

Der Massivabsorber: ein neuartiges Heizsystem für den Beton-Fertigteilebau

Autor(en): **Schwarz, Bernhard**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **100 (1982)**

Heft 4

PDF erstellt am: **20.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-74744>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Der Massivabsorber: Ein neuartiges Heizsystem für den Beton-Fertigteilbau

Von Bernhard Schwarz, Holzkirchen bei München

Unter dem Zwang, neue Wege aus der Ölabhängigkeit zu finden, sind in den letzten Jahren viele Energiesysteme entwickelt worden, die Umweltenergie für die Hausheizung nutzbar machen. Erste Hoffnungen richteten sich auf Sonnenkollektoren. In neuerer Zeit setzen sich immer mehr Wärmepumpen-Systeme durch. Über ein neuartiges, speziell für den Beton-Fertigteilbau entwickeltes Heizsystem soll im folgenden berichtet werden.

Das Funktionsprinzip einer Absorber-Wärmepumpenheizung

Absorber sind grossflächige Wärmeaustauscher, die der Umwelt mit Hilfe einer Wärmepumpe Energie entziehen. Aus der Vielfalt der bekannten Absorbersysteme seien hier das *Energiedach*, die *Energiefassade* und der *Energiezaun* sowie der *Energiestapel* und die *Energiesäule* genannt. Der grundsätzliche Aufbau einer Absorber-Wärmepum-

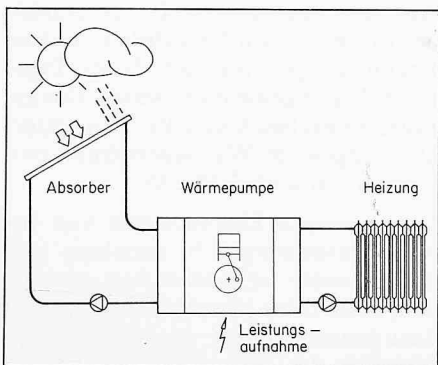
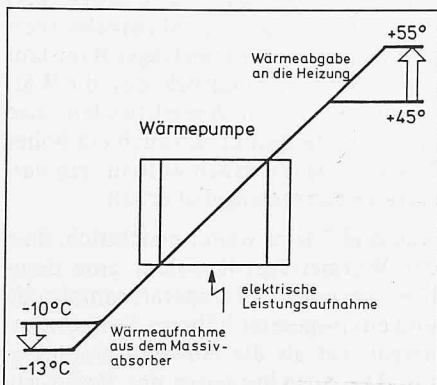


Bild 1. Prinzipieller Aufbau einer Absorber-Wärmepumpen-Heizung

Bild 2. Wirkungsweise einer Wärmepumpe. Die Wärmepumpe «transformiert» die bei niedrigem Temperaturniveau gewonnene Energie auf ein höheres, für Heizzwecke nutzbares Niveau



penheizung geht aus Bild 1 hervor. In den Rohrleitungen oder Kanälen der im Regelfall aus Metall gefertigten Absorberfläche zirkuliert ein Gemisch aus Wasser und Frostschutzmittel. Eine Wärmepumpe entzieht dem Flüssigkeitskreislauf Wärme. Dadurch kühlt sich die Absorberfläche unter die Temperatur der Umgebungsluft ab und nimmt somit Energie aus der Umgebung auf. *Umgebungsenergie*, das ist der Wärmeinhalt der vorbeistreichenden Luft und der auftretenden Niederschläge, der Energiegewinn aus der diffusen und der direkten Sonneneinstrahlung sowie die latente Energie aus der Phasenumwandlung von Wasserdampf in Wasser und Eis.

Die Wärmepumpe «transformiert» diese, bei niedrigem Temperaturniveau gewonnene Energie auf ein höheres, für Heizzwecke und für die Warmwasserbereitung nutzbares Niveau. Bild 2 verdeutlicht diesen Vorgang:

Der Flüssigkeitskreislauf des Absorbers wird beim Durchlauf durch die Wärmepumpe von -10°C auf -13°C abgekühlt. Die so gewonnene Energie wird durch die Wärmepumpe auf ein nutzbares Temperaturniveau von 55°C angehoben und an den Heizkreis abgegeben. Dieser Transformationsvorgang erfordert jedoch zusätzliche Energie: in der Regel die elektrische Antriebsleistung für den Hubkolbenverdichter. Die Grösse dieser Antriebsleistung hängt ganz entscheidend vom Temperaturunterschied zwischen Absorberkreis und Heizkreis ab. Je kleiner der Temperaturunterschied ist, um so weniger Energie ist nötig. Die Bestrebungen gehen darum dahin, die Energie bei einem möglichst hohen Temperaturniveau aus dem Absorberkreis zu schöpfen und bei einem möglichst niedrigen Temperaturniveau an den Heizkreis abzugeben. Die Verwendung ex-

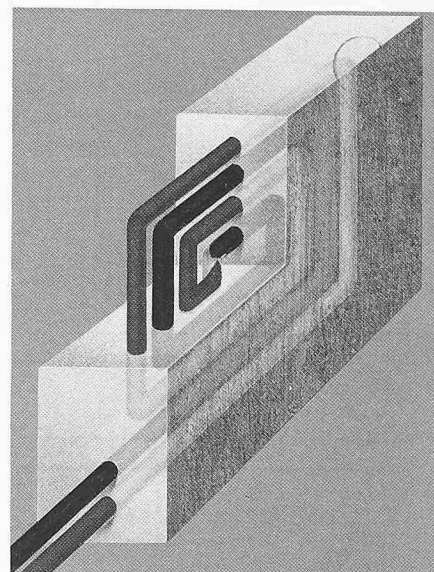


Bild 3. Aufbau eines Massivabsorbers. In vorgefertigte Beton-Aussenbauteile sind flüssigkeitsdurchströmte Rohrleitungen eingegossen

tremer Niedertemperaturheizungen in Form von Fussboden-, Decken- oder Radiatorheizungen ist darum energetisch besonders günstig. Es werden aber Energiequellen benötigt, welche die Energie bei einem möglichst hohen Temperaturniveau bereitstellen.

Das Heizsystem

Prinzipieller Aufbau

Auch der Massivabsorber wird in Verbindung mit einer Wärmepumpe als typisches Absorber-Wärmepumpen-Heizsystem eingesetzt. Im Gegensatz zu den üblichen metallischen Absorberflächen ist der Massivabsorber aus *Beton* aufgebaut. In vorgefertigten Beton-Aussenbauteilen, wie *Aussenwänden*, *Balkonbrüstungen*, *Lisenen* oder auch *Umfriedungs- und Abfangmauern* sind *Kunststoff-Rohrleitungen* eingegossen, die im Betriebszustand von einer Wärmeträger-Flüssigkeit durchströmt werden (Bild 3).

Eine Wärmepumpe entzieht dem Flüssigkeitskreislauf Wärme, so dass sich die Betonbauteile unter Umgebungsbedingungen abkühlen. Damit nimmt das Beton-Bauteil nach den gleichen Gesetzmässigkeiten des Wärme- und Strahlungsaustausches wie ein Metallabsorber Energie aus der Umwelt auf. Der entscheidende Unterschied zu metallischen Flächenwärmetauschern, wie dem *Energiedach*, liegt in dem durch

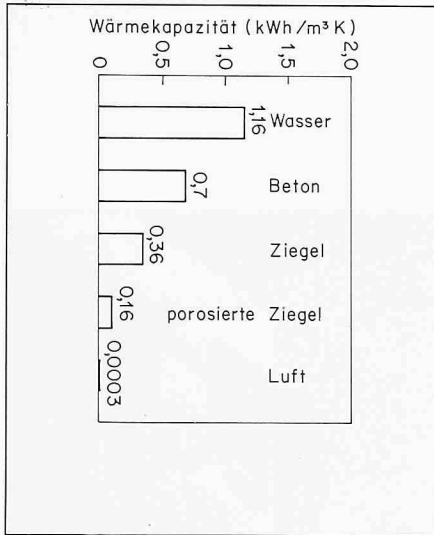


Bild 4. Volumenbezogene Wärmekapazität einiger Stoffe

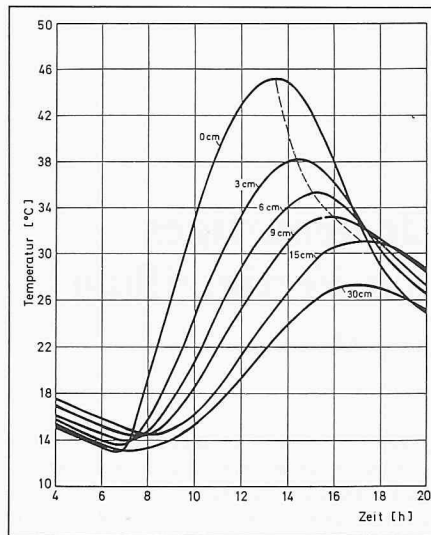


Bild 5. Zeitverlauf der Temperaturen an den Oberflächen und in verschiedenen Schichten einer besonnten 30 cm dicken Stahlbetonwand

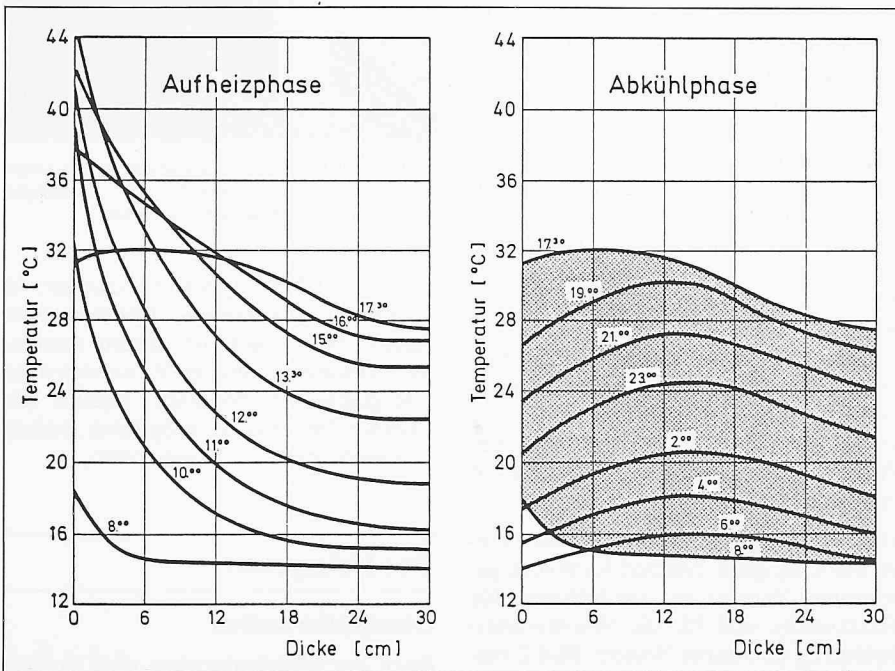
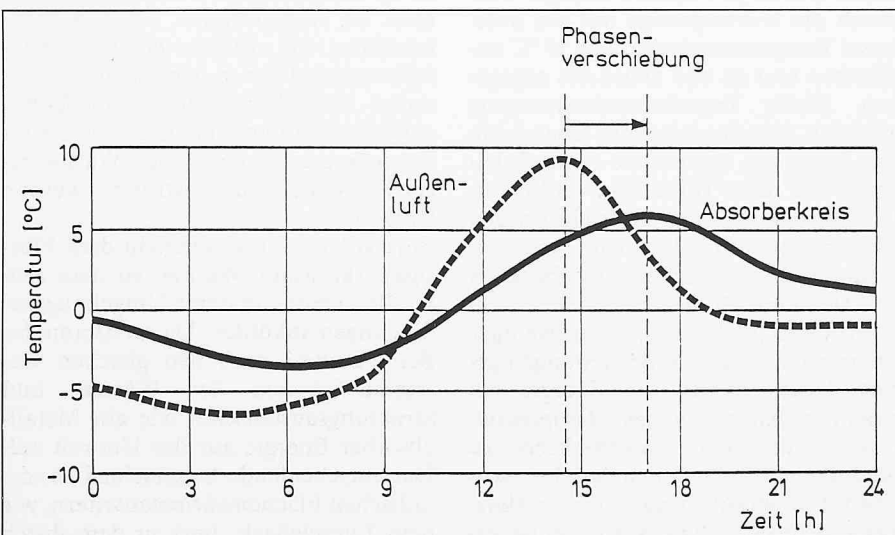


Bild 6. Temperaturfelder während des Aufheiz- und Abkühlvorganges in einer 30 cm dicken Stahlbetonwand

Bild 7. Temperaturverlauf der Aussenluft und des Flüssigkeitskreislaufs in einem Massivabsorber-System während eines durchschnittlich sonnigen Wintertages



die Masse bedingten, erheblichen Wärmespeichervermögen des Massivabsorbers.

Beton als Baustoff für den Massivabsorber

Stahlbeton erreicht mit einer volumenbezogenen Wärmekapazität von 2400 kJ/m³ K etwa 60 Prozent der Wärmekapazität von Wasser. Ein Kubikmeter Beton speichert bei einer Temperaturerhöhung um 1 Kelvin 2400 kJ oder rund 0,7 kWh (Bild 4).

Welche Auswirkungen die grosse Wärmespeicherkapazität auf das Temperaturverhalten des Massivabsorbers hat, wird aus Bild 5 ersichtlich. Das Bild zeigt die Temperaturen an den Oberflächen und im Inneren einer massiven, 30 cm dicken Betonwand im Verlauf eines sonnigen Tages. Mit dem Beginn der Sonneneinstrahlung erwärmt sich die Aussenoberfläche. Zeitlich versetzt dazu erwärmen sich auch die tieferliegenden Schichten, wobei eine Dämpfung der Temperaturamplitude auftritt. Während an der besonnten Wandoberfläche um die Mittagszeit mit etwa 45 °C das Temperaturmaximum auftritt, erreicht die Wandmitte (Schicht in 15 cm Tiefe) ihr Maximum mit einer Temperatur von 31 °C deutlich gedämpft und zeitverschoben erst in den späten Nachmittagsstunden.

Aus den zugehörigen Temperaturfeldern in Bild 6 wird ersichtlich, welche Energiemenge innerhalb dieses Tages in der Wand gespeichert wurde. Das gestrichelte Feld beschreibt die Temperaturänderungen im Wandquerschnitt zwischen 8 Uhr und 17.30 Uhr.

Die günstigen Eigenschaften von Beton, Wärmeenergie zu speichern und dann wieder zeitverschoben abzugeben, kann beim Massivabsorber gezielt dazu genutzt werden, um die Leistungsfähigkeit des Heizsystems zu verbessern.

Bei günstiger Auslegung der Speichermasse und entsprechender Anordnung der Rohre lassen sich, wie in Bild 7 veranschaulicht wird, *Phasenverschiebungen* von einigen Stunden zwischen dem Energieangebot aus der Umwelt und der Energieabgabe der Massivabsorber-Bauteile an den Wärmeträger-Kreislauf erzielen. Es wird deutlich, dass die Wärmepumpe in den Abendstunden, also zu einem Zeitpunkt, wo auch ein hoher Heizenergieverbrauch auftritt, ein verstärktes Energieangebot erhält.

Aus Bild 7 wird weiter ersichtlich, dass der Wärmeträger-Kreislauf eine deutlich geringere Temperaturamplitude und ein insgesamt höheres Temperaturniveau hat als die Aussenlufttemperatur. Die Speichermasse der Beton-Ab-

sorberflächen hat hier die analoge Wirkung wie ein Schwungrad bei mechanischen Abläufen. Die «thermische Schwungmasse» glättet die Unterschiede im witterungsabhängigen Energieangebot der Umwelt. Extremwerte im Energieangebot, wie kurzzeitige Temperatur-Spitzenwerte oder Kälteeinbrüche, werden deutlich gedämpft an den Wärmeträger-Kreislauf übertragen. Das führt zu einem gleichmässigen Betrieb der Wärmepumpe und zu einer günstigeren Leistungszahl.

Schaltung

Der Aufbau einer Massivabsorber-Heizung geht aus dem Prinzipschaltplan in Bild 8 hervor. Die mit Kunststoffrohren durchzogenen Beton-Absorberflächen an einem Gebäude (Brüstungen, Wände, Lisenen) oder in der Umgebung eines Gebäudes (Umfriedungsmauern, Abfangmauern, Pergolen usw.) werden über den Wärmeträger-Kreislauf der Wärmepumpe abgekühlt und nehmen Umweltenergie auf.

Die erdberührende Bodenplatte des Gebäudes ist ebenfalls mit Kunststoffrohren durchzogen. Sie dient als *Kaltspeicher*. Er wird im Temperaturbereich zwischen +10 °C und +1 °C betrieben und dient dazu, Energie langfristig zu speichern. Bei sehr geringem Energieangebot aus der Umwelt kann die Wärmepumpe allein durch Energieschöpfung aus der Bodenplatte und dem angrenzenden Erdreich das Gebäude für einige Tage beheizen. Auf diese Weise wird ein *monovalenter* Betrieb der Wärmepumpenanlage möglich. In Zeiten hohen Energieangebots, das heisst an einem strahlungsreichen Tag, kann dann der entleerte Speicher bei abgeschalteter Wärmepumpe und weiterlaufender Sole-Umwälzpumpe wieder geladen werden. Im Unterschied zu einem Warmspeicher, der bei wesentlich höheren Temperaturen als die Umgebungstemperaturen gefahren wird, hat der Kaltspeicher den Vorteil, dass er kaum Wärmeverluste hat. Im Gegenteil, dem entleerten Speicher fliesst von dem umgebenden wärmeren Erdreich wieder Energie zu.

Die systemangepasste Wärmepumpe (Bild 8) «pumpt» die aus den Massivabsorber- und Speicherflächen gewonnene Energie auf ein Temperaturniveau, so dass diese Energie für die Hausheizung und die Warmwasserbereitung nutzbar ist. Auf der Warmseite der Wärmepumpe können konventionelle Niedertemperaturheizungen (Flächenheizungen oder Radiator-Heizungen) und übliche Warmwasser-Boiler angeschlossen werden.

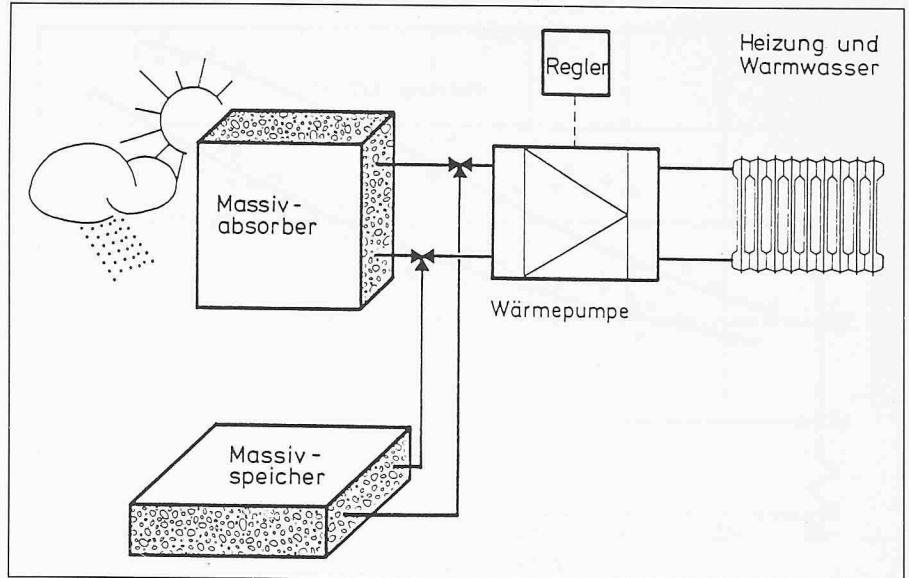


Bild 8. Prinzipschaltbild des Massivabsorber-Heizsystems

Leistungsdaten

Der typische Temperaturverlauf über dem Querschnitt einer *Sandwich-Konstruktion mit Absorbersystem in der Aussenschale* ist in Bild 9 für durchschnittliche Winterbedingungen und für Nachtstunden dargestellt.

Bei laufender Wärmepumpe kühlt sich die Aussenschale um etwa 3 bis 5 Kelvin unter die Temperatur der Aussenluft ab. Unter durchschnittlichen Bedingungen nimmt die Absorberfläche einen Energiestrom von etwa 90 Watt je Quadratmeter aus der Umwelt auf. Bei diffuser oder direkter Sonneneinstrahlung erhöht sich dieser Energiestrom um ein Vielfaches.

Das Rohrregister in der Aussenschale der Sandwich-Konstruktion nimmt jedoch nicht nur Energie aus der Umwelt auf. *Auch dem Gebäude wird Energie entzogen.* Bedingt durch die Temperaturabsenkung in der Aussenschale erhöht sich das treibende Temperaturgefälle zum Gebäudeinneren. Der Wärmeverlust wird sich an den mit Absorberflächen belegten Aussenbauteilen zeitweise erhöhen. Im vorliegenden Beispiel (8 cm Dämmschicht) von 9 W/m² auf 13 W/m². Obwohl dieser Energiestrom nicht verloren geht, sondern weitgehend durch das Rohrsystem aufgenommen und zurückgeführt wird, ist es aus wirtschaftlichen Überlegungen sinnvoll, den entstehenden Kurzschluss-Wärmestrom über das mit Absorberflächen belegte Aussenbauteil klein zu halten. Das kann durch entsprechende Anpassung der Dämmschichtdicke oder aber durch eine Minimierung der Absorberflächen an Aussenwänden zugunsten von Absorberflächen an freistehenden Bauteilen (Brüstungen, Lisenen, Umfriedungsmauern, Abfangmauern usw.) geschehen.

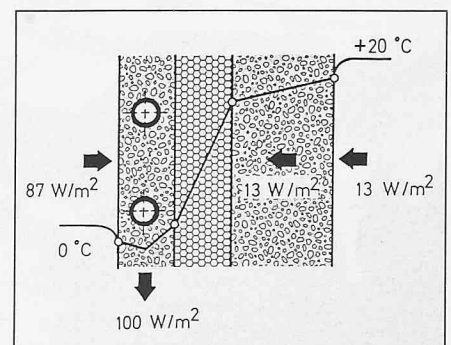
Neben den energetischen Fragestellungen verdient das Problem der *Wasserdampfdiffusion* in einer Absorber-Aussenwand eine ganz besondere Beachtung. Durch entsprechende Auslegung und durch Wahl geeigneter Baustoffe muss dafür gesorgt werden, dass der Tauwasseranfall in der Grenzschicht zwischen Dämmung und Aussenschale innerhalb zulässiger Werte bleibt.

Entscheidend für die *Wirtschaftlichkeit* des Heizsystems ist das Verhältnis der erzielten Heizleistung Q_H zur elektrischen Leistungsaufnahme der Wärmepumpe P_{el} . Kennwert hierfür ist die *Leistungszahl* ϵ

$$\epsilon = \frac{Q_H}{P_{el}}$$

Die Leistungszahl gibt an, in welchem Verhältnis die Wärmeleistung der Heizung zur elektrischen Leistungsaufnahme der Wärmepumpe einschliesslich der Sole-Umwälzpumpen steht. In Bild 10 sind die gemessenen Leistungsziffern eines Massivabsorber-Heizsystems mit zwei unterschiedlichen Niedertemperatur-Heizsystemen als Funktion der

Bild 9. Temperaturverlauf über dem Wandquerschnitt einer Sandwich-Konstruktion mit Absorbersystem in der Aussenschale sowie Energieströme für einen durchschnittlichen Wintertag



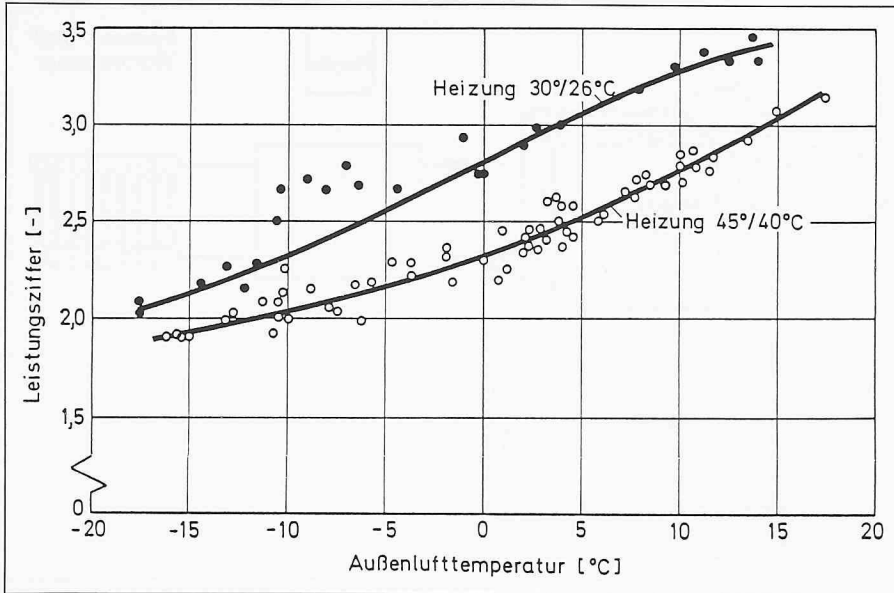


Bild 10. Darstellung der Leistungsziffer der Wärmepumpe über der Aussenlufttemperatur

Aussenlufttemperatur dargestellt. Die eingetragenen Messpunkte repräsentieren jeweils einen Mittelwert über acht Stunden. Die Messdaten wurden in einem Experimentierhaus auf dem Freilandversuchsgelände Holzkirchen des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik ermittelt.

Erfahrungen aus der Praxis

Praxiserfahrungen mit dem neuen Energiesystem wurden unter anderem an den in Bild 11 und 12 dargestellten Gebäuden gesammelt. Sowohl das Verwaltungsgebäude mit einer Bürofläche von etwa 5000 m² als auch das 30-Familienhaus werden monovalent, das heisst ohne jede Zusatzheizung, mit dem Massivabsorber-Heizsystem beheizt. Aussenwände, Brüstungen, Lisenen und freistehende Betonbauteile sind hierbei als Absorberflächen ausgebildet. Die erdberührende Bodenplatte der Gebäude dient als Kalspeicher. Das Heizsystem hat sich auch unter extre-

men Klimabedingungen am Standort Villingen/Schwenningen (780 m über NN) bewährt. Die Heizung arbeitet störungsfrei.

Anforderungen an die Komponenten

Beim Massivabsorber-Heizsystem werden Rohrleitungen des Absorbers in einen Teil der gebäudeumschliessenden Bauteile integriert. Das erfordert zwingend, dass das Absorbersystem die gleiche Lebenserwartung haben muss wie die konstruktiven Bauteile selbst. Daraus ergeben sich wichtige Konsequenzen für die Materialwahl und die Herstellung. Es können nur Rohrmaterialien verwendet werden, die unter Betriebsbedingungen eine Lebenserwartung von wenigstens 50 Jahren haben. Ein besonderes Augenmerk gilt dem Beton als Absorberbaustoff. Durch den Absorber-Betrieb wird der Beton durch rasche Temperaturveränderungen, durch stärkere Feuchtebelastungen und durch eine Vielzahl von Frost-Tau-

wechseln mehr beansprucht als bei üblicher Verwendung. Daher werden auch an die Betonherstellung weit höhere Forderungen gestellt als üblich. Besonders ist das Augenmerk zu richten auf

- die Wahl der Zuschlagstoffe und der Mischungsverhältnisse;
- eine sorgfältige Betonherstellung mit einer guten, lunkerfreien Verdichtung;
- eine ausreichende Betonüberdeckung der Rohre und Armierungen;
- eine entsprechende Nachbehandlung des jungen Betons;
- eine wirksame Oberflächenbeschichtung der Absorberflächen.

Nach dem heutigen Wissensstand können daher Massivabsorber-Bauteile nur unter sorgfältig kontrollierten Bedingungen in einem Beton-Fertigteilwerk hergestellt werden. Massivabsorber aus Ortbeton sind wegen der verstärkten thermischen und hygrischen Belastung ungeeignet. Ebenso eignen sich keine gemauerten oder aussenseitig verputzten Bauteile als energieaufnehmende Absorber.

Die Wirtschaftlichkeit des Systems wird entscheidend durch eine sorgfältige Abstimmung von Gebäude-Wärmeschutz, Grösse, Lage und Ausbildung der Absorberflächen und Speicher, Gebäudeheizung und der apparativen Einrichtung bestimmt.

Nach einem Vortrag, gehalten am Seminar «Aktuelle Beiträge zur Gestaltung und Bauphysik im Betonbau» am 1. Dez. 1980 in der ETH Zürich. Veranstalter: Verein Schweiz. Zement-, Kalk- und Gipsfabrikanten.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. B. Schwarz, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Postfach 1180, D-8150 Holzkirchen.

Bild 11. Das Verwaltungsgebäude mit einer Bürofläche von 5000 m² wird ohne jede Zusatzheizung monovalent mit dem Massivabsorber-Heizsystem beheizt



Bild 12. 30-Familien-Haus mit monovalenter Beheizung über ein Massivabsorber-Heizsystem

