

- iRoof® / iWall® -

Strom, Wärme, Kühlung und hohe Wohnqualität mit dem intelligenten und multifunktionalen Fertigteilsystem aus Beton

Dipl.-Ing. Siegfried Riffel, HeidelbergCement AG, Entwicklung & Anwendung
siegfried.riffel@heidelbergcement.com

Allgemeines

Unter den heutigen ökologischen und ökonomischen Aspekten werden künftig die regenerativen Energien (Photovoltaik, Solarthermie) einen hohen Stellenwert einnehmen.

Die Solartechnik wird in Zukunft sicher auch die Architektur entscheidend verändern; vom Städtebau bis hin zum Detail. Veränderungen erfordern somit andere, neue und innovative Lösungen wie beispielsweise das massive Dach- und Wandsystem „iRoof / iWall“. Solarenergie wird erst mit solchen neuartigen, intelligenten Bauteilen aus Beton hocheffizient nutzbar gemacht.

In dem derzeit laufenden Forschungsprojekt werden die vielen Vorteile des Baustoffes Beton im Bereich Dach und Wand (z.B. Schallschutz, sommerlicher und winterlicher Wärmeschutz, Wärmespeicherfähigkeit, Brandschutz, Feuchtigkeitsschutz, Winddichtheit, Sturm- und Erdbebensicherheit etc.) und die Vorteile der regenerativen Energiegewinnung (Photovoltaik und Solarthermie) in einem neuen, multifunktionalen Massiv-Bausystem energetisch (Strom und Wärme) genutzt. Durch die Nutzung dieser Synergieeffekte lassen sich künftig architektonisch ansprechende, intelligente und ökologisch nachhaltige Gebäude realisieren.

Zielsetzung

Das Ziel ist, neben der regenerativen Stromerzeugung die Solarenergie über bauteilintegrierte Solarkollektoren in einem Beton-Massivabsorber energetisch für die Gebäudetechnik zu nutzen. Die bei der Stromerzeugung am PV-Modul entstehende Wärme wird über einen Beton-Massivabsorber in den Wärmekreislauf für die Gebäudeklimatisierung (Heizung, Kühlung) gebracht. Über den Massivabsorberkreislauf und einem Flächen-Wärmetauscher und/oder einer Wärmepumpe wird ein Pufferspeicher für die Warmwasserbereitung und den Betrieb einer Niedertemperaturheizung gespeist. Beim Betrieb einer monovalenten Wärmepumpe wird die Solarwärme aus dem Absorber in dem Wärmepumpenprozess auf Heizniveau „hoch gepumpt“. Bei gut ausgelegten Systemen ergibt sich ein Verhältnis von Solarer-Energie zu zusätzlich eingesetzter elektrischer Energie für den Verdichtungsprozess von ca. 75 % Solar und 25 % Fremdenergie. Die wirtschaftlichste Lösung wird von Systemen geboten, bei denen im Winter solarthermisch beheizt und im Sommer mit demselben System gekühlt wird. Diese Funktionserweiterung mit einer umschaltbaren Wärmepumpe bedarf nur geringer zusätzlicher Investitionen

Aufgrund des hohen Wärmespeichervermögens des Betons kann die bei der Stromerzeugung gewonnene Abwärme auch zu einer Betonkernaktivierung - im Winter Heizung, im Sommer Kühlung - direkt in einem massiven Decken- und/oder Wandsystem, in einem Betonfundament oder auch in einem Erdspeicher „geparkt“ werden.

Ein sehr wesentlicher ökologischer und ökonomischer Aspekt ist bei diesem System die Kühlung der PV-Module durch den permanenten Entzug der Abwärme mit dem Beton-Massivabsorber. Durch eine somit erzielte relativ konstante und niedrige Betriebstemperatur der Solaranlage (im Sommer max. 20 - 25°C), kann der Wirkungsgrad der PV-Module -d.h. die Energieausbeute bei der Stromerzeugung- deutlich gesteigert werden.

Nach dem EEG wird heute der erzeugte Strom in das Stromnetz der Energieversorger eingespeist. Hierfür werden mit den EVS langfristige Einspeiseverträge (derzeit 20 Jahre Laufzeit) mit einer entsprechenden Einspeisevergütung abgeschlossen. Mittel- bzw. langfristig ist für Betreiber von Solaranlagen auch eine energieautarke Eigenversorgung denkbar.

Bei Stromausfall ist heute bereits eine solare Notstromversorgung möglich, so dass dem Anlagenbetreiber für den Notfall eine unabhängige Versorgungssicherheit gewährleistet wird.

Konstruktion / Statik

Die Konstruktion von „iRoof“/„iWall“ basiert auf einem thermisch getrennten 3-schaligen, entkoppelten System, bestehend aus einer allein tragenden Betonunterschale (z.B. Massivdecke, Leichtbetondecke, Hohlplattendecke), einer druckfesten Wärmedämmschicht und einer schwimmenden Betonoberschale als Massivabsorber mit integrierten Photovoltaikmodulen.

Randbedingungen für die Tragwerksplanung:

Abmessungen: Satteldach als „Standard“

Spannrichtung Ortgang – Ortgang:	max. Plattenlänge: 7,00 m
	max. statische Spannweite: 6,50 m
Spannrichtung First – Traufe:	max. Plattenlänge: 9,50 m
	max. statische Spannweite: 9,00 m

Für andere Haus- und Dachformen werden die Standardlösungen entsprechend angepasst.

Statisch erforderliche Plattendicke einschl. PV-Module und Absorberrohre: mindestens 80 mm

Temperaturbelastung: Bemessung für ein $\Delta T \pm 45^\circ\text{C}$

Brandschutz: Brandschutzklasse F90

Herstellung

Die Oberschale des massiven Dachsystems „iRoof“ wird als „großer Dachziegel“ im Fertigteilwerk hergestellt. Die Fertigteilabmessungen werden auf das System der PV-Anlage sowie auf die Spannweite und Spannrichtung des Daches abgestimmt. Um den Fugenanteil zu minimieren wird immer die größt mögliche Fertigteilabmessung angestrebt.

Direkt in die Stahlschalung wird die Dachbahn bzw. die „alwitra EVALON V-Solar Bahn“ mit den entsprechenden Abmessungen des Betonfertigteils eingelegt. Das Grundmaß der PV-Dachbahn beträgt 6,00 m bzw. 3,36 m x 1,55 m. Die Bahnen können bereits werkseitig verschweißt mit dem entsprechenden BFT-Maß geliefert werden.

Die auf der Bewehrung verlegten und fixierten Absorberrohre werden auf der Folie mit Hilfe von Abstandhalter in die erforderliche exakte Lage und Position gebracht. Die weiteren Einbauteile wie Abhebe- und Montageanker sowie die Befestigungs- und Justiereinrichtungen, werden an der konstruktiven Bewehrung befestigt. Um eine hohe Qualität, Präzision und Maßhaltigkeit zu gewährleisten, wird das Bauteil mit einem SVB (Selbstverdichtender Beton) bzw. LVB (Leicht verarbeitbarer Beton) hergestellt, d.h. ohne Rüttel- oder Schockenergie.

Sofern andere Photovoltaik-Systeme wie z.B. THYSSEN-Solartec® oder WÜRTHSolar-CIS-Dünnschichtmodule o.a. zur Anwendung kommen, werden diese erst nachträglich auf dem bereits montierten Dach befestigt. Auch für die nachträgliche Befestigung der PV-Module wurden im Rahmen des Forschungsprojektes entsprechende Lösungen und Befestigungsmaterialien entwickelt.

Wirtschaftlichkeit

Beispiel einer Wirtschaftlichkeitsrechnung für eine dachintegrierte PV-Anlage am Pilotprojekt BVH Oberhausen (Inbetriebnahme 2005)

Technische Anlagendaten:

iRoof-Pultdach: Dachfläche **230 m²**, Ausrichtung nach Süden
 Nutzbarer Bereich für EVALON V-Solar 178,6 m² (77,8 %)
 EVALON V-Solar 272: 24 Stck.
 Netzwechselrichter 4.600 W: 1 Stck.
 Installierte Leistung: **6,5 kWp**
 AC-Anschlussleistung: **4,6 kW**

Erträge:

spez. Jahresertrag: 888,7 kWh/kWp
 Netzeinspeisung: **5.828 kWh/Jahr** (ohne Berücksichtigung des Kühleffektes durch Absorber)
 CO₂-Emissionsvermeidung: **5.151 kg/Jahr**

Investitionskosten:

Kosten für Dachabdichtung: 37 €/m² Dachfläche ⇒ **8.554 € fertig verlegt**
 Zusätzliche Kosten für PV-Anlage: 4.800 €/kWp ⇒ **31.392 € fertig installiert**
 Gesamtkosten: **39.946 €**

Einnahmen:

Förderungen: **0 €**
 Einspeisevergütung bis 2025: **65.412 € (0,545 €/kWh über 20 Jahre gemäß EEG)**

Fazit:

Nach ca. 12 Jahren hat sich die PV-Anlage amortisiert!

Unter den vorgenannten Rahmenbedingungen ist die Investition eine betriebswirtschaftlich positiv zu bewertende Maßnahme. Die Investitionskosten für die Dachabdichtung und PV-Anlage und die Finanzierungskosten refinanzieren sich allein aus der Einspeisevergütung für den Solarstrom aus der PV-Anlage.

Der Bauherr erhält **kostenlos** eine langlebige Dachabdichtung mit dachintegrierter PV-Anlage; er leistet zusätzlich einen aktiven Beitrag zu einer nachhaltigen, umweltfreundlichen Energieversorgung und effektiven Minderung des Treibhauseffektes durch CO₂-Emissionsvermeidung sowie der daraus resultierenden Wirkungen (Stürme, Hochwasser, Abschmelzen der Pole, Wüstenbildung etc.).

Betrachtung des Wärmeertrages mit dem Beton-Massivabsorber

Der Wärmeertrag mit dem Beton-Massivabsorber hängt von vielen, relevanten Parametern ab:

- Größe der Absorberfläche
- Farbe des Absorbers
- Dachorientierung, Dachform, Dachneigung
- Intensität der Solareinstrahlung
- Dicke des Absorbers
- Rohrabstand, Rohrquerschnitt, Durchflussmenge
- Zusätzlicher Wärmeertrag durch PV
- Betriebsweise der Wärmepumpe

Somit kann bezüglich des Ertrages von Wärme mit dem Beton-Massivabsorber keine pauschale Aussage gemacht werden. Der solare Wärmeertrag muss immer individuell an dem jeweiligen Projekt errechnet bzw. ermittelt werden.

Aus der Praxis und Literatur liegen für den Beton-Massivabsorber Richtwerte vor, wo beispielsweise bei einer Sonneneinstrahlung von 2 kWh/m²d eine spezifische Flächenleistung von ca. 24 W/m²K erreicht werden. Bei 3 kWh/m²d sind es ca. 32 W/m²K und bei 4 kWh/m²d ca. 44 W/m²K.

Da es sich bei dem System „iRoof / iWall“ um eine in dieser Form erstmalig angewendeten Kombination von Photovoltaik und Solarthermie handelt, können erst am realen Objekt die Energieerträge aus den verschiedenen Energiequellen ermittelt werden.

Grundsätzlich kann aber davon ausgegangen werden, dass durch die optimale Orientierung des Absorbers zur Sonne und durch die große dunkle Absorberfläche mehr Strahlung absorbiert werden kann und unter direkter Sonneneinstrahlung mit höheren Quellentemperaturen als im Vergleich zu anderen Wärmequellen (z.B. Erdreich, Luft) gerechnet werden kann. Beim System „iRoof/iWall“ kommt noch der Wärmeertrag aus der Abwärme bei der Stromerzeugung d.h. bei der Kühlung der PV-Module hinzu.

Alle diese relevanten Einflüsse der verschiedenen Parameter werden bei dem Forschungsprojekt „Oberhausen“ unter realen Praxisbedingungen ermittelt bzw. messtechnisch erfasst. Nach den Prognosen und Berechnungen des IBP-Stuttgart ist bei dem FP „Oberhausen“ der Wärmeertrag mit dem Beton-Massivabsorber für einen ganzjährigen, wirtschaftlichen Betrieb einer monovalenten Wärmepumpenheizung einschließlich der Warmwasserbereitung gewährleistet.

Da es sich bei dem Projekt um den Abschluss eines Forschungsvorhabens handelt kann davon ausgegangen werden, dass in Bezug auf den Wirkungsgrad bzw. die Leistungsfähigkeit des Beton-Massivabsorbers noch entsprechendes Optimierungspotential vorhanden sein wird. Im nächsten Schritt soll der Beton-Massivabsorber in Kombination mit einer umschaltbaren Wärmepumpe -neben der Heizung und Warmwasserbereitung- auch für die Gebäudeklimatisierung (Kühlung) im Sommer eingesetzt werden.

Zusammenfassung / Ausblick

„iRoof / iWall“ steht künftig den Architekten, Planern und Bauherren, als innovatives und nachhaltiges Produkt aus qualitativ hochwertigen Betonfertigteilen, sowohl im Neubau als auch bei der Ertüchtigung von Wohn- und Industriegebäuden, für eine ökologische und nahezu energieautarke Bauweise zur Verfügung.

Mit „iRoof/iWall“ wird somit auch eine absolut saubere und leise Art einer zukunftsfähigen Energiegewinnung möglich. Diese CO₂-emissionsfreie Technologie leistet auch einen nicht unerheblichen Beitrag zu einem nachhaltigen Klimaschutz und für eine bessere und sauberere Umwelt.

Für ein sicheres, ökonomisches Betreiben von „iRoof/iWall“ kann auch in der Zukunft die Energie der Sonne als unendliche Quelle kostenlos genutzt werden.

Das System „iRoof/iWall“ zeichnet sich durch folgende wirtschaftliche und umweltrelevante Fakten aus:

- Einfaches Bauprinzip mit hohem „mehrWert“, d.h. wenig Materialien (Beton, Absorberrohre, Dachfolie mit integrierten PV-Modul, druckfeste Wärmedämmung)
- nur zwei Gewerke auf dem Dach (bei der klassischen Sparrendachbauweise mit aufgeständerter Solartechnik sind deutlich mehr Materialien und Gewerke, v.s. Schnittstellen, erforderlich)
- Herstellung Dach / Wand in drei verschiedenen Standards nach dem gleichen Prinzip:
 - a. Massives Dach / Wand
 - b. Massives Dach / Wand mit Beton-Massivabsorber
 - c. Massives Dach / Wand mit Beton-Massivabsorber und PV-Modulen
- Massives Dach / Wand als Komplettangebot, d.h. ein high-tech-Produkt aus einer Hand

- Kostengünstige Herstellung des Systems
- Hohe Produktqualität durch präzise werkmäßige Fertigung
- Hohe Flexibilität und Variabilität im Dachaufbau (z.B. Ausbildung der tragenden Unterschale, Dicke und Qualität der Wärmedämmung, Dicke des Massivabsorbers, Auswahl der PV-Module etc.)
- Einsatz von hochwertigen Bauprodukten
- Lange Produkt- und Leistungsgarantie (20 Jahre)

Mit dem Reihenhaus-Bauvorhaben in Oberhausen wurde im Herbst 2005 das „iRoof/iWall“-Forschungsprojekt in die Praxis umgesetzt und die Erprobungsphase gestartet. Bei diesem Modellvorhaben wird an sechs Reihenhäusern das „iRoof“ unter realen Praxisbedingungen getestet.

Für einen direkten Vergleich wird an drei Häusern das Pultdach mit Photovoltaik und Massivabsorber ausgebildet. Diese Häuser werden mit einer Wärmepumpenheizung und einer kontrollierten Lüftung betrieben. Die drei weiteren, baugleichen Häuser erhalten eine iRoof-Dachkonstruktion ohne PV und Massivabsorber und werden mit einer Gas-Brennwerttherme beheizt.

In einem umfangreichen Messprogramm wird der Strom- und Energieertrag des „iRoof“ sowie der Energieverbrauch von allen sechs Häusern ermittelt. Somit kann an den vergleichbaren Häusern über den Gesamtenergieverbrauch eine genaue Energiebilanz erstellt werden, die auch über die Effizienz und Wirtschaftlichkeit des „iRoof“ eine Aussage zulässt.

Die Anlage ist im Dezember 2005 in Betrieb gegangen, so dass die ersten Vergleichszahlen bereits nach dem ersten Winter im Frühjahr 2006 zur Verfügung stehen werden.

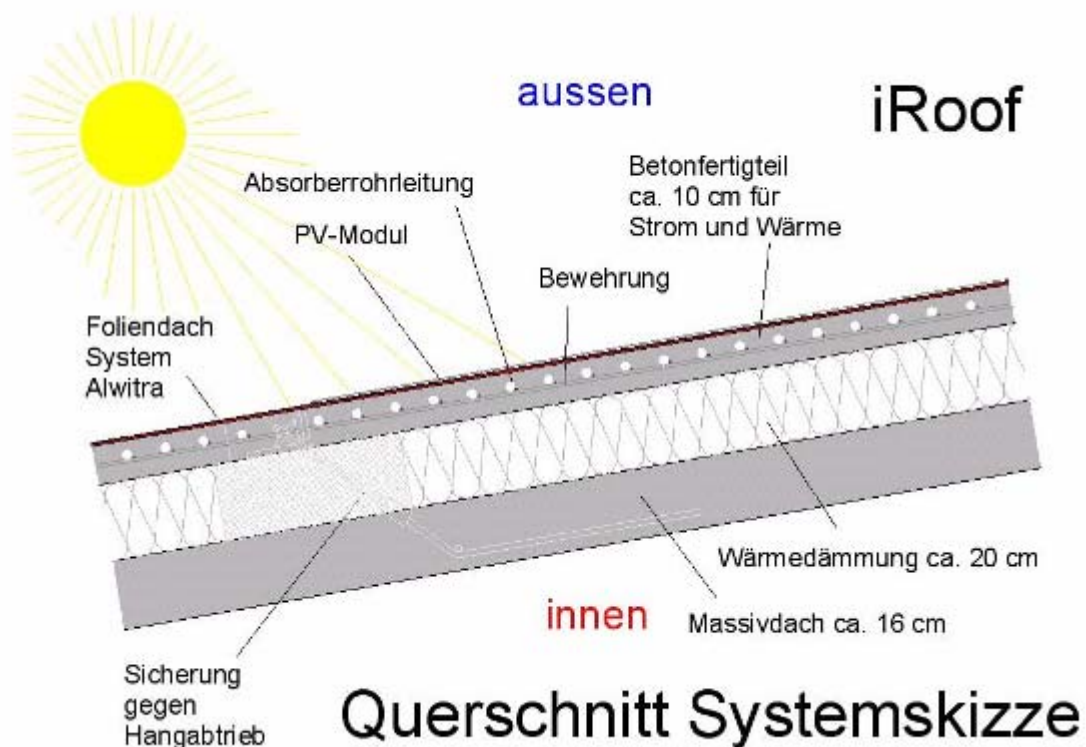


Bild 1: „iRoof“ Dachaufbau



Bild 2: iRoof-Oberschale mit PV und Absorber



Bild 3: iRoof-Oberschale ohne PV, BVH Oberhausen



Bild 4: iRoof-Oberschale auf druckfester Dämmung mit Hangabtriebssicherung , BVH Oberhausen



Bild 5: iRoof-Dachansicht, BVH Oberhausen



Bild 6: iRoof-Dachansicht, BVH Oberhausen



Bild 7: Süd-Westansicht, BVH Oberhausen