebau

Paul-Ehrlich-Straße
Gebäude 14, Raum 570
67663 Kaiserslautern

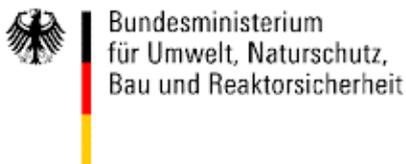
Telefon: 0631 205-3083
Telefax: 0631 205-3555
matthias.pahn@bauing.uni-kl.de
www.bauing.uni-kl.de

Kurzbericht zum Forschungsprojekt

Thermisch aktivierte Sandwichschwimmkörper für das Bauen auf dem Wasser

(Aktenzeichen: II 3-F20-11-1-067/ SWD – 10.08.18.7 – 13.18)

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt



des Berichtes liegt beim Autor.

Projektbeteiligte: Prof. Dr.-Ing. Matthias Pahn
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schnell
Prof. Dr.-Ing. habil. Horst Stopp
M.Sc. Martin Kiesche
Dr.-Ing. Wolfgang Schmidt
Dipl.-Ing. (FH) Torsten Toepel

Datum: Dezember 2015

Inhaltsverzeichnis

1	Anlass.....	3
2	Durchführung des Forschungsvorhabens.....	3
2.1	Stand der Technik und Funktionalität eines schwimmenden Bauwerks.....	3
2.2	Einwirkungen auf schwimmende Bauwerke.....	3
2.3	Wasserundurchlässigkeit.....	4
2.4	Selbstheilung von Beton.....	4
2.5	Thermisch aktivierte Vorsatzschale.....	5
2.6	Großdemonstrator.....	5
3	Eckdaten.....	6
4	Literaturverzeichnis.....	7
5	Abbildungen.....	8

1 Anlass

Das weltweite Bevölkerungswachstum und der steigende Meeresspiegel führen u.a. zu einer Verknappung von Bauflächen. Durch das Bauen auf dem Wasser kann dieser Verknappung entgegen gewirkt werden. Ebenfalls ist der Einsatz von schwimmenden Bauwerken für die Tourismusbranche interessant, wodurch neue Wirtschaftszweige in industriearmen Regionen entstehen. Das Forschungsvorhaben wurde in Kooperation der Technischen Universität Kaiserslautern und der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus/Senftenberg bearbeitet.

2 Durchführung des Forschungsvorhabens

2.1 Stand der Technik und Funktionalität eines schwimmenden Bauwerks

Derzeit werden in Deutschland schwimmende Bauwerke auf Pontons gebaut, die einzig der Sicherung des Auftriebs dienen und keine Innenraumnutzung zulassen. Die Pontons bestehen aus stählernen Kästen oder aus einer ausgeschäumten Stahlbetonglocke. In den Niederlanden werden gegenwärtig schwimmende Pontons mit Innenraumnutzung aus Ortbeton in WU – Bauweise hergestellt. Die Versorgung der Wohnräume zur Deckung des Heiz- und/oder Kühlenergiebedarfs werden gegenwärtig über flexible Rohrsysteme sichergestellt, die mit dem Festland verbunden sind. Eine autarke Versorgung des schwimmenden Bauwerks mit Heiz- oder Kühlenergie ist derzeit einzig über Photovoltaikpaneele und/oder Solarthermie Kollektoren möglich. Diese Systeme sind kostenintensiv. Das umgebende Wasser bietet ein unerschöpfliches Energiereservoir an, welches zum Heizen oder Kühlen genutzt werden kann. Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, ein schwimmendes Untergeschoss mit möglicher Innenraumnutzung in Sandwichbauweise mit einer thermisch aktivierten Vorsatzschale zu entwickeln und zu errichten. Das umgebene Energiereservoir wird durch eine außenliegende thermisch aktivierte Vorsatzschale erschlossen. Die thermisch aktivierte Vorsatzschale wird durch eine Kerndämmschicht vom Innenraum thermisch entkoppelt. Die innere Tragschale des Sandwichquerschnitts dient dem Lastabtrag der Einwirkenden Lasten auf einen Schwimmkörper.

2.2 Einwirkungen auf schwimmende Bauwerke

Zur Bemessung eines schwimmenden Untergeschosses in Sandwichbauweise sind Einwirkungen auf das Tragwerk zu bestimmen und in Einwirkungskombinationen zusammenzufassen. Neben den herkömmlichen Einwirkungen auf ein Tragwerk, ist der ständige Wasserdruck, die dynamische Wellenbelastung und dem thermischen Eisdruck infolge einer geschlossenen Eisdecke zu beachten. Durch den Wärmeaustausch über die thermisch aktivierte Vorsatzschale wird der thermische Eisdruck auf das Tragwerk maßgeblich verringert. Infolge dem Ausfall der thermisch aktivierten Vorsatzschale wird der thermische Eisdruck als außergewöhnliche Einwirkung eingestuft. Besondere Bedeutung kommt bei einem Sandwichquerschnitt dem Lastfall Temperatur zu. Aus der Temperaturdifferenz zwischen Vorsatz- und Tragschale folgt eine Dehnungsdifferenz, die von den Verbindungsmitteln zwischen Trag- und Vorsatzschale aufgenommen wird. Bei einem Schwimmkörper befindet sich die Vorsatzschale teilweise unter und teilweise über dem Wasser, wodurch ein zusätzlicher Temperaturlastfall entsteht. Auf die Vorsatzschale wirkt ein nicht-linearer Temperaturverlauf über die Vorsatzschalenhöhe. Umfangreiche Berechnungen ergaben eine Steigerung der Scherverformung der Vorsatzschale von 20%. Die Verbindungsmittel zwischen Trag- und Vorsatzschale müssen über dementsprechende Reserven verfügen. Nach dem Archimedischen Prinzip schwimmt ein Körper, wenn seine Gewichtskraft durch

die Auftriebskraft aufgehoben wird. Die Auftriebskraft berechnet sich über, dass verdrängte Volumen des Schwimmkörpers und der Wasserwichte. Da die Wichte von Wasser konstant ist, ist das verdrängte Volumen des Wassers ausschlaggebend für den Entwurf eines Schwimmkörpers. Weiterhin ist eine stabile Schwimmelage zu beachten. Liegt der Gewichtsschwerpunkt unter dem Auftriebsschwerpunkt des schwimmenden Untergeschosses ist die Schwimmelage stabil. Ein oben offener Trog mit einer schweren Bodenplatte bietet Vorteile hinsichtlich der Schwimmstabilität (vgl. Abbildung 1).

2.3 Wasserundurchlässigkeit

Zur Nutzung des Innenraums von Schwimmkörpern, werden Bauteile aus wasserundurchlässigem Beton erforderlich. In der DafStb Richtlinie Wasserundurchlässige Bauwerke [1] sind Regeln für die Verwendung von normalfesten Betonen verankert. Aussagen zu hochfesten Betonen werden nicht getroffen. In einem Versuchsprogramm wurden ein normalfester und ein hochfester Beton mit unterschiedlichen Lagerungsbedingungen auf Wasserundurchlässigkeit nach DIN EN 12390-8 [2] überprüft. Die herstellbedingten Schwachstellen der Vorsatzschale durch die durchstoßenen GFK – Anker und die Auswirkungen der Fuge aus Hochfestleim zwischen den Vorsatzschalen wurden ebenfalls auf Wasserundurchlässigkeit im ungerissenen Zustand untersucht. Die Versuchsergebnisse zeigen eine vernachlässigbare Wassereindringtiefe bei den Versuchskörpern aus hochfesten Beton. Maßgebend wird bei beiden Betonen die Schwachstelle durch den GFK – Anker. An der Schwachstelle ist bei Verwendung eines hochfesten Betons eine maximale Wassereindringtiefe von 3 cm aufgetreten (vgl. Abbildung 2 und **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Weiterhin stellt sich, bei normalfesten und hochfesten Betonen, über die Versuchsdauer ein Selbstabdichtungseffekt ein. Dieser Effekt entsteht durch die Umlagerung des Wassers aus den Kapillarporen in die Gelporen der Betonmatrix. Aufgrund des geringeren Kapillarporenanteils bei hochfesten Betonen ist der Selbstabdichtungseffekt stärker ausgeprägt. Dadurch werden für Bauwerke im direkten Kontakt mit Wasser kleinere Bauteildicken möglich.

2.4 Selbstheilung von Beton

Ungeklärt bleibt das Verhalten von hochfesten Beton im gerissenen Zustand. Bei normalfesten Beton ist eine maximale Rissbreite zulässig, da durch den Selbstheilungseffekt rechnerische Rissbreiten bis zu 0,2 mm, bei einem Druckgradienten von < 10 m Wassersäule nach einiger Zeit geschlossen werden. Für einen hochfesten Beton liegen keine Versuchsergebnisse vor. Die Ursachen der Selbstheilung werden in physikalische, chemische und mechanische Vorgänge unterteilt. Durch den geringen Wasser/Feinkorn Anteil im hochfesten Beton ist es denkbar das dass, Nachhydratisieren des Zementsteins stärker ausgeprägt ist und die Selbstheilung schneller abläuft oder sich breitere Risse bei gleichem Druckgradienten schließen. Der Selbstheilungseffekt von hochfesten Betonen sollte weiterführend untersucht werden, um Aussagen über zulässige Rissbreiten treffen zu können. Dadurch kann ein Tragwerk im ständigen Kontakt mit Wasser wirtschaftlicher bemessen werden.

2.5 Thermisch aktivierte Vorsatzschale

Die thermisch aktivierte Vorsatzschale nimmt über Rohrregister Wärme auf oder gibt diese ab. Ein thermisch aktiviertes Bauteil wird nach seiner spezifischen Leistung, Wärme abzugeben oder Kälte aufzunehmen beurteilt. Die Leistung einer thermisch aktivierten Bauteils ist von folgenden Parametern abhängig:

- der Rohrteilung,
- der Betonüberdeckung der Rohre,
- der Wärmeleitfähigkeit des Rohrmantels,
- der Wärmeleitfähigkeit der Tragschicht,
- dem Volumenstrom des Heiz- bzw. Kühlmediums und
- der Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf- und Umgebungstemperaturen.

Über einer Parameterstudie wurde ein leistungsfähiger Versuchskörper dimensioniert. Der Versuchskörper zur thermisch aktivierten Vorsatzschale konnte unter realitätsnahen Bedingungen im Partwitzer See (Brandenburg) untersucht werden (vgl. Abbildung 4). Zur Bestimmung der spezifischen Leistung des Versuchskörpers ist die Vorlauf- und Rücklauf-temperatur direkt am Versuchskörper, der Volumenstrom und die Wassertemperatur des Sees in unmittelbarer Umgebung aufzunehmen. In ANSYS Fluent wurde ein numerisches Simulationsmodell entwickelt. Die Simulationsergebnisse zeigen eine sehr gute Näherung an die, im Versuch bestimmten Ergebnisse. Die Leistung eines Wärmetauschers muss zukünftig nicht mehr in aufwändigen experimentellen Untersuchungen bestimmt werden.

2.6 Großdemonstrator

Die theoretischen und praktischen Untersuchungen aus dem Forschungsvorhaben sind in einem Großdemonstrator umgesetzt. Es werden die Herstellbarkeit, das Abdichtungskonzept und die Sicherstellung der Eisfreiheit durch die thermisch aktivierte Vorsatzschale realitätsnah überprüft. Der Großdemonstrator besteht aus plattenartigen Sandwichbetonfertigteilen mit einer thermisch aktivierten Vorsatzschale. Die Betonfertigteile sind durch ein Stahlverbindungsmedium an der Tragschale zug- und druckfest zu einem Trog verbunden. Bei einem Schwimmkörper aus Sandwichbetonfertigteilen ist der Einsatz eines elastischen Dichtstoffes in den äußeren Fugen zwischen den Vorsatzschalen unbedingt notwendig. Ein starres Fugenmaterial kann die temperaturbedingten Scherverformungen der Vorsatzschale nicht kompensieren. Um das wirklichkeitsnahe Verhalten des thermisch aktivierten Sandwichschwimmkörpers bewerten zu können, werden Dauermessungen in einem See durchgeführt (vgl. Abbildung 5). Im Innenraum des Großdemonstrators werden Vorlauf- und Rücklauf-temperaturen und der Volumenstrom des Wassers im Rohrregister dauerhaft aufgenommen und gespeichert. Zusätzlich wird über Außen- und Innenfühler die Temperatur und Luftfeuchtigkeit aufgezeichnet. Photovoltaikpaneele und Stromspeicher versorgen die Mess- und Pumpentechnik mit Energie autark. Die Dauermessung der thermisch aktivierten Vorsatzschale gibt Auskunft über das nutzbare Energiepotenzial, welches durch das umgebende Wasser bereitgestellt wird. Ebenso wird die Sicherstellung der Eisfreiheit um den Großdemonstrator dokumentiert. Mit den vorgestellten Ergebnissen ist eine konstruktive Durchführung möglich und wird ein Ansatz zur Ausführung eines Schwimmkörpers mit Innenraumnutzung vorgestellt (vgl. Abbildung 6).

3 Eckdaten

Kurztitel: Sandwichschwimmkörper

Forscher / Projektleitung: F20-11-1-067

Projektleiter: F20-11-1-067

Gesamtkosten: 186.000,00 €

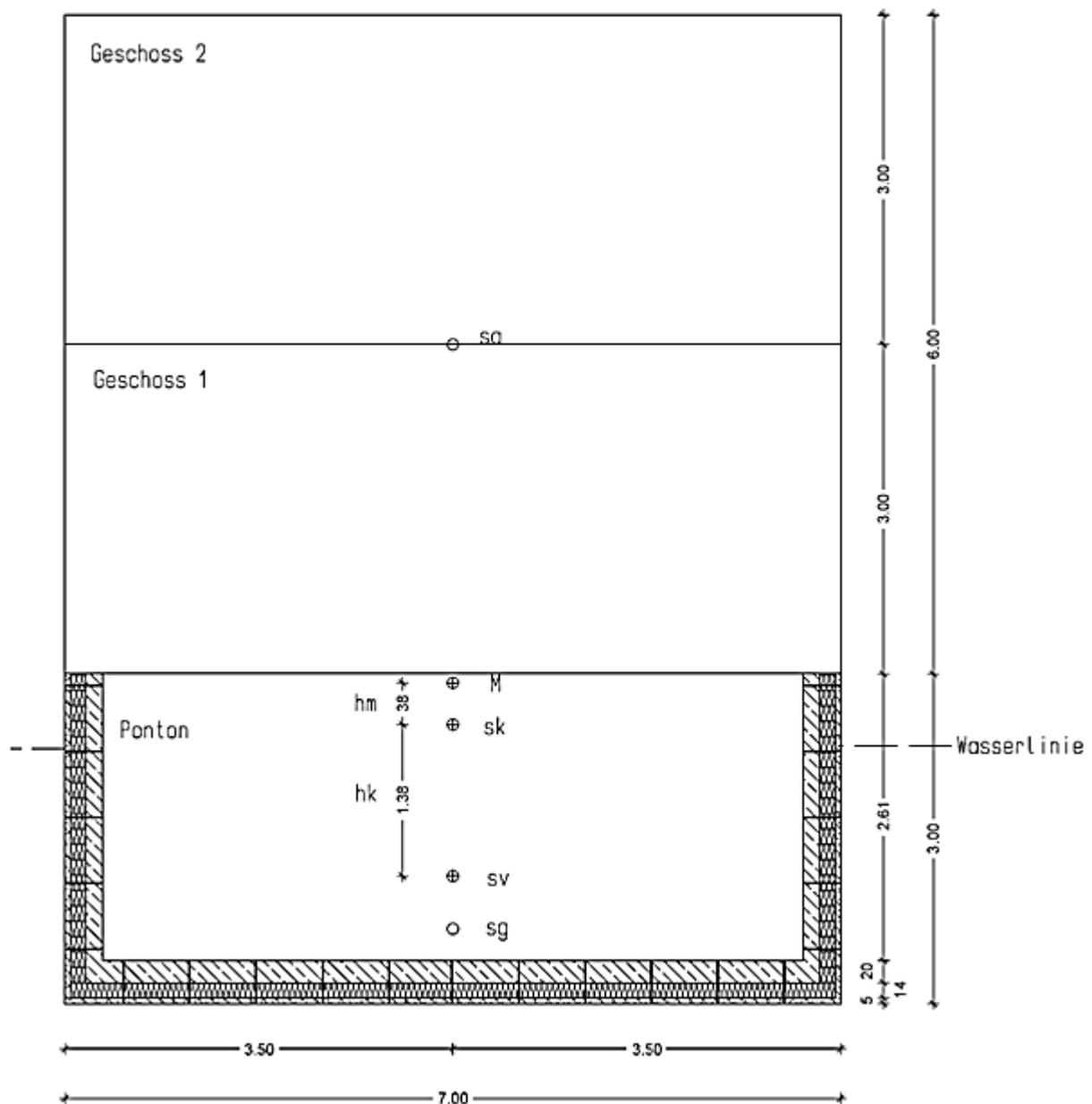
Anteil Bundeszuschuss: 98.560,00 €

Projektlaufzeit: 07.2013 bis 11.2015

4 Literaturverzeichnis

[1] DAfStb, „DAfStb-Richtlinie Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton,“ Beuth, Berlin, 2003.

[2] DIN EN 12390-8, Prüfung von Festbeton – Teil 8 Wassereindringtiefe unter Druck, Berlin: Beuth Verlag, 2009.



- s_a : Gewichtsschwerpunkt Aufbau
- s_g : Gewichtsschwerpunkt Ponton
- s_v : Auftriebsschwerpunkt
- s_k : Gewichtsschwerpunkt Aufbau und Ponton
- M : Metazentrum
- h_k : Höhendifferenz zwischen Gewichts- und Auftriebsschwerpunkt
- h_m : metazentrische Höhe

Abbildung 1: Entwurf zum Schwimmkörper. pdf

Bildunterschrift: Entwurf zum Schwimmkörper

5 Abbildungen



Abbildung 2: Prüfung der Wassereindringtiefe im Bereich des Verbindungsmittels (NC), jpeg

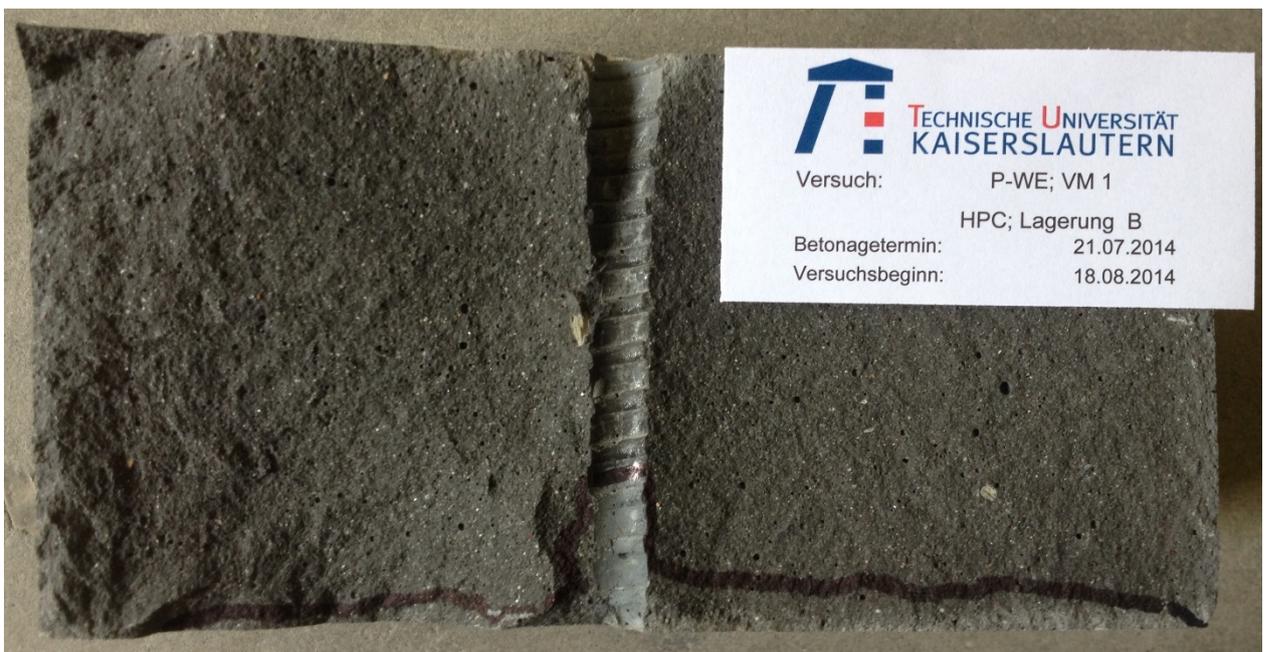


Abbildung 3: Prüfung der Wassereindringtiefe im Bereich des Verbindungsmittels (HPC), jpeg

Bildunterschrift: Prüfung der Wassereindringtiefe im Bereich des Verbindungsmittels (HPC)

Bildunterschrift: Prüfung der Wassereindringtiefe im Bereich des Verbindungsmittels (NC)

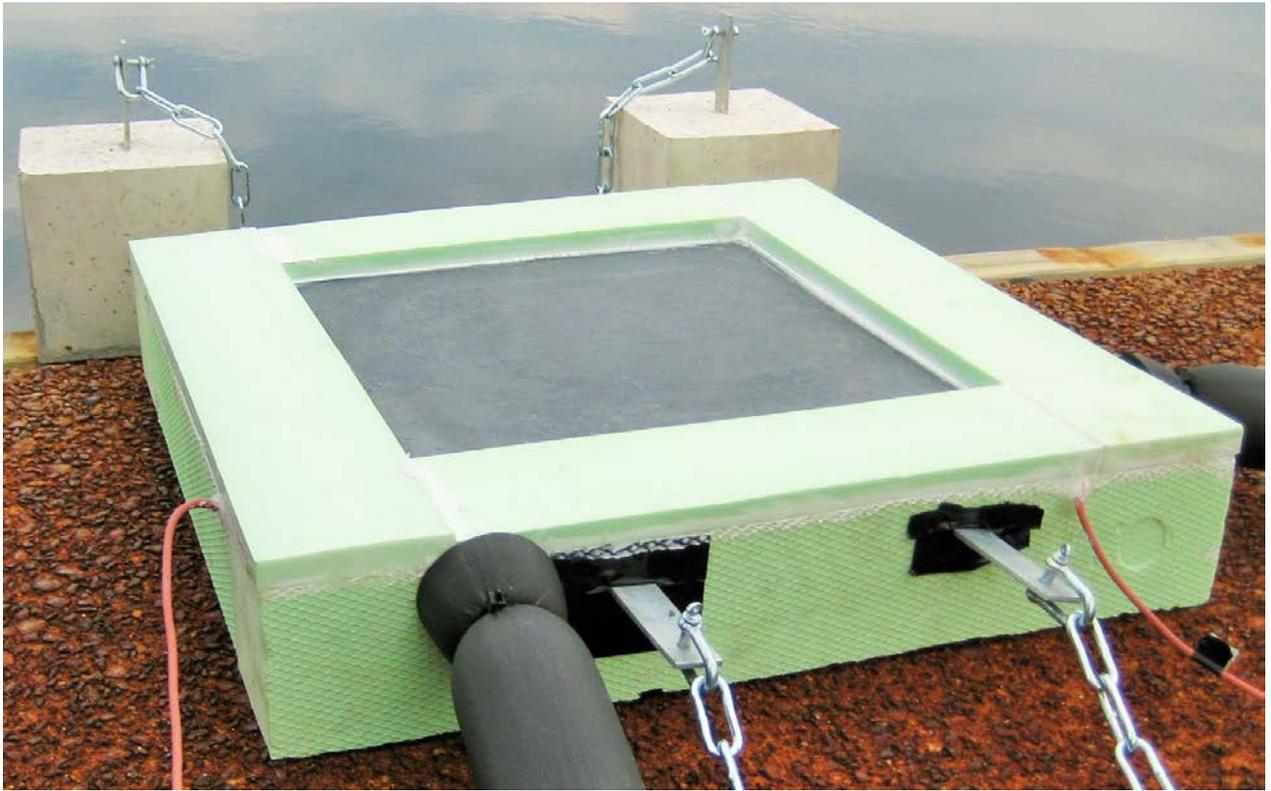


Abbildung 4: Versuchskörper zur realitätsnahen Ermittlung der spezifischen Leistung einer thermisch aktivierten Fassade. jpeg

Bildunterschrift: Versuchskörper zur realitätsnahen Ermittlung der spezifischen Leistung einer thermisch aktivierten Fassade



Abbildung 5: Großdemonstrator im Wasser mit Anlagentechnik zur autarken Stromversorgung der Messapparatur, jpeg

Bildunterschrift: Großdemonstrator im Wasser mit Anlagentechnik zur autarken Stromversorgung der Messapparatur



Abbildung 6: Großdemonstrator nach Fertigstellung, jpeg

Bildunterschrift: Großdemonstrator nach Fertigstellung