

Wissensbasis

**ENERGIE
SPEICHER
BETON**

Wissensbasis für
den Praktiker

Information kompakt
auf 8 Schautafeln
mit Erläuterungen für den schulischen Gebrauch

ENERGIE SPEICHER BETON

Inhaltsverzeichnis:

Editorial	03
Wissenswertes rund um den Energiespeicher Beton	ab 04
Bildstrecke: Vom Material bis zur Baustelle	ab 14
Erläuterungen zu den Schautafeln 1–8	ab 18

Impressum (Namensnennung ohne Titel)

Medieninhaber & Herausgeber: Betonmarketing Österreich // www.betonmarketing.at

Hersteller: Zement + Beton Handels- u. Werbeges.m.b.H // T: +43 1 714 66 85 - 33 // www.zement.at

Redaktion: Institut Retzl, Johann Ecker // VÖZ, Felix Friembichler // Zement + Beton, Frank Huber

unter Mitarbeit von: TU-Wien, Thomas Bednar // REHAU, Thomas Petershofer // Zement + Beton, Ursula Jus, Cathérine Stuzka, Ursula Malina //

FIN, Harald Kuster // SIX Energieoptimierung, Erich Six // Bundesinnung Bau, Robert Rosenberger // Innovations- und Forschungsstelle BAU

mit Unterstützung der Europäischen Union / Europäischer Fond für regionale Entwicklung und des Landes Salzburg, Gunther Graupner //

LBS Wals, Martin Ahammer // LBS Hallein, Thomas Schwarzenberger

Redaktionelle Überarbeitung und wissenschaftliche Begleitung der 3. Auflage 2016: Klaus Kreč

4. Auflage 2017

Layout: Fredmansky www.fredmansky.at // Überarbeitung: Z+B

Druck: Friedrich Druck & Medien GmbH, Linz

Die Informationen erfolgen nach bestem Wissen und Gewissen, jedoch ohne Gewähr. Eine Haftung ist ausgeschlossen.



Information kompakt – rund um den Energiespeicher Beton

Warum wird Heizen und Kühlen mit niedrigen Temperaturniveaus in den nächsten Jahren so bedeutsam? Was sind wichtige physikalische Grundgesetze zum Thema Heizen und Kühlen mit Beton? Einen raschen Überblick über die Grundlagen hinter den Schautafeln „Energiespeicher Beton“ finden Sie hier:

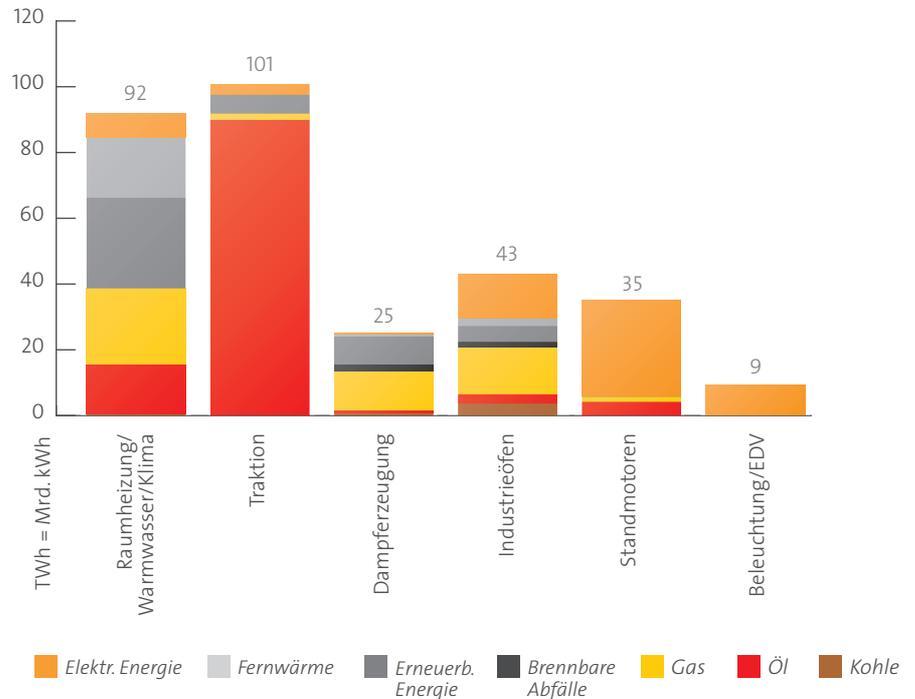
- Ab 2020 ist das Niedrigst-Energie-Gebäude der Neubau-Standard in Europa
- Die 20-20-20-Ziele
- Energie: Die Grundbegriffe
- Begriffe rund ums Heizen
- Energetische Gebäudestandards
- Der Status quo des Energieverbrauchs im Haushalt
- Der Nutzen der thermischen Aktivierung von Bauteilen aus Beton
- Detailinformation zu Schautafeln „Heizen & Kühlen mit Beton“

Die Bauphysik gibt keine Konstruktionsrezepte vor, sondern zeigt physikalische Gesetzmäßigkeiten für Vorgänge auf, welche im oder um das Gebäude ablaufen. Bauphysik soll ein integrierender Bestandteil der Denkweise von Architekten, Planern und Installateuren sein. Gerade bei der Bauteilaktivierung ist es sehr hilfreich, wenn alle Beteiligten die wichtigsten Zusammenhänge der dafür relevanten Bauphysik kennen und bei der praktischen Arbeit berücksichtigen können. Dabei soll diese Kurzinformation unterstützen.

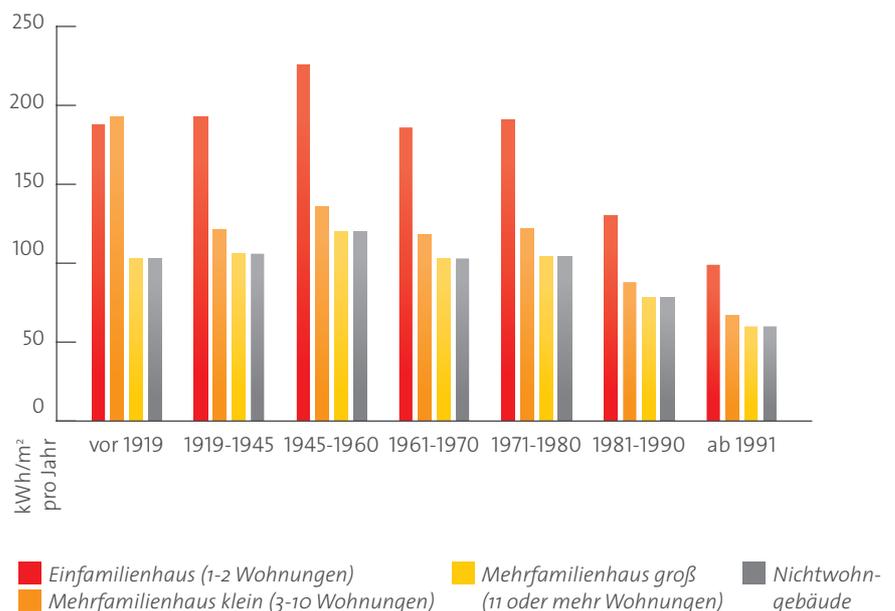
Das Redaktionsteam

Ab 2020 sind Niedrigst-Energie-Gebäude der Neubau-Standard in Europa

Der Gesamtenergieverbrauch in Österreich ist ein Resultat der Energienutzung für unterschiedliche Aufgaben:



Die Aufwendungen für Raumwärme und Raumkühlung sind die zweithäufigste Nutzungsart für Energie. Dabei hängt der Heizwärmebedarf der bestehenden Gebäude stark vom Zeitraum der Errichtung ab.



Abbildungsinfo ▶
Endenergieverbrauch nach Verbrauchszwecken (2012)
 Quelle: Energiestatus Österreich 2014, Daten BMWWF, 2014

Abbildungsinfo ▶
Durchschnittlicher jährlicher Heizenergiebedarf in der Errichtungsperiode
 Quelle: Jungmeier, et al. 1996

Die 20-20-20-Ziele

Im Dezember 2008 hat sich die Europäische Union auf ein Richtlinien- und Zielpaket für Klimaschutz und Energie geeinigt, welches ambitionierte Zielvorgaben bis 2020 enthält (häufig als „20-20-20-Ziele“ bezeichnet).

Demnach gelten bis zum Jahr 2020 die folgenden europaweiten Vorgaben:

- **20% weniger Treibhausgasemissionen als 2005**
- **20% Anteil an erneuerbaren Energien**
- **20% mehr Energieeffizienz**

Auch für den Ausbau erneuerbarer Energieträger wurden per Richtlinie verbindliche nationale Zielvorgaben festgelegt, die zusammen genommen eine Steigerung des Anteils der Erneuerbaren am Gesamtenergieverbrauch („Brutto-Endenergieverbrauch“) – einschließlich Strom, Wärme und Mobilität – auf 20% bis zum Jahr 2020 bewirken sollen. Für Österreich gilt ein Zielwert von 34% für das Jahr 2020.

Quelle: e-control

Raumwärme und Raumkühlung haben nach der Mobilität den höchsten Anteil am Gesamtenergiebedarf.

Die thermische Sanierung des Gebäudebestands zeigt die größte Wirkung, den Energieverbrauch ohne Komfortverlust zu verringern. Die Ausführung von Neubauten und die Techniken bei der Gebäudeerneuerung müssen den Trend dafür vorgeben.

Die Richtlinie der EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden vom 19. Mai 2010 verpflichtet die Mitgliedsstaaten ab dem Jahr 2020, Neubauten nur mehr als Niedrigstenergiegebäude zu errichten. Das umfasst alle dauerhaft genutzten Gebäude, egal ob zum Arbeiten oder Wohnen.

Im Sinne dieser Richtlinie ist ein Niedrigstenergiegebäude „ein Gebäude, das eine sehr hohe, nach Anhang I bestimmte Gesamtenergieeffizienz aufweist. Der fast bei null liegende oder sehr geringe Energiebedarf sollte zu einem ganz wesentlichen Teil durch Energie aus erneuerbaren Quellen [...] gedeckt werden.“

Im Anhang I der Richtlinie wird dazu ausgeführt:

„1. Die Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes ist anhand der berechneten und tatsächlichen Energiemenge zu bestimmen, die jährlich verbraucht wird, um den unterschiedlichen Erfordernissen im Rahmen der üblichen Nutzung des Gebäudes gerecht zu werden, und wird durch den Energiebedarf für Heizung und Kühlung (Vermeidung von übermäßiger Erwärmung) zur Aufrechterhaltung der gewünschten Gebäudetemperatur sowie durch den Wärmebedarf für Warmwasser dargestellt.“

Linktipp:

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:DE:PDF>



▲ Abbildungsinfo

Windkraftanlage liefert erneuerbare Energie

Quelle: © Rainer Sturm / pixelio.de

Energie – Die Grundbegriffe

Energie ist ein Maß für die Fähigkeit eines Körpers, Arbeit zu verrichten. Energie kann nicht vernichtet werden, sondern nur von einer in andere Energieformen übergehen. Zum Beispiel geht beim Heizen im Zuge des Verbrennungsvorgangs die im Brennstoff gebundene chemische Energie in thermische Energie (also Wärme) über.

Beispiele für Energieformen

- Lageenergie oder potentielle Energie (z. B. Wasser im Stausee)
- Bewegungsenergie oder kinetische Energie (z. B. Drehung der Turbinenschaufel)
- Elektrische Energie (z. B. elektrischer Strom aus dem Generator)
- Chemische Energie (z. B. gespeichert in Brennstoffen)
- Thermische Energie (z. B. Wärmemengen, gespeichert in Bauteilen)

Energie ist gemäß dem **internationalen Einheitensystem** (SI-Einheiten) in **Joule** anzugeben (Einheit J). 1 Joule ist identisch mit einer Wattsekunde (Einheit Ws) und damit eine sehr kleine Einheit. Verwendet werden daher eher die Einheiten Kilojoule (kJ) oder Megajoule (MJ). Im Bereich der Energieversorgung von Haushalten hat sich die Energieeinheit Kilowattstunde (kWh) durchgesetzt.

$$1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kWs} = 3600 \text{ kJ} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Anmerkung: In den SI-Einheiten sind zur Vermeidung zu großer Zahlen Kennungen definiert, die vor die jeweilige (beliebige) Einheit gesetzt werden können. Eine Auswahl solcher Vorsätze zeigt folgende Tabelle:

Zeichen	Name	Faktor
k	Kilo	10^3
M	Mega	10^6
G	Giga	10^9
T	Tera	10^{12}

Gebräuchlich ist z. B. der Kilometer (km) für 1000 Meter, die Kilowattstunde (kWh) für 1000 Wattstunden, die Megawattstunde (MWh) für 1 Million Wattstunden usw.

Leistung

Wird während eines gewissen Zeitintervalls Energie abgegeben, so ergibt sich die Abgabeleistung durch Division der abgegebenen Energie durch die Zeit (d. h. die Länge des Zeitintervalls). Die Einheit der Leistung ist das **Watt** (W).

Hilfreicher ist es oft, sich den Zusammenhang zwischen Leistung und Energie in der Form *Energie = Leistung · Zeit* zu merken. Läuft ein Heizkessel z. B. während einer gewissen Zeit auf Nennleistung (zumeist in kW angegeben), so ergibt sich die Wärmeabgabe während der Laufzeit des Kessels durch Multiplikation der Nennleistung mit der Zeit. Wird die Zeit in Stunden angegeben, so ist das Ergebnis der Multiplikation unmittelbar die vom Kessel abgegebene Wärmemenge in kWh.



▲ Abbildungsinfo

Eine Turbine verwandelt potenzielle Energie in kinetische Energie

Quelle: „Walchenseewerk Pelton 120“
© Voith Siemens Hydro Power Generation

infobox

Insbesondere in der Heizungstechnik ist es wichtig, Leistung und Energie nicht zu verwechseln.

infobox

Energie = Leistung • Zeit

Begriffe rund ums Heizen

Heizlast

Die Heizlast ist jene Heizleistung (in W oder kW), die einem Raum oder dem Gebäude zugeführt werden muss, um die Einhaltung der Solltemperaturen innerhalb des Gebäudes auch bei widrigsten winterlichen außenklimatischen Bedingungen zu gewährleisten.

Die **Gebäudeheizlast** dient dem Heizungsplaner als Ausgangspunkt für die Auslegung des Wärmeerzeugungssystems. Die **Raumheizlasten** bilden die Grundlagen für die Dimensionierung der Heizkörper im jeweiligen Raum. Bei Flächenheizungen wird aus der Raumheizlast die erforderliche beheizte Fläche errechnet; bei der Bauteilaktivierung ist diese identisch mit der mit dem Rohrregister zu belegenden Boden- oder Deckenfläche.

Um „auf der sicheren Seite“ zu liegen, werden bei normgemäßen **Heizlastberechnungen** weder die Einflüsse der Sonneneinstrahlung noch die der nutzungsbedingten Innenwärmern in Rechnung gestellt. Damit ergibt sich die **Heizlast** als Summe der Transmissions- und Lüftungswärmeverlustleistung an einem sehr kalten Tag. Für die Heizlastberechnung von Niedrigenergiegebäuden sind die in der Norm enthaltenen Sicherheiten zu groß. Eine sinnvolle Heizungsauslegung erfordert bei solchen Gebäuden Simulationsrechnungen unter Berücksichtigung der Sonneneinstrahlung.

Norm-Außentemperatur

In eine normgemäße Heizlastberechnung gehen die außenklimatischen Bedingungen nur über die Außenlufttemperatur an einem extrem kalten Tag ein. Es wäre nun verfehlt, für die Außenlufttemperatur irgendeinen extrem tiefen Wert anzunehmen. Zum einen würde damit der Einfluss der außenklimatischen Bedingungen auf die Heizungsauslegung ignoriert und damit **klimagerechtes Planen und Bauen** verhindert. Zum anderen würde der Wärmeerzeuger extrem überdimensioniert, was sowohl zu einem hohen Wartungsaufwand als auch zu einem überhöhten Energiebedarf führen würde. Nach Norm ist die **Norm-Außentemperatur** ortsabhängig anzusetzen; die entsprechenden Listen finden sich in der Datei NAT.XLS in den OIB-Richtlinien 2007, die von der OIB-Homepage herunter geladen werden kann (www.oib.or.at).

Heizwärmebedarf

Der Heizwärmebedarf gibt jene Wärmemenge an, die der Innenluft eines Gebäudes zugeführt werden muss, um während der Heizsaison die Einhaltung der Solltemperatur zu gewährleisten. Er ist seiner Definition nach eine Energie, wird also in kWh oder MWh angegeben. Er darf keinesfalls mit der Heizlast verwechselt werden.

Der Heizwärmebedarf wird mittels Aufstellung und Lösung der Wärmebilanzgleichung für das Gebäude rechnerisch ermittelt, wobei in Hinblick auf die außenklimatischen Verhältnisse die am Gebäudestandort im langjährigen Schnitt anzutreffenden Klimadaten verwendet werden. Die folgende Abbildung zeigt die langjährigen Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur für ausgewählte Standorte in Österreich.

Die Angaben zur Gebäudenutzung, wie etwa die Personenbelegung, die Lüftungsraten oder die Wärmeabgaben durch Beleuchtung und Geräte sind für solche Berechnungen genormt.



▲ Abbildungsinfo

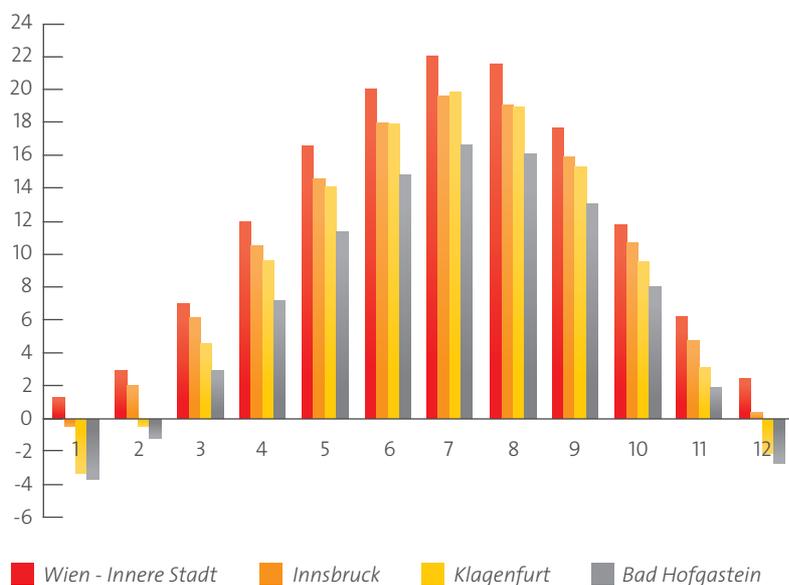
Deckenfläche belegt mit Rohrregister

Quelle: © Kirchdorfer Zementwerk; Hofmeister Multimedia

Abbildungsinfo ▶

Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur für ausgewählte Standorte in Österreich [°C]

Quelle: Klimadatenrechner des bmwfw



Heizenergiebedarf

Der Heizenergiebedarf eines Gebäudes ist jene Energiemenge, die dem Wärmeerzeugungssystem eines Gebäudes zugeführt werden muss, um während der Heizsaison die Einhaltung der Solltemperatur zu gewährleisten. Im Gegensatz zum Heizwärmebedarf gehen beim Heizenergiebedarf die Eigenschaften des Heizungssystems – was die Wärmeverteilung in den Räumen, die Führung und Wärmedämmung der Heizungsrohre, die Dämmung etwaig vorhandener Speicher und den Umwandlungswirkungsgrad des Wärmeerzeugers betrifft – in die Rechnung ein.

Nach normgemäßer Berechnung ergibt sich der Heizenergiebedarf als Summe aus dem Heizwärmebedarf und dem sog. **Heiztechnikenergiebedarf**.

Der Heizenergiebedarf wird in kWh oder MWh angegeben. Aus ihm lässt sich der im langjährigen Schnitt zu erwartende Brennstoffbedarf mittels Division durch den Heizwert des verwendeten Brennstoffs errechnen.

Heizwert

Der Heizwert ist jene Wärmemenge, die bei der Verbrennung eines Brennstoffs frei wird. Zu achten ist darauf, dass Heizwerte häufig auf unterschiedliche Einheiten bezogen sind – siehe die folgende Tabelle.

Heizwerte von Brennstoffen (Mittelwerte)

Erdgas	9,50 kWh/m ³
Heizöl extra leicht	9,80 kWh/l
Briketts	9,00 kWh/kg
Steinkohle	7,10 kWh/kg
Braunkohle	4,35 kWh/kg
Holz lufttrocken	4,00 kWh/kg

Quelle: ÖNorm H5050:1989

infobox

Brennstoffbedarf =
Heizenergiebedarf / Heizwert

Endenergiebedarf

Der Endenergiebedarf ist eine Prognose über die gesamte, während eines Jahres dem Gebäude im langjährigen Schnitt zuzuführende Energiemenge. Im Vergleich zum Heizenergiebedarf enthält der Endenergiebedarf auch die während des ganzen Jahres für die Warmwasserbereitung erforderliche Energie. Zudem wird auch der Stromverbrauch für Beleuchtung und Geräte dem Endenergiebedarf zugerechnet. Auch im Sommer etwaig anfallender Kühlbedarf gehört zum Endenergiebedarf.

Kenngößen

Heizwärme-, Heizenergie- und Endenergiebedarf eignen sich nicht unmittelbar für einen Vergleich zwischen verschiedenen Gebäuden, da natürlich die Gebäudegröße die prognostizierten Bedarfswerte wesentlich mitbestimmt.

Um eine Vergleichbarkeit in Hinblick auf die thermisch-energetische Qualität von Wohngebäuden zu erreichen, werden in der OIB-Richtlinie 6 die Bedarfswerte auf die konditionierte, d. h. beheizte **Bruttogrundfläche** bezogen. Die Kenngößen werden nun als HWB_{BGF} -Wert für den Heizwärmebedarf, als HEB_{BGF} -Wert für den Heizenergiebedarf und als EEB_{BGF} -Wert für den Endenergiebedarf bezeichnet und tragen die Einheit kWh/m^2a . Für Nicht-Wohngebäude erfolgt der Bezug auf das konditionierte **Bruttovolumen**. Die entsprechenden Kennzahlen sind durch den Index V gekennzeichnet (HWB_V -Wert, HEB_V -Wert und EEB_V -Wert). Der Bezug auf die Bruttogrundfläche einerseits oder auf das Bruttovolumen andererseits führt für ein und dasselbe Gebäude auf deutlich unterschiedliche Kenngößen.

Bedarf versus Verbrauch

Die bisher besprochenen Größen waren Bedarfswerte und sind rechnerische Prognosen in Hinblick auf den während einer Heizsaison im langjährigen Schnitt zu erwartenden Energiebedarf. Wird hingegen beim bereits errichteten und genutzten Gebäude ein Monitoring durchgeführt und erhoben, wie groß der Energieverbrauch während eines Jahres oder mehrerer Jahre war, so spricht man von Verbrauchswerten.

Da die Gebäudenutzung den Energieverbrauch sehr stark beeinflusst und nur selten der der Bedarfsrechnung zugrunde liegenden Normnutzung entsprechen wird, ist eine Übereinstimmung zwischen prognostiziertem Bedarf und gemessenem Verbrauch eher die Ausnahme als die Regel.

infobox

**Bruttogrundfläche =
Nettogrundfläche +
Konstruktionsgrundfläche
(wie z.B. Mauerwerk, Stützen)**

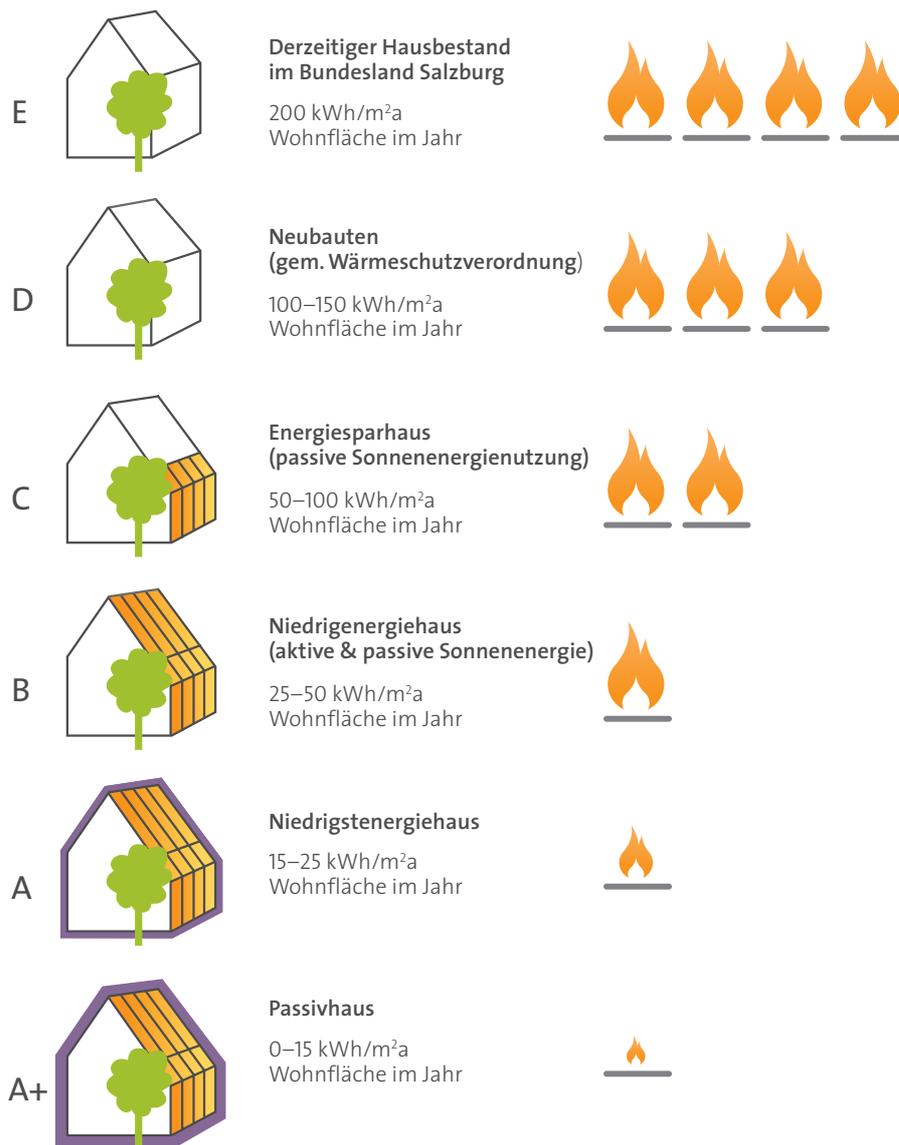
**Bruttovolumen ist das Volumen
des Bauwerks, das von den äußeren
Begrenzungsflächen und der
Bauwerkssohle umschlossen wird.**

Energetische Gebäudestandards

Abbildungsinfo ►

Entwicklung des Heizenergiebedarfs von Gebäuden unterschiedlicher klimarelevanter Gebäudeausrüstung (Vergangenheit – Gegenwart – Zukunft)

Quelle: Auswertung von 6000 Energieberatungen im Land Salzburg, Energieberatung Salzburg, Six



Infobox

Heizwärmebedarf (HWB) pro m² konditionierter Bruttogrundfläche (BGF) bezogen auf das Standortklima (SK)

A++:	HWB _{BGF, SK}	≤ 10 kWh/m ² a
A+:	HWB _{BGF, SK}	≤ 15 kWh/m ² a
A:	HWB _{BGF, SK}	≤ 25 kWh/m ² a
B:	HWB _{BGF, SK}	≤ 50 kWh/m ² a
C:	HWB _{BGF, SK}	≤ 100 kWh/m ² a
D:	HWB _{BGF, SK}	≤ 150 kWh/m ² a
E:	HWB _{BGF, SK}	≤ 200 kWh/m ² a
F:	HWB _{BGF, SK}	≤ 250 kWh/m ² a
G:	HWB _{BGF, SK}	> 250 kWh/m ² a

Quelle: OIB Richtlinie 2011

Erst Mitte der 1970er Jahre wurden erstmals gesetzliche Regelungen in den Bundesländern eingeführt, um den Energiebedarf für Raumwärme zu beschränken. Vor dieser Zeit errichtete Häuser weisen durchschnittlich einen Energiebedarf von ca. 200 kWh/m²a (Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr) auf. Häuser mit einem Bauzeitpunkt ab Mitte der 1970er Jahre bis in die 1990er Jahre benötigen durchschnittlich 100 bis 150 kWh/m²a an Heizenergie. Ca. ab dem Jahr 2000 wurden die maximal zulässigen Heizenergiemengen für Neubauten in den Bundesländern stufenweise weiter reduziert. Anfangs waren noch 70 bis 100 kWh/m²a Energieverbrauch für Raumwärme der erreichte Durchschnitt, bei Bauten ab 2011 liegt der durchschnittliche Verbrauch bei Neubauten bei 30 bis 50 kWh/m²a.

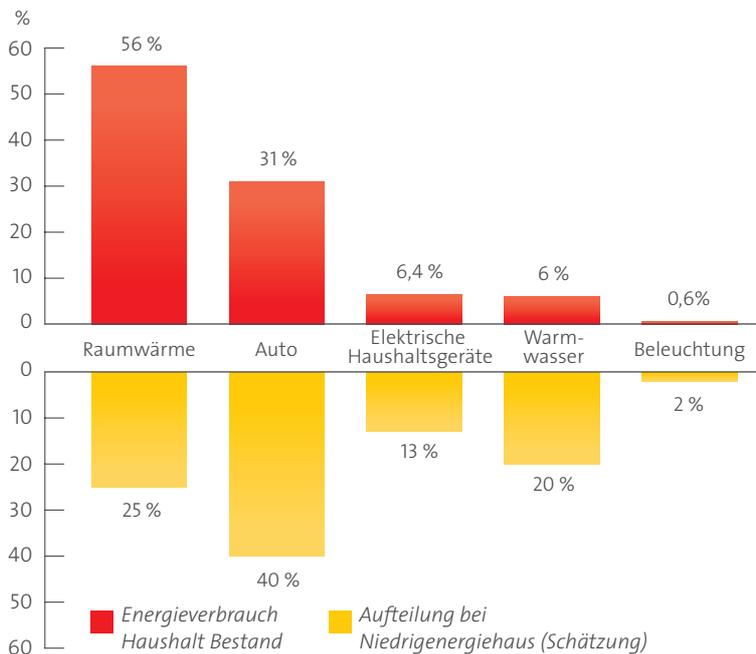
Derzeit sind die Anforderungen an die energetische Qualität von Gebäuden in der OIB-Richtlinie 6 für ganz Österreich einheitlich festgelegt. In dieser Richtlinie sind sowohl Obergrenzen für den Heizwärme- und Kühlbedarf als auch für die Wärmedurchgangskoeffizienten („U-Werte“) der Bauteile der Gebäudehülle angegeben.

Der Status quo des Energieverbrauchs im Haushalt

Der derzeitige durchschnittliche Heizenergiebedarf des Gebäudebestandes beträgt ca. 200 kWh/m²a bezogen auf die Brutto-Grundfläche.

Ein Einfamilienhaus von 150 m², das mit Heizöl geheizt wird, benötigt bei diesem Heizenergiebedarf ca. 3000 Liter Heizöl (ein Liter hat einen Heizwert von ca. 10 kWh).
 $3000 \cdot 10 / 150 = 200 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.

Aktuelle Neubauten liegen überwiegend unter 50 kWh/m²a, wobei in der bisherigen Praxis jedenfalls im privaten Wohnbau Kühlenergie nicht berücksichtigt wurde. Aus den 20-20-20 Zielen geht klar hervor: Der Energieverbrauch für das Heizen und Kühlen von neuen Gebäuden muss in den nächsten Jahren noch weiter deutlich sinken, und als Voraussetzung müssen die Wärmeverluste der Gebäude weiter verringert werden.



Derzeit wird in Haushalten mehr als die Hälfte der benötigten Energie für die Raumwärme verwendet (56%). Zukunftsszenarien lassen jedenfalls eine Reduktion des anteiligen Gesamtenergieverbrauchs auf 25% für die Raumwärme erwarten. Dann übernimmt die Mobilität mit einem Anteil von ca. 40% an der Gesamtenergie den Spitzenplatz. Der Anteil der Warmwassererzeugung wird, bezogen auf den Gesamtverbrauch, von derzeit ca. 6% auf 20% ansteigen. Durch besser gedämmte Gebäudehüllen und Wärmerückgewinnung entstehen bei der Raumwärme weniger Verluste.

Die Einsparmöglichkeiten von Energie für die Erwärmung von Warmwasser sind in Hinblick auf bauliche Maßnahmen eng begrenzt. Hierbei ist insbesondere auf die Bedeutung von kurzen Leitungslängen, sehr guter Wärmedämmung der Verteilleitungen und des Warmwasserspeichers hinzuweisen. Großes Potential zur Vermeidung des Verbrauchs nicht erneuerbarer Energien entsteht durch Verwendung von Warmwasserkollektoren für die Warmwasserbereitung.

Neue Häuser – geringster Energieverbrauch für Heizen und Kühlen ist Pflicht!

◀ Abbildungsinfo

Derzeitiger/künftiger Energieverbrauch im Haushalt – anteilig dargestellt

Quelle: VEÖ, Energieberatung Salzburg, Six

Der Nutzen der thermischen Aktivierung von Bauteilen aus Beton

Ziel der Temperierung von Gebäuden mittels Beheizung und eventuell auch Kühlung ist weniger die Einhaltung einer gewissen, vom Nutzer gewünschten Lufttemperatur, sondern vielmehr die ganzjährige Gewährleistung eines möglichst hohen thermischen Komforts.

Thermischer Komfort

Bei welchen Temperaturen ein Raum als behaglich eingestuft wird, wird von Person zu Person unterschiedlich beurteilt. Qualitativ können aber sehr wohl folgende wichtige Aussagen getroffen werden:

1. Das Temperaturempfinden des Menschen in einem Raum hängt in erster Linie von den **Oberflächentemperaturen** der ihn umgebenden Bauteile ab.
2. Die **Lufttemperatur** spielt im Vergleich zu den Oberflächentemperaturen für das Temperaturempfinden eine eher untergeordnete Rolle.

Für eine hohe thermische Behaglichkeit ist maßgebend, dass die Temperaturen der dem Raum zugewandten Oberflächen möglichst wenig voneinander abweichen. Auch die Differenz zwischen **Lufttemperatur** und **Oberflächentemperaturen** sollte nicht zu groß sein (jedenfalls kleiner als $4,0\text{ °C}$).

Strahlungsasymmetrie

Größere Unterschiede in den Temperaturen der verschiedenen Oberflächen (Unterschiede größer $5,0\text{ °C}$) erzeugen eine sog. „Strahlungsasymmetrie“ im Raum. Ist eine Person einer solchen Strahlungsasymmetrie ausgesetzt, so löst diese eine Empfindung aus, die von der bei Zugluft auftretenden Unbehaglichkeit kaum unterschieden werden kann. Strahlungsasymmetrien stören daher den thermischen Komfort eines Raums empfindlich.

Um der großen Bedeutung der Oberflächentemperaturen Rechnung zu tragen, wird heute als „Soll-Temperatur“ eines Raums nicht mehr die Lufttemperatur, sondern die sog. „operative Temperatur“ verwendet.

Operative Temperatur

Die operative Temperatur ist eine fiktive Größe, die als Mittelwert zwischen der Raumlufttemperatur und der mittleren Temperatur aller inneren Oberflächen des Raums rechnerisch ermittelt wird.

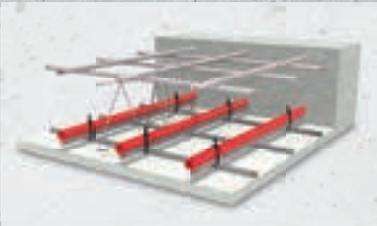
Bauteilaktivierung

Die thermische Bauteilaktivierung (TBA) nutzt die Bedeutung der Oberflächentemperaturen für den thermischen Komfort im Raum insofern aus, als sehr große Flächen gleichmäßig temperiert werden. Allgemein ist die Bauteilaktivierung damit dem Wärmeabgabetypp einer Flächenheizung zuzuordnen.

Flächenheizung

Eine Flächenheizung unterscheidet sich von einer herkömmlichen Heizung dadurch, dass die wärmeabgebende Fläche um ein Vielfaches größer ist. Da die Wärmeabgabe eines Heizkörpers mit dessen Fläche zunimmt, kann die Vorlauftemperatur für eine Flächenheizung bei gleicher Heizleistung wesentlich niedriger sein als z. B. für einen Radiator. Dies spart nicht nur Energie, sondern sorgt auch über angenehm temperierte Oberflächen für einen hohen thermischen Komfort.

Die Bauteilaktivierung unterscheidet sich im Vergleich zu anderen Flächenheizungen durch die Einbettung der Rohrregister in ein sehr gut wärmespeicherndes und gut wärmeleitfähiges Material: Beton.



▲ Abbildungsinfo

3D-Modell:
Schnitt durch die Decke

Quelle: Z+B, Schwabl

Wärmespeichervermögen

Eine wichtige Kenngröße für das Wärmespeichervermögen eines Materials ist die auf das Volumen bezogene Wärmekapazität. Diese erhält man durch Multiplikation der Massendichte ρ mit der spezifischen (massebezogenen) Wärmekapazität c . Spezifische Wärmekapazitäten werden üblicherweise in kJ/kgK angegeben und liegen für die meisten Baustoffe im Bereich um $c = 1,0$ kJ/kgK; lediglich Holz und Holzwerkstoffe bilden mit spezifischen Wärmekapazitäten von bis zu ca. 2,5 kJ/kgK eine Ausnahme. Mit ansteigender volumenbezogener Wärmekapazität steigt auch das Wärmespeichervermögen.

	Massendichte ρ [kg/m ³]	spezifische Wärmekapazität c [kJ/kgK]	Volumenbezogene Wärmekapazität $c \cdot \rho$ [kJ/m ³ K]	
Beton	2400	1,00	2400	100%
Zementestrich	2000	1,08	2160	90%
Vollziegel	1600	1,00	1600	67%
Holz	475	1,60	760	33%
Steinwolle	90	1,03	93	4%

Quelle: ÖNorm B8110-7:2013

Wird ein Material erwärmt, so ergibt sich die Obergrenze für die aufgrund der Erwärmung einspeicherbaren Wärmemenge durch Multiplikation der volumenbezogenen Wärmekapazität mit der Temperaturdifferenz.

Eine weitere Materialeigenschaft beeinflusst die Verwendungsmöglichkeit eines Materials als Wärmespeicher wesentlich: die **Wärmeleitfähigkeit**. Die Wärmespeicherfähigkeit kann bei hoch wärmeleitfähigen Stoffen wesentlich besser ausgenutzt werden als bei Materialien mit vergleichsweise niedriger Wärmeleitfähigkeit. Um die Auswirkung der Wärmeleitfähigkeit auf die Wärmespeicherfähigkeit zu berücksichtigen, wurde für Bauteile als Kenngröße die sog. „wirksame Wärmekapazität“ eingeführt.

Wirksame Wärmekapazität

Die wirksame Wärmekapazität eines Bauteils ist ein Maß dafür, wie viel Wärme bei sinusförmiger Änderung der Temperatur auf einer Seite des Bauteils in den Bauteil eindringt und dort gespeichert wird. Sie ist auf die Amplitude der Temperaturänderung bezogen und wird in kJ/K angegeben. Üblicherweise wird die wirksame Wärmekapazität auf die Bauteilfläche bezogen (Einheit: kJ/m²K).

Beton als Wärmespeicher

Beton besitzt neben dem sehr guten Wärmespeichervermögen auch eine vergleichsweise hohe Wärmeleitfähigkeit. Je nach Art des Betons liegt seine Wärmeleitfähigkeit im Bereich zwischen $\lambda = 1,5$ und 2,5 W/mK und damit um den Faktor 12 bis 20 höher als z. B. die Wärmeleitfähigkeit von Holz und Holzwerkstoffen.

Aufgrund seiner guten Wärmeleitfähigkeit schneidet Stahlbeton bei der wirksamen Wärmekapazität χ noch besser ab als bei der volumenbezogenen Wärmekapazität – siehe die folgende Tabelle.

	Massendichte ρ [kg/m ³]	spezifische Wärmekapazität c [kJ/kgK]	Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK]	Wirksame Wärmekapazität χ [kJ/m ² K]	
Stark bewehrter Beton	2400	1,00	2,50	276	100%
Beton ohne Bewehrung	2400	1,00	2,00	272	99%
Zementestrich	2000	1,08	1,33	220	80%
Vollziegel	1600	1,00	0,69	141	51%
Massivholzplatte	475	1,60	0,12	37	13%
Steinwolle-Dämmplatte	90	1,03	0,04	10	4%

Quelle für ρ, c, λ : ÖNorm B8110-7:2013

Stahlbeton erweist sich somit als hervorragender Wärmespeicher und ist damit für die Bauteilaktivierung prädestiniert.

Infobox

Großbuchstabe	Kleinbuchstabe	Name
Δ		Delta
Θ		Theta
Λ	λ	Lamba
	π	Pi
	ρ	Rho
Φ		Phi
	χ	Chi

Die in der Bauphysik und in dieser Broschüre gebräuchlichen Bezeichnungen aus dem griechischen Alphabet.

Infobox

einspeicherbare Wärmemenge =
volumsbezogene Wärmekapazität · Temperaturdifferenz

Infobox

Beton als Wärmespeicher

- sehr gutes Wärmespeichervermögen
- hohe Wärmeleitfähigkeit
- prädestiniert für Bauteilaktivierung

Bildstrecke: Vom Material bis zur Baustelle

Abbildungsinfo ▶

Mit dem Spezialwerkzeug wird das Ende der Rohrleitung aufgeweitet.

Quelle: Rehau



Abbildungsinfo ▶

Mit einer Presse wird die Hülse auf die Kupplung aufgeschoben und nachträglich geschützt (Klebeband).

Quelle: Rehau





◀ **Abbildungsinfo**

Bei großen Flächen bieten sich werkseitig vorgefertigte Systeme (Module) an, die auf die Bewehrung aufgelegt und verbunden werden.

Quelle: Rehau



◀ **Abbildungsinfo**

Bei kleineren Flächen oder bei Anbindeleitungen zum Verteiler werden die Rohre händisch mittels Kabelbinder an der bestehenden Bewehrung befestigt.

Quelle: Bauakademie.Salzburg

Bildstrecke: Vom Material bis zur Baustelle

Abbildungsinfo ▶

Die Rohre werden durch spezielle Schalungskästen unter die Decke geführt.

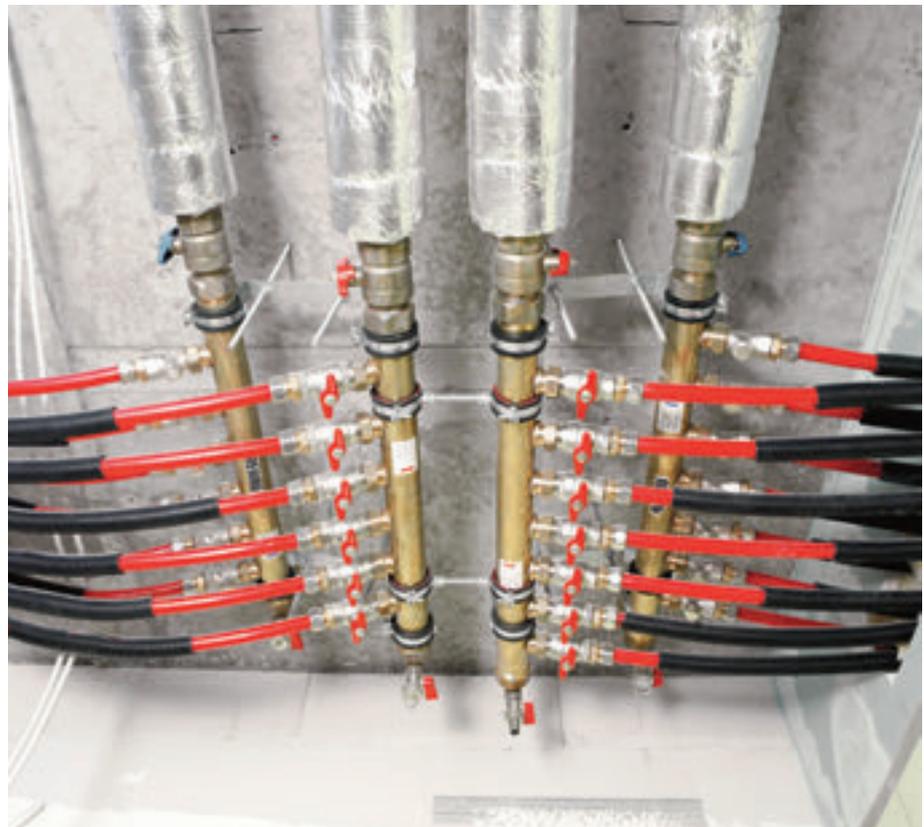
Quelle: Rehau



Abbildungsinfo ▶

Die Anbindeleitungen (Vor- und Rücklauf) der Module werden zu den Verteilern geführt. Bei Deckendurchführungen sind Schutzrohre (im Bild schwarz) vorzusehen.

Quelle: Rehau





◀ **Abbildungsinfo**

Das gesamte Rohrsystem wird während des Betonierens unter Druck gehalten. Leckagen werden rasch erkannt.

Quelle: Rehau

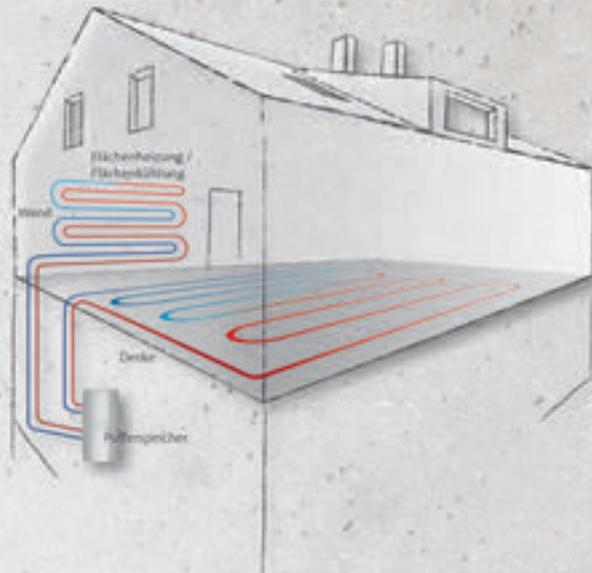


◀ **Abbildungsinfo**

Im Technikraum sind die Vor- und Rücklaufleitungen gut bedienbar angeordnet und verständlich beschriftet.

Quelle: Rehau

Heizen & Kühlen mit Beton



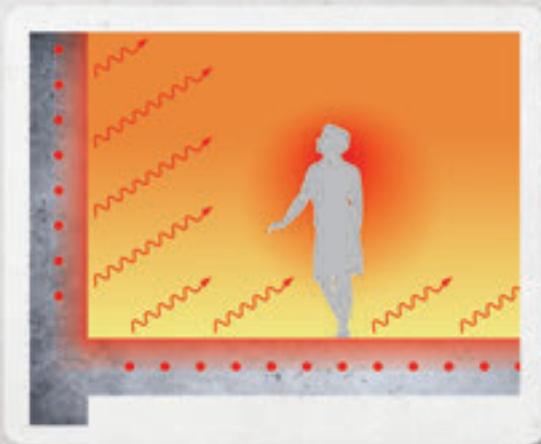
infobox

Wärme fließt immer von Orten höherer Temperatur zu Orten niedrigerer Temperatur.
Beton kann große Wärmemengen speichern. Das wird für Heizung und Kühlung genutzt.
Voraussetzung für das Gebäude: große Masse, gute Wärmedämmung und Bauteilaktivierung.

Heizen

<<< mit demselben Rohrsystem >>>

Kühlen



Bei großflächigen Betonbauteilen erfolgt bis zu 90 % des Wärmeaustausches durch Strahlungswärme, der Rest durch Wärmeströmung (Konvektion) der Raumluft.



Überschüssige Wärme wird von den Betonbauteilen aufgenommen und abgeführt.

Schautafel 1

Das „Gesamtsystem Gebäude“ (1)

Das Gebäude mit seinen haus- und klimatechnischen Komponenten wirkt immer als Gesamtsystem. Dieses muss daher auch stets in seiner Gesamtheit betrachtet werden. So stehen die thermische Qualität der Gebäudehülle, die Ausrichtung der verglasten Teile des Gebäudes und das im Inneren des Gebäudes aufgrund der Bauweise zur Verfügung stehende Wärmespeichervermögen in Wechselwirkung. Sie beeinflussen den Energiebedarf für die Heizung und auch jenen für eine eventuell notwendige Kühlung stark.

Von der haustechnischen Seite muss die Art und Größe des Wärmeerzeugers sowie von etwaig erforderlichen Wärmespeichern sorgsam auf das Bauwerk abgestimmt werden. Ebenso hilft eine Abstimmung in Hinblick auf die Lage des Technikraums und die Wärmeverteilung, um Verteilungen kurz zu halten und Platz für eine gute Wärmedämmung dieser Leitungen frei zu halten.

Je besser die Komponenten des komplexen Gesamtsystems Gebäude aufeinander abgestimmt sind, desto effektiver kann die zur Temperierung des Gebäudes notwendige Energie eingesetzt werden. Bei sehr hoher thermischer Qualität der Gebäudehülle – d. h. im Bereich von Niedrigenergie- und Passivhäusern – sind die Wärmeströme im Gebäude eher klein. Dies bedeutet, dass bereits kleine aufgrund mangelnder Abstimmung auftretende Fehler bei der Bereitstellung und/oder Verteilung von Wärme große Auswirkung haben und den Endenergiebedarf deutlich erhöhen können. Bei Niedrigenergie- und Passivhausbauten ist daher eine sehr genaue Abstimmung der Komponenten des Gesamtsystems Gebäude unabdingbar.

Der Energiebedarf eines Gebäudes ergibt sich aus seiner Wärmebilanz und aus der Effektivität der im haustechnischen System eingesetzten Energie. Bei der Wärmebilanzierung von Gebäuden halten die Wärmeverluste den Wärmegewinnen die Waage. Der Wärmeeintrag in ein Bauwerk wird auf der einen Seite durch die außenklimatischen Gegebenheiten und Art und Orientierung der verglasten Teile der Gebäudehülle bestimmt (solarer Wärmeeintrag). Auf der anderen Seite beeinflusst die Gebäudenutzung über die Wärmeabgabe von Personen, Beleuchtung und Geräten die im Gebäude auftretenden Wärmemengen erheblich.

Die Wärmeverluste setzen sich aus den Transmissionswärmeverlusten der Gebäudehülle (Wärmeverluste durch Wärmeleitung) und den Lüftungswärmeverlusten zusammen. Sie hängen in erster Linie von der am Gebäudestandort anzutreffenden Außenlufttemperatur ab.

Auch die Gebäudenutzung beeinflusst über die gesetzten Soll-Innentemperaturen und die hygienisch erforderlichen Lüftungsraten die Verlustseite der Wärmebilanzgleichung.

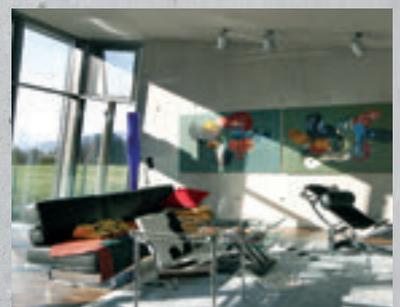
Die Wärmebilanz dokumentiert das thermische Verhalten des Gebäudes ganzjährig. In Abhängigkeit von der Jahreszeit sind Wärmeverluste und Wärmegewinne allerdings anders zu werten. So ist z. B. ein hoher Wärmeeintrag im Winter sehr willkommen, da er den Heizwärmebedarf deutlich senkt und die Länge der Heizsaison verkürzt. Im Sommer hingegen kann ein zu hoher Wärmeeintrag zu Überhitzungserscheinungen führen und stört insofern, als er letztendlich zu einem Kühlerfordernis – und damit zu vermehrtem Energieaufwand – führen kann.



▲ Abbildungsinfo

Die Gebäudenutzung (Wärmeabgabe von Personen, Beleuchtung und Geräten) beeinflusst die im Gebäude auftretenden Wärmemengen.

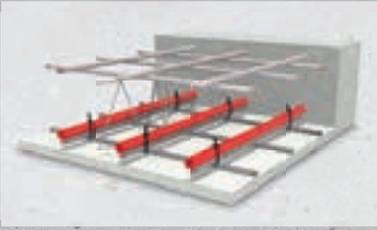
Quelle: Z+B



▲ Abbildungsinfo

Der Wärmeeintrag in das Gebäude ist im Winter sehr willkommen

Quelle: © GVBT



▲ **Abbildungsinfo**

**3D-Modell:
Schnitt durch die Decke**

Quelle: Z+B, Schwabl

Beim Heizen und Kühlen mit Beton übernehmen die Betonbauteile neben ihrer Tragfunktion auch die Funktion eines Energiespeichers. Dieser Energiespeicher wirkt selbstregulierend durch den physikalisch bedingten Wärmefluss von „warm nach kalt“, er kann durch entsprechende Einbauten (Heiz- und Kühlsysteme) aber auch bewusst gesteuert (= aktiviert) werden: Warmes/kühles Wasser wird durch Rohre geleitet und erwärmt/kühlt die umschließenden Bauteile.

Die Selbstregulierung bewirkt zum einen über den langwelligen Strahlungsaustausch einen Temperaturengleich zwischen eventuell unterschiedlich temperierten Oberflächen. Zum anderen wird sich auch die Lufttemperatur über konvektive Vorgänge an den Bauteiloberflächen der mittleren Oberflächentemperatur annähern.

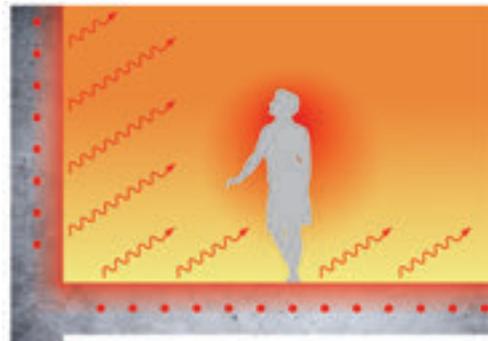
Aufgrund der sehr hohen Wärmespeicherfähigkeit der Betonbauteile können vom Beton größere Wärmemengen aufgenommen werden, ohne dass dies zu starken Temperaturänderungen des Bauteils führt. Damit helfen Bauteile aus Beton Temperaturspitzen, wie sie durch sprunghafte Änderungen der Wärmegewinne oder Wärmeverluste entstehen können, auszugleichen. Dieser Effekt existiert ganzjährig. Er wirkt sowohl kurzzeitigen sommerlichen Temperaturanstiegen als auch winterlichem Temperaturabfall entgegen.

Um eine hohe thermische Behaglichkeit im Raum sicherzustellen, sollten hohe Oberflächentemperaturen, wie sie z. B. bei kleinflächigen Heizkörpern auftreten, vermieden werden. Daher bietet es sich an, entweder Decken oder Fußböden oder Wände als „Flächenheizkörper“ zu nutzen. Die vergleichsweise sehr große Fläche eines solchen Heizkörpers bewirkt einerseits, dass bereits relativ niedrige Oberflächentemperaturen genügen, um den gewünschten thermischen Komfort herzustellen. Andererseits ist zum Betrieb eines Flächenheizkörpers nur eine relativ niedrige Temperatur des Heizmittels erforderlich, was für die heizungstechnische Seite ein sehr hohes Energieeinsparungspotential eröffnet.

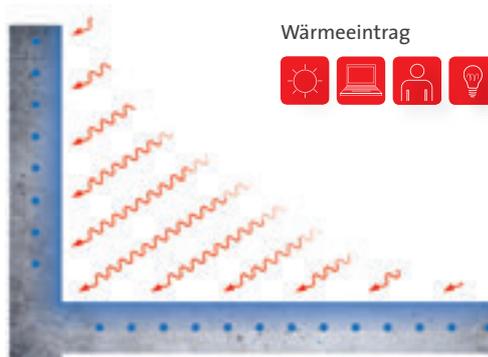
Abbildungsinfo ▶

Heizen und Kühlen mit demselben Rohrsystem

Quelle: Z+B



Bei großflächigen Betonbauteilen erfolgt bis zu 90 % des Wärmeaustausches durch Strahlungswärme, der Rest durch Wärme- strömung (Konvektion) der Raumluft.



Wärmeeintrag



Überschüssige Wärme wird von den Beton- bauteilen aufgenommen und abgeführt.

Das eingebaute Rohrsystem kann sowohl zum Heizen als auch zum Kühlen verwendet werden. Im Winter (Heizfall) ist die Temperatur der Flüssigkeit im Rohrsystem im Vergleich zu einer konventionellen Heizung auf ein sehr niedriges Temperaturniveau einzu-
regeln (maximale Heizmitteltemperatur ca. 28 °C). Bei 28 °C und 20 °C Soll-Temperatur im beheizten Raum liegt die flächenbezogene Wärmeabgabeleistung im Bereich zwischen 30 und 40 W/m².

Im Sommer kann bereits mit relativ hoher Kühlmitteltemperatur (minimale Kühlmitteltemperatur 18 °C) die notwendige Kühlleistung erbracht werden. Bei 18 °C und einer Soll-Temperatur von 24 °C liegt die flächenbezogene Wärmeaufnahmeleistung bei ca. 40 W/m².

Die relativ niedrigen Heizmitteltemperaturen und die vergleichsweise hohen Kühlmitteltemperaturen sorgen dafür, dass das System wenig Energie benötigt und damit wirtschaftlich betrieben werden kann.

Bei der thermischen Aktivierung einer Zwischendecke muss vorerst entschieden werden, ob der über oder der unter der Decke liegende Raum durch die aktivierte Decke temperiert werden soll. Ist eine Temperierung des über der Decke liegenden Raums angedacht, so hat die Bauteilaktivierung den Effekt einer Fußbodenheizung oder -kühlung. Ein generelles Problem bei solchen Ansätzen ist sicherlich, dass die aus akustischen Gründen erforderliche Trittschalldämmung auch wärmedämmende Wirkung hat. Sie behindert damit sowohl die Wärmeabgabe der Stahlbetondecke im Fall der Heizung als auch deren Wärmeaufnahme im Fall der Kühlung erheblich.

Wird jedoch der unter der Decke liegende Raum durch die aktivierte Decke temperiert, so handelt es sich um eine Deckenheizung bzw. -kühlung. Gegen solche Systeme wird sehr gerne rasch eingewendet, dass bekanntlich Wärme von unten nach oben steigt und eine Deckenheizung damit ein Widerspruch in sich ist. Diese Argumentation hinkt aber insofern, als das Aufsteigen warmer Luft mit der Ausbreitung von Wärme gleich gesetzt wird.

Der Großteil des Wärmetransports einer thermisch aktivierten Decke an einen Raum erfolgt nicht konvektiv – also über die Luft – sondern über Wärmestrahlung. Wärmestrahlung ist – wie auch Licht – eine elektromagnetische Strahlung und damit masselos. Daher kann die Schwerkraft in diesem Zusammenhang keine Rolle spielen. Wärmestrahlung kennt kein „oben“ oder „unten“ und breitet sich in alle Richtungen gleichförmig aus. Die Beheizung eines Raums über die Decke erweist sich somit als durchaus sinnvoller Ansatz.

Das komplexe Zusammenspiel der Komponenten des Gesamtsystems Gebäude tritt deutlich bei der Berechnung der für die Beheizung eines Raums erforderlichen aktivierten Deckenfläche zu Tage. Erst bei Gebäuden in Niedrigenergiehaus- und Passivhausqualität zeigt sich, dass bereits ein Bruchteil der Deckenfläche ausreicht, um den Raum auch während widrigster außenklimatischer Bedingungen angenehm warm zu halten. Bei Gebäuden mit niedrigerer thermischer Qualität erweist sich hingegen eine alleinige Beheizung über eine thermisch aktivierte Decke als nicht sinnvoll.

Die Temperierung eines Raums über die Decke ist im Fall der Kühlung besonders effektiv, da sich aufsteigende warme Luft an der Decke abkühlt und wieder nach unten abfällt. Dieser konvektive Anteil kommt zur – auch im Sommer dominierenden – Wärmeaufnahme der Decke über Wärmestrahlung hinzu. Dieser in Bürogebäuden seit langem erfolgreich ausgenutzten Eigenschaft einer thermisch aktivierten Decke wird in Zukunft stark steigende Bedeutung zukommen, da bereits sehr bald aufgrund des Klimawandels die Kühlung von Räumen auch für Wohngebäude ein wichtiges Thema werden wird. Die thermisch aktivierte Decke kann somit als bedeutsamer Teil zukunfts-gerechten Planens und Bauens bezeichnet werden.

Infobox

Winter/Heizfall

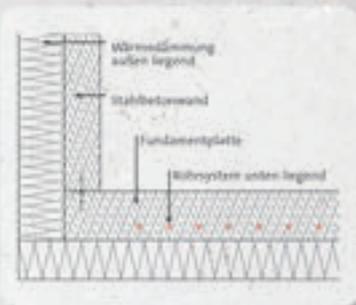
Heizmitteltemperatur 28 °C
Soll-Raumtemperatur 20 °C
Wärmeabgabeleistung 30-40 W/m²

Sommer/Kühlfall

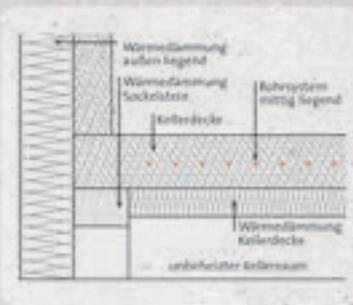
Heizmitteltemperatur 18 °C
Soll-Raumtemperatur 24 °C
Wärmeaufnahmeleistung 40 W/m²

Flächenheizung & Flächenkühlung

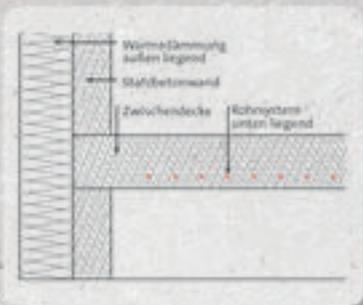
Detail Fundamentplatte



Detail Kellerdecke /-wand

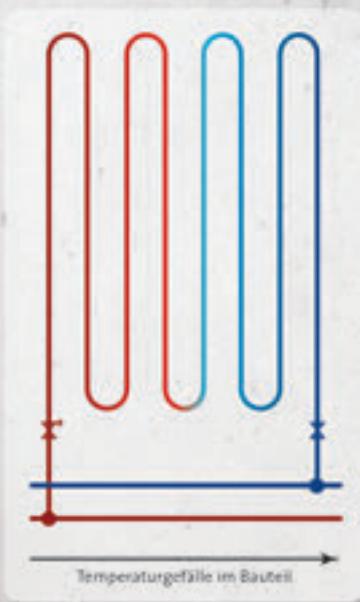


Detail Zwischendecke

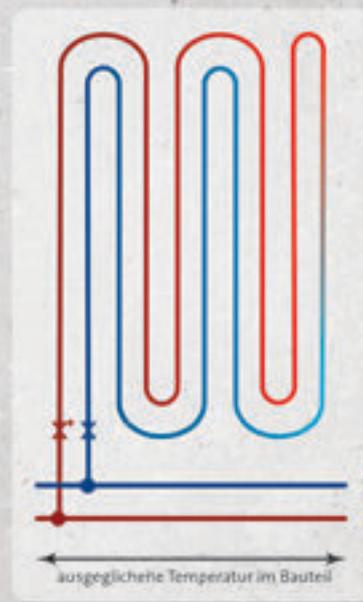


Prinzipskizzen:

Verlegesystem Einfachmäander



Verlegesystem Doppelmäander



	Heizfall	Kühlfall
Vorlauf	28-25°	18-22°
Rücklauf	23-20°	10-15°

infobox

- Abstand Rohrleitungen 15 – 20 cm (laut Verlegeplan)
- Lage der Rohrleitungen
Fundamentplatte: unten
Geschoßdecke: unten bis mittig
- Sinnvolle Rohrlänge pro Heizkreis rund 100 m bis zu 150 m

Schautafel 2

Flächenheizung und Flächenkühlung

Bauliche Voraussetzungen

Grundvoraussetzung für das Funktionieren des Systems „Energiespeicher Beton“ ist eine ausreichende und perfekt hergestellte Wärmedämmung des Gebäudes bzw. des betroffenen Gebäudeteils. Anzustreben ist der Niedrigstenergiestandard nach der europäischen Richtlinie für die Effizienz von Gebäuden (Niedrigstenergiegebäude bzw. Passivhausgebäude).

Unter dem Bauwerk bzw. auch im Hinterfüllungsbereich sind entsprechend druckfeste Dämmungen zu verwenden. Bauwerksfugen sind entsprechend konstruktiv auch in der Wärmedämmung auszubilden (erhöhte Gefahr von Wärmebrücken). Gedämmte und ungedämmte Gebäudebereiche (wie z. B. ungedämmte Garagen im Untergeschoß) sind thermisch zu trennen bzw. übergreifend zu dämmen. Im Grundwasser ist ein Unterströmen der Wärmedämmung durch Verkleben oder sonstige Maßnahmen zu vermeiden.

Systemvarianten der thermischen Bauteilaktivierung

Modulbauweise:

Die Fixierung des Rohrs auf den Betonstahlgittermatten erfolgt im Werk mit Mattenbindern.

- Schnelle Montage
- Variable Modulabmessungen
- Standard- und Sondergeometrien

Die Vorkonfektionierung der Module sichert einen hohen Qualitätsstandard und kurze Montagezeiten.

Vor Ort verlegt:

Die Rohrleitungen werden am einfachsten mit Hilfe von Kabelbindern an der vorgesehenen Unterkonstruktion (entweder die statisch notwendige untere Bewehrungslage oder eine zusätzlich vorgesehene Unterkonstruktion) befestigt.

- Flexible Anpassung der Bauteilaktivierungs-Kreise an die Gebäudegeometrie
- Variable Bauteilaktivierungs-Kreislängen
- Einfache Rohrverlegung

Durch die Rohrverlegung direkt auf dem Baufeld können die Bauteilaktivierungs-Kreise an jede Gebäude- und Nutzungsform besonders flexibel angepasst werden. Die Verlegung der Rohrleitungen erfolgt in einzelnen Rohrkreisen mit bis zu maximal 150 m Leitungslänge. Die einzelnen Rohrkreise werden über Sammelleitungen zu einem Gesamtsystem zusammengefasst.

Die Rohre werden vorzugsweise im Doppelmändersystem verlegt. Dies gewährleistet einen gleichmäßigen Temperaturverlauf im Bauteil. Besonders bei großflächigen Modulen führt dies zu einer homogeneren Temperaturverteilung im Bauteil und zu gleichmäßigeren Temperaturen an den Bauteiloberflächen.

Der genutzte Temperaturbereich dieser „Flächenheizkörper“ liegt zwischen mindestens 18 °C zum Kühlen (darunter besteht Gefahr der Kondenswasserbildung) und maximal 28 °C zum Heizen.

Je nach aktiviertem Bauteil werden die Rohrleitungen verlegt:

Fußbodenheizung -> Rohre im Estrich

Bodenplatte -> Rohre unten liegend

Stockwerkdecke -> Rohre unten bis mittig liegend

Eine oberflächennahe Verlegung der Leitungen erhöht die Gefahr der Beschädigung durch Bohrmontage oder Stemmarbeiten enorm. Darüber hinaus wird das nutzbare Speichervolumen des Bauteils nicht zur Gänze ausgeschöpft. Eine oberflächennahe Verlegung wirkt jedoch der Trägheit des Systems entgegen.



▲ Abbildungsinfo

Kabelbinder zur Befestigung der Rohrleitung auf der Bewehrung

Quelle: Rehau

Physikalische Grundlagen

infobox

Wie errechnet man die in einen Körper einspeicherbare Wärmemenge (Q)?

Man multipliziert

- die **Massendichte** des Körpers in kg/m^3
- mit der **spezifischen Wärmekapazität (c)** in kJ/kgK (materialabhängig)
- und der **Temperaturerhöhung (ΔT)** in Kelvin

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Wärmespeicherung:

bei einer Temperaturerhöhung von 1 Kelvin kann

1 m³ Beton 667 Wh (2.400 kJ) Wärme speichern.

1 m³ Fichtenholz (475 kg) 211 Wh (760 kJ) Wärme speichern.

1 m³ Wasser 1.164 Wh (4.190 kJ) Wärme speichern.

Im Vergleich zu Fichtenholz kann Beton bei gleichem Volumen rund 3x mehr Wärme speichern, Wasser sogar 5x soviel.

Wärmetransport erfolgt durch



Wärmestrahlung: wird von jeder Körperoberfläche permanent abgegeben



Konvektion: immer in Verbindung mit Massentransport (Luft, Wasser)



Wärmeleitung: tritt immer bei Temperaturunterschieden auf (Ausgleichsprozess)

Selbstregulierung:

$\Theta^* > \Theta_a$ und $\Theta^* > \bar{\Theta}$ → aktivierter Bauteil gibt Wärme ab (Heizfall)

$\Theta^* = \Theta_a$ und $\Theta^* = \bar{\Theta}$ → aktivierte Decke gibt keine Wärme ab (ist inaktiv)

$\Theta^* < \Theta_a$ und $\Theta^* < \bar{\Theta}$ → aktivierte Decke nimmt Wärme auf (Kühlfall)

Θ^* ... Oberflächentemperatur des aktivierten Bauteils

Θ_a ... Raumlufttemperatur

$\bar{\Theta}$... mittlere Oberflächentemperaturen aller anderen raumbegrenzenden Flächen

- Selbstregulierung ohne aufwändigen Regler tritt dann auf, wenn im Heizfall die Oberflächentemperatur des aktivierten Bauteils Θ^* geringfügig über bzw. im Kühlfall geringfügig unter der Solltemperatur liegt.
- Voraussetzung für ein gutes Funktionieren des Systems sind eine hohe thermische Qualität der Gebäudehülle sowie genügend große aktivierbare Flächen.

Schautafel 3

Physikalische Grundlagen (1)

Von warm zu kalt – das funktioniert immer

Beim Heizen und Kühlen wird der Umstand genutzt, dass Körper Wärme an ihre Umgebung abgeben oder Wärme aus der Umgebung aufnehmen können. Sobald die Oberflächentemperatur höher ist als die Lufttemperatur, gibt der Körper Wärme ab (Heizen). Ist hingegen die Luft wärmer als die Oberfläche, so wird Wärme vom Körper aufgenommen, was zu einem Kühleffekt führt. Generell fließt Wärme immer von Orten höherer zu Orten niedrigerer Temperatur.

Das Funktionsprinzip der Bauteilaktivierung beruht darauf, dass durch die Temperatur des Heiz- bzw. Kühlmittels die Oberflächentemperatur im Bereich des aktivierten Bauteils erhöht oder verringert wird. Damit wird erreicht, dass größere Bereiche der raumumschließenden Bauteile (z. B. ein Großteil der Decken- oder Fußbodenfläche) gezielt auf nahezu einheitlicher Temperatur gehalten werden.

Im Falle der Heizfunktion liegt die Oberflächentemperatur der aktivierten Bauteile knapp über der Solltemperatur des Raums. Dies führt dazu, dass einerseits Wärme an die Raumluft übertragen wird und deren Temperatur ansteigt. Andererseits wird von der beheizten Oberfläche Wärme mittels Wärmestrahlung auf andere Oberflächen übertragen, sofern diese kühler sind.

Die Wirkung thermisch aktivierter Bauteile verändert sich unter sommerlichen Bedingungen insofern, als durch die Zufuhr von gekühlter Flüssigkeit im Rohrregister die Oberflächentemperatur abgesenkt wird. Die thermisch aktivierte Fläche nimmt nun Wärme auf, was einerseits zur Absenkung der Lufttemperatur und andererseits über den Strahlungsaustausch auch zu einer Abkühlung der inneren Oberflächen führt.

Wärmestrahlung

Jeder Körper strahlt Wärme in Form von Wärmestrahlung ab. Wärmestrahlung ist eine elektromagnetische Strahlung. Da die Wellenlänge dieser Strahlung länger ist als jene des sichtbaren Lichts, ist Wärmestrahlung unsichtbar. Sie kann aber z. B. mit einer Infrarotkamera sichtbar gemacht werden.

Die Intensität der Wärmestrahlung hängt von Art und Temperatur der Oberfläche ab. Mit zunehmender Oberflächentemperatur steigt die Intensität der Wärmestrahlung stark an.

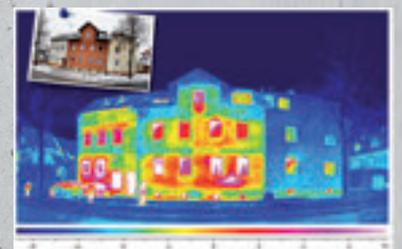
In einem Raum strahlen sich die einander zugewandten Oberflächen Wärme zu. Da die wärmeren Oberflächen mehr Wärmestrahlung emittieren als kältere Oberflächen, erfolgt auch hier ein Wärmetransport „von warm zu kalt“. Dieser Effekt wird langwelliger Strahlungsaustausch genannt und führt zu einer Angleichung von eventuell vorhandenen Unterschieden in den Oberflächentemperaturen. In der Planung der Bauteilaktivierung wird diese Eigenschaft insofern ausgenutzt, als aktivierte Flächen derart positioniert werden, dass sie mit tendenziell kalten Oberflächen – wie z. B. den Fensterflächen – in „Sichtkontakt“ stehen. Durch die von der aktivierten Fläche ausgehende Wärmestrahlung werden die kälteren Oberflächentemperaturen merkbar angehoben und der thermische Komfort im Raum deutlich verbessert.



▲ Abbildungsinfo

Strahlungswärme ist insbesondere bei großen Temperaturunterschieden gut spürbar

Quelle: © Albrecht E. Arnold / pixelio.de



▲ Abbildungsinfo

Wärmestrahlung mit Infrarotkamera „sichtbar“ gemacht

Quelle: © Ingo Bartussek

Physikalische Grundlagen

infobox

Wie errechnet man die in einen Körper einspeicherbare Wärmemenge (Q)?

Man multipliziert

- die **Massendichte** des Körpers in kg/m³
- mit der **spezifischen Wärmekapazität (c)** in kJ/kgK (materialabhängig)
- und der **Temperaturerhöhung (ΔT)** in Kelvin

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Wärmespeicherung:

bei einer Temperaturerhöhung von 1 Kelvin kann

1 m³ Beton 667 Wh (2.400 kJ)

Wärme speichern.

1 m³ Fichtenholz (475 kg)

211 Wh (760 kJ) Wärme speichern.

1 m³ Wasser 1.164 Wh (4.190 kJ)

Wärme speichern.

Im Vergleich zu Fichtenholz kann Beton bei gleichem Volumen rund 3x mehr Wärme speichern, Wasser sogar 5x soviel.

Wärmetransport erfolgt durch



Wärmestrahlung:
wird von jeder Körperoberfläche permanent abgegeben



Konvektion:
immer in Verbindung mit Massentransport (Luft, Wasser)



Wärmeleitung:
tritt immer bei Temperaturunterschieden auf (Ausgleichsprozess)

Selbstregulierung:

$\Theta^* > \Theta_a$ und $\Theta^* > \bar{\Theta}$ → aktivierter Bauteil gibt Wärme ab (Heizfall)

$\Theta^* = \Theta_a$ und $\Theta^* = \bar{\Theta}$ → aktivierte Decke gibt keine Wärme ab (ist inaktiv)

$\Theta^* < \Theta_a$ und $\Theta^* < \bar{\Theta}$ → aktivierte Decke nimmt Wärme auf (Kühlfall)

Θ^* ... Oberflächentemperatur des aktivierten Bauteils

Θ_a ... Raumlufttemperatur

$\bar{\Theta}$... mittlere Oberflächentemperaturen aller anderen raumbegrenzenden Flächen

- Selbstregulierung ohne aufwändigen Regler tritt dann auf, wenn im Heizfall die Oberflächentemperatur des aktivierten Bauteils Θ^* geringfügig über bzw. im Kühlfall geringfügig unter der Solltemperatur liegt.
- Voraussetzung für ein gutes Funktionieren des Systems sind eine hohe thermische Qualität der Gebäudehülle sowie genügend große aktivierbare Flächen.

Schautafel 3

Physikalische Grundlagen (2)

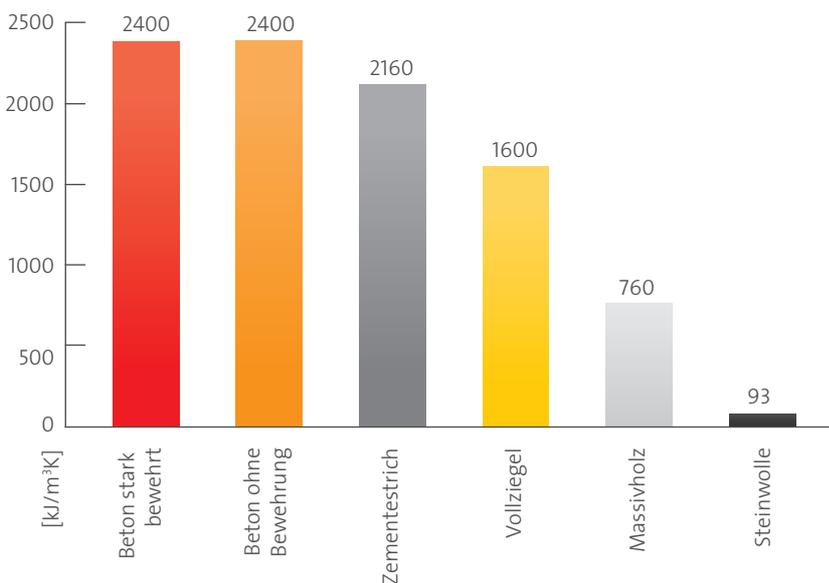
Das Wärmespeichervermögen von Bauteilen

Um die Temperatur eines Körpers zu erhöhen, muss diesem Wärme zugeführt werden. Wie diese Temperaturerhöhung ausfällt, hängt einerseits von der zugeführten Wärmemenge und andererseits von den wärmetechnischen Eigenschaften des Körpers ab. Als Kenngrößen treten hier die volumenbezogene Wärmekapazität, also das Produkt aus spezifischer (massebezogener) **Wärmekapazität c** und **Massendichte ρ** , sowie die **Wärmeleitfähigkeit λ** auf.

Die **Temperaturerhöhung $\Delta\Theta$** , die sich in einem Körper mit dem **Volumen V** aufgrund der Zufuhr einer gewissen **Wärmemenge Q** einstellt, errechnet sich gemäß

$$\Delta\Theta = \frac{Q}{c \cdot \rho \cdot V}$$

Aus dieser einfachen Beziehung lässt sich leicht ableiten, dass die Temperaturerhöhung bei gleichem Volumen und unter Zufuhr der gleichen Wärmemenge umso kleiner ausfallen wird, je größer die volumenbezogene Wärmekapazität des untersuchten Baustoffs $c \cdot \rho$ ist. Die folgende Abbildung zeigt die volumenbezogene Wärmekapazität verschiedener Baustoffe.



Eine Betonwand wird sich bei Wärmezufuhr aufgrund ihrer hohen volumenbezogenen Wärmekapazität weit weniger aufheizen als z. B. eine Wand aus Vollziegeln oder aus Vollholz. Diese Eigenschaft ist der Grund für die sehr gute Eignung des Betons zum Ausgleich von Temperaturschwankungen.

Bei der Interpretation der volumenbezogenen Wärmekapazität als Baustoffeigenschaft darf jedoch nicht übersehen werden, dass die Wärmeaufnahme immer auch von der Wärmeleitfähigkeit des Baustoffs abhängt. Ist diese klein, so wird es sehr lange dauern, bis die **Wärmemenge Q** vom **Volumen V** zur Gänze aufgenommen wurde und der Baustoff einheitliche Temperatur hat.

Infobox

Großbuchstabe	Kleinbuchstabe	Name
Δ		Delta
Θ		Theta
Λ	λ	Lamba
	π	Pi
	ρ	Rho
Φ		Phi
	χ	Chi

Die in der Bauphysik und in dieser Broschüre gebräuchlichen Bezeichnungen aus dem griechischen Alphabet.

Abbildungsinfo

Volumenbezogene Wärmekapazitäten [kJ/m³K]

Vgl. auch Tabelle S. 13

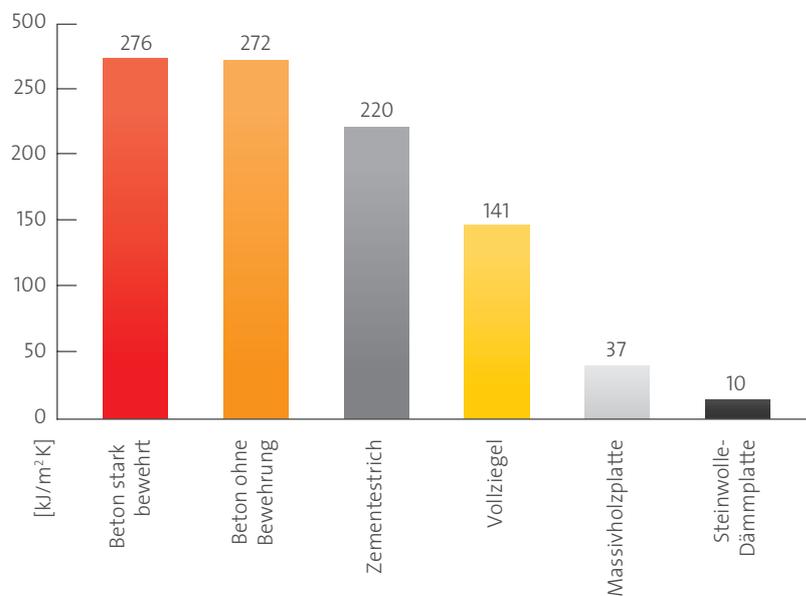
Die bisher besprochene Temperaturerhöhung stellt sich somit nur dann ein, wenn dem betrachteten Körper beliebig lange Zeit gelassen wird, um die Wärme aufzunehmen. Für die Praxis im Bauwesen ist es hingegen wesentlich wichtiger zu wissen, wie viel Wärme ein Bauteil während eines gewissen Zeitraums aufzunehmen im Stande ist, und in welcher Art sich seine Temperatur in diesem Zeitraum entwickelt. Als besonders wichtig hat sich in diesem Zusammenhang der Tag – also 24 Stunden – als Zeitintervall erwiesen.

Als Kenngröße für die Wärmespeicherfähigkeit eines Bauteils hat sich die sog. **flächenbezogene wirksame Wärmekapazität** χ durchgesetzt. Sie ist ein Maß dafür, wie viel Wärme pro Quadratmeter Bauteilfläche durch den Bauteil aufgenommen und wieder abgegeben wird, wenn die Lufttemperatur an einer Seite des Bauteils mit einer gewissen Amplitude $\hat{\Theta}$ schwankt. Diese Schwankung der Temperatur ist die Ursache einer mit einer anderen Amplitude \hat{q} schwankenden Wärmestromdichte. Vereinfachend wird angenommen, dass die Schwankungen sinusförmig mit einer Periodenlänge T ablaufen. Die flächenbezogene wirksame Wärmekapazität χ ist nun gemäß

$$\chi = \frac{T}{2 \cdot \pi} \cdot \left| \frac{\hat{q}}{\hat{\Theta}} \right|$$

definiert und wird zumeist in der Einheit $\text{kJ}/\text{m}^2\text{K}$ für die Tagesperiode – also 86400 s – angegeben.

Die folgende Abbildung zeigt die flächenbezogene wirksame Wärmekapazität für verschiedene Baustoffe unter der Annahme, dass diese in 25 cm dicken, homogenen Schichten vorliegen.



Abbildungsinfo ▶

Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität [$\text{kJ}/\text{m}^2\text{K}$]

Vgl. auch Tabelle S. 13

Es zeigt sich, dass die auf die Tagesperiode bezogene wirksame Wärmespeicherkapazität nur mehr ca. 10% der volumenbezogenen Wärmespeicherkapazität ausmacht. Dies kann nicht mit den unterschiedlichen Bezugsgrößen – Fläche versus Volumen – begründet werden. Vergrößert man die Schichtdicke von 25 cm auf 100 cm verändert sich die flächenbezogene wirksame Wärmekapazität bei Betrachtung einer Tagesperiode nicht mehr. Vielmehr macht sich hier die Auswirkung der Wärmeleitfähigkeit bemerkbar, die verhindert, dass während eines Tages von der Platte die gesamte zur Verfügung stehende Wärmemenge aufgenommen wird und die Platte damit einheitliche Temperatur annimmt.

Ein Vergleich der in obiger Grafik ausgewiesenen Ergebnisse zeigt klar, dass durch das Zusammenwirken von hoher volumenbezogener Wärmekapazität und guter Wärmeleitfähigkeit Stahlbeton und auch nicht bewehrter Beton eine im Vergleich sehr hohe wirksame Wärmespeicherkapazität besitzen. Dies bedeutet, dass Beton nicht nur große Wärmemengen speichern kann, sondern auch seine Temperatur während des Speichervorgangs nur langsam ändern wird. Ein Ausnutzen dieser Eigenschaft führt zu Systemen, die sich ohne hohen Aufwand selbst regulieren.

Selbstregulierung

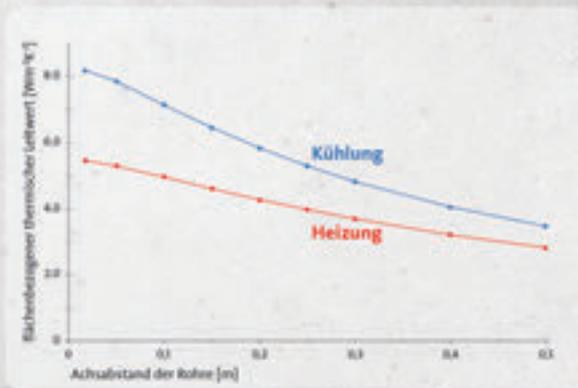
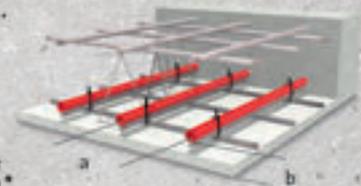
Unterschiedliche Oberflächentemperaturen der raumbegrenzenden Bauteile zeigen aufgrund des langwelligen Strahlungsaustauschs die Tendenz sich auszugleichen. Zudem wird sich auch die Raumlufttemperatur aufgrund von konvektivem Wärmeübergang der mittleren Oberflächentemperatur annähern. Wärme fließt immer von Orten höherer zu Orten niedrigerer Temperatur. Verschwinden die Temperaturunterschiede, so tritt auch kein Wärmestrom auf.

Die aktivierten Betonoberflächen geben keine Wärme mehr ab, wenn die Lufttemperatur und die Oberflächentemperaturen der anderen Bauteile gleich hoch wie die Oberflächentemperatur des aktivierten Bauteils sind. Steigen die Raumtemperaturen aufgrund von Sonneneinstrahlung oder Raumnutzung an, so nehmen aktivierte aber auch nicht aktivierte Oberflächen Wärme vom Raum auf und wirken einer Überhitzung entgegen. Sinken die Temperaturen hingegen unter die Oberflächentemperatur der raumumgebenden Bauteile, so geben diese Wärme an den Raum ab und verhindern ein rasches Absinken der operativen Temperatur unter die Solltemperatur.

Die Solltemperatur im Raum kann somit sehr gut gehalten werden, wenn die Oberflächentemperatur der aktivierten Bauteile im Heizfall knapp über bzw. im Kühlfall knapp unter die Solltemperatur geregelt wird. Voraussetzung für ein gutes Funktionieren des Konzepts sind eine hohe thermische Qualität der Gebäudehülle sowie genügend große thermisch aktivierbare Flächen.

Wärmeabgabe und -aufnahme einer thermisch aktivierten Decke

- Die Erhöhung des Rohrabstands (a) und eine Vergrößerung der Betonüberdeckung (b) – verringern die Wärmeabgabe- bzw. Wärmeaufnahmeleistung. – erhöhen die thermische Trägheit des Systems.
- Der Rohrdurchmesser beeinflusst die Eigenschaften des Systems nur wenig.
- Ein Verputzen der Deckenuntersicht sollte vermieden werden.



Abhängigkeit des flächenbezogenen Leitwerts Λ zwischen Rohrregister und Deckenuntersicht vom Rohrabstand

infobox

Wie errechnet man die Wärmeabgabe (Heizung) oder Wärmeaufnahme (Kühlung) einer aktivierten Decke?

Man multipliziert

- den auf die Fläche der aktivierten Decke bezogenen thermischen Leitwert Λ in W/m^2K
- mit der Differenz $\Delta\Theta$ zwischen Raumlufttemperatur und Temperatur des Heiz- bzw. Kühlmediums in Kelvin.
- Die Wärmeabgabe- bzw. Wärmeaufnahmeleistung Φ der gesamten aktivierten Decke ergibt sich durch Multiplikation mit der Gesamtfläche des Rohrregisters A in m^2 .

$$\Phi = \Lambda \cdot \Delta\Theta \cdot A$$

Schautafel 4

Wärmeabgabe und -aufnahme einer thermisch aktivierten Decke

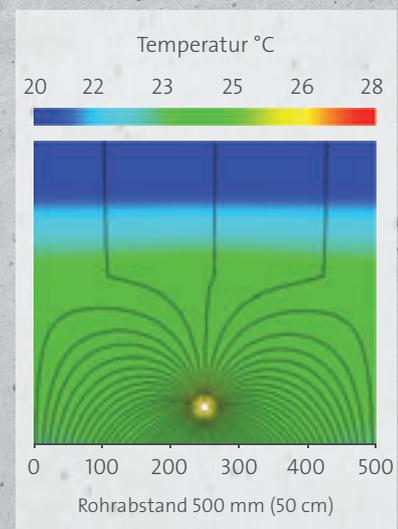
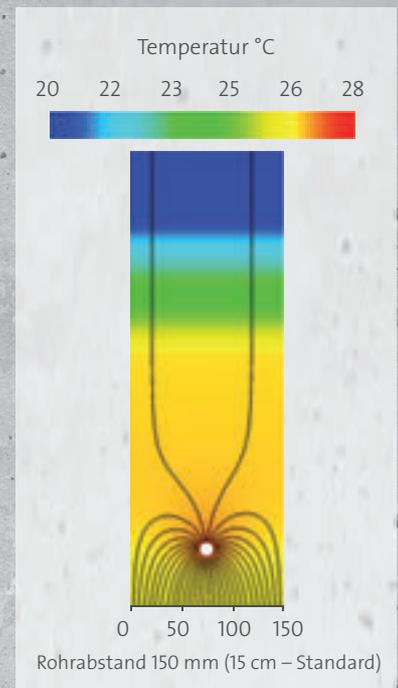
Die thermischen Vorgänge innerhalb eines thermisch aktivierten Bauteils sind Wärmeleitungs- und Wärmespeicherungsprozesse, die zu einem Wärmefluss zwischen den Bauteiloberflächen und dem Rohrregister führen. Sie lassen sich mittels Verwendung eines Wärmebrückenprogramms rechnerisch erfassen, wobei sowohl die Wärmeabgabe- bzw. Wärmeaufnahmeleistung des Systems als auch dessen thermische Trägheit in Abhängigkeit von verschiedenen baulichen Parametern beschrieben werden können. In Hinblick auf die Modellierung des Berechnungsmodells genügt es, einen Vertikalschnitt durch den Bauteil mit jeweils nur einem Rohr des Registers zu betrachten und den Berechnungsausschnitt in der Mitte zwischen jeweils zwei Rohren zu begrenzen. Die Breite des Berechnungsausschnitts entspricht damit dem Achsabstand der Rohre. Wesentliches Ergebnis einer solchen Berechnung ist der flächenbezogene thermische Leitwert zwischen dem Rohrregister und dem zu beheizenden bzw. zu kühlenden Raum. Dieser Leitwert ist eine Kenngröße des Systems, das von den Temperaturen unabhängig ist. Seine Einheit ist W/m^2K .

Die Multiplikation des flächenbezogenen thermischen Leitwerts mit der Differenz aus der Temperatur des Heiz- bzw. Kühlmittels und der Soll-Temperatur des zu temperierenden Raums führt unmittelbar auf die flächenbezogene Wärmeabgabe- oder Wärmeaufnahmeleistung der thermisch aktivierten Decke. Diese Größe ist ein wichtiger Eckpunkt für die Auslegung des Systems der Bauteilaktivierung.

Visualisiert werden kann der Wärmestrom durch Wärmestromlinien. Diese zeigen nicht nur den Weg der Wärme durch den Bauteil, sondern beinhalten auch eine quantitative Aussage: Zwischen jeweils zwei Stromlinien fließt immer der gleiche Wärmestrom. Ein Zusammenrücken der Stromlinien ist damit ein Zeichen von erhöhtem Wärmestrom.

Bisher durchgeführte Parameterstudien für eine thermisch aktivierte Decke haben zu folgenden Ergebnissen geführt:

- Die Wärmeaufnahmeleistung einer thermisch aktivierten Decke (Kühlfall) liegt unter der Annahme einer gleichen Temperaturdifferenz zwischen Register und Soll-Temperatur des Raums deutlich höher als die Wärmeabgabeleistung (Heizfall) der gleichen Decke.
- Bei steigendem Abstand der Rohre im Register fällt die flächenbezogene Wärmeabgabe- und auch Wärmeaufnahmeleistung. Dieser Rückgang ist mit einer Erniedrigung der Oberflächentemperatur der Deckenuntersicht im Heizfall bzw. eine Erhöhung dieser Oberflächentemperatur im Kühlfall verknüpft. Eine Vergrößerung des Rohrabstands führt zudem zu einer Erhöhung der thermischen Trägheit des Systems.
- Der Rohrdurchmesser beeinflusst die Wärmeabgabe- bzw. Wärmeaufnahmeleistung des Systems verhältnismäßig wenig. Eine Vergrößerung des Rohrdurchmessers führt zu einem leichten Anstieg der Wärmeabgabe- und der Wärmeaufnahmeleistung.
- Eine Vergrößerung der Betonüberdeckung, d. h. des Abstands zwischen Rohrregister und Deckenuntersicht, verkleinert sowohl die Wärmeabgabe- als auch die Wärmeaufnahmeleistung. Zudem erhöht sich die thermische Trägheit des Systems mit steigender Betonüberdeckung deutlich.
- Ein Verputzen der Deckenuntersicht oder das Anbringen sonstiger Schichten mit niedriger Wärmeleitfähigkeit reduziert sowohl die Wärmeabgabe- als auch die Wärmeaufnahmeleistung. Bei einem etwaig gewünschten Verputzen oder Verspachteln der Deckenuntersicht sollte daher Putzmaterial mit relativ hoher Wärmeleitfähigkeit in möglichst geringer Schichtdicke aufgetragen werden.



▲ Abbildungsinfo

Thermisch aktivierte Zwischendecke: Rohrdurchmesser 17 mm; Betonüberdeckung 5 cm
Wärmestrom zwischen je zwei Stromlinien: 0,20 W/m

Quelle: © Klaus Kreč

10 Ausführungsschritte im Detail



1 Verlegen der Rohrdurchführungen auf der Schalung



2 Verlegen der unteren Bewehrungslage
Falls erforderlich, Montage der Abstandhalter für die Rohrleitungen



3 Verlegen der Rohrleitungen nach Verlegeplan

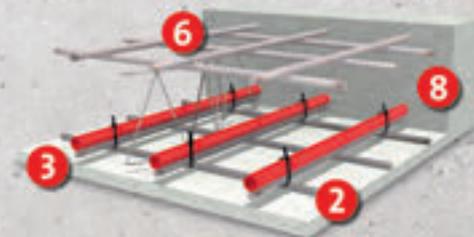
- Rohrleitungen müssen in einer Ebene liegen
- Sackbildung (Hoch-, Tiefpunkte) der Leitungen unbedingt vermeiden
- Rohrleitungsführung planen – Kollisionen vermeiden



4 Befestigung mittels Kabelbinder



5 Verbinden der Rohrstränge und Schutz der Verbindungen durch ein Isolierband
(siehe Herstellerhinweise)



3D-Modell: Schnitt durch Decke

infobox

- Kollision von Leitungen vermeiden
- Hoch-, Tiefpunkte vermeiden
- Befestigung der Rohre mittels Kabelbinder
- Ummanteln der Metallbauteile mit Isolierband

Schautafel 5

Ausführungsschritte im Detail (1)

- 1 Grundlage der Verlegearbeiten ist der Verlegeplan. Der Verlegeplan muss auf dem Letztstand der Schalungs- und Bewehrungspläne basieren. Die Verlegearbeiten sind mit den anderen Gewerken abzustimmen (wie z.B. Schalungs- und Bewehrungsarbeiten, Elektroinstallationen, Einbauten).

Prüfen, ob bestellte/lagernde Bauteile (Rohre, Durchführungen, Verbindungen, Geräte) den Vorgaben des Verlegeplans entsprechen.

Rohrdurchführungen und sonstige fixe Einbauten, die in Kollision mit der Bewehrung stehen können, sind auf der Schalung vor der Bewehrung einzubauen bzw. zu fixieren.

Stets auf Bewegungsmöglichkeit für die Leitungen bei Rohrdurchführungen oder Rohrausleitungen achten (Aussparungen, eventuell Umwickeln der Leitungen mit Schaumstoff).

- 2 Die Höhenlage der Leitungen ergibt sich entweder aus der Oberkante der unteren Bewehrungslagen oder durch eine zusätzlich einzubauende Hilfskonstruktion (z.B. leichtes Baustahlgitter, Abstandhalter).
- 3 Sorgfältige Verlegung ist oberstes Gebot. Die Verlegeradien sind einzuhalten und nicht zu unterschreiten. Hochpunkte können zu Luftsäcken und dadurch zu einer Minderfunktion des Systems führen.
- 4 Die Leitungen werden auf der Unterkonstruktion in kleineren Abständen von ca. 15 – 20 cm laut Verlegeplan (Auftriebsgefahr und Gefahr des Verschiebens im frischen Beton) am besten mittels Kabelbindern befestigt und müssen in einer Ebene liegen.
- 5 Zur Verbindung von Rohrleitungen nur die vorgesehenen, zugelassenen Formteile und Werkzeuge verwenden.

Metallische Formteile der Rohrleitungen sind aufgrund des alkalischen Frischbetons mit Kleband vollständig zu umwickeln und somit zu schützen.

10 Ausführungsschritte im Detail



6 Verlegen der oberen Bewehrungslage



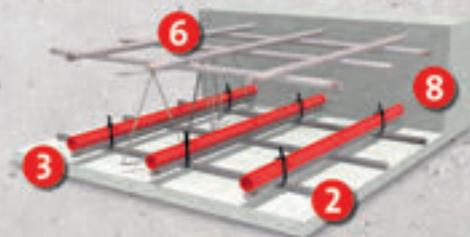
7 Komplettierung der Verlegearbeiten, Druckprobe der Rohrleitungen



8 Betonieren des Bauteils unter Aufrechterhaltung des Drucks. Die Rohrleitungen dürfen bei den Betonierarbeiten nicht beschädigt werden.

9 Anbringen der Schutzvorrichtungen für Rohrverteilungen und Manometer

10 Übergabe an das nächste Gewerk



3D-Modell: Schnitt durch Decke

infobox

- Der Prüfdruck beträgt rund 2,5 – 3 bar bei gasförmigen Prüfmedien und 4 – 6 bar bei Wasser als Prüfmedium
- Achtung auf die Rohrleitungen bei den Arbeiten
- Beim Betonieren Druck laufend prüfen

Schautafel 6

Ausführungsschritte im Detail (2)

- 6** Beim Verlegen der oberen Bewehrungslage ist eine Beschädigung bzw. ein Verdrücken der verlegten Leitungen zu vermeiden.
- 7** Nach dem Komplettieren der Verlegearbeiten ist eine Druckprobe des Leitungssystems vorzunehmen. Erste Druckprüfung mit Druckluft vornehmen. Prüfdruck von 2,5–3 bar bei gasförmigen Prüfmedien bzw. 4–6 bar für Wasser als Prüfmedium auf der Baustelle aufbringen. Druck nach 2 Stunden nochmals aufbringen, da ein Druckabfall durch Ausdehnung der Rohre möglich ist. Die Prüfzeit beträgt 12 Stunden. Eine Dichtheit ist gegeben, wenn an keiner Stelle der Rohrleitungen Prüfmedium austritt und der Prüfdruck nicht mehr als 1,5 bar gesunken ist.

- 8** Achtung: Frischbeton ist alkalisch (pH-Wert um 13).
Persönlichen Arbeitsschutz beachten (Handschuhe, Schutzbrille)
Keine Bauteile aus Aluminium einbetonieren.
Die Umwelt schützen: Frischbeton und Zementschlämme gehören nicht in den Kanal -> dieser kann durch Abbinden zuwachsen.
Frischbeton und Zementschlämme gehören nicht in Gewässer -> Fischtoxizität

Der Betoneinbau erfolgt unter Aufrechterhaltung des Drucks in den Rohrleitungen. Kontrolle mittels Manometer, Messwerte unbedingt protokollieren.

Gut verdichtbaren Beton mit genügend Feinteilen verwenden. Beton sorgfältig verdichten. Intensiver Kontakt zwischen Beton und Rohr ist wichtig, möglichst dichtes Betongefüge, keine Risse, keine Nester im Beton. Vorsicht beim Rütteln! Zu steifer Beton kann zu Verdrückungen und Verschiebungen der Leitungen sowohl beim Einfüllen als auch beim Verdichten führen. Rohre und Schläuche nicht verdrücken (begehen, Kübel leeren, zu steifen Beton mit Rüttler treiben). Rohre neigen zum Aufschwimmen, müssen durch Kabelbinder in Position gehalten werden. Druck in den Manometern beobachten.

Die Betongüte ist für die Anwendung als Energiespeicher nicht wichtig. Eingebaut wird handelsüblicher Konstruktionsbeton mit entsprechender Konsistenz.

- 9** Leitungssysteme ohne den Schutz einer oberen Bewehrungslage sind anderweitig vor der Gefahr des unbeabsichtigten Niedertretens zu schützen.

Nach dem Erhärten des Betons sind Leitungsausführungen und Verteiler durch entsprechende Vorrichtungen zu schützen.

- 10** Die Übergabe an das nächste Gewerk ist zu protokollieren.



▲ Abbildungsinfo

**Auf der Baustelle:
Hautschutz beachten**

Material – Werkzeuge – Tipps zum Erfolg



- 1** PE-Xa-Rohre,
Mehrschichtverbundrohr
(Außenbeschichtung, sauerstoffdicht)
Rohrinnweiten 17 mm, 20 mm, 25 mm
(siehe Herstellerhinweise)



- 2** Verbindungsmaterial
Fitting + Schiebehülse



- 3** Formstücke wie
Schalungskasten unter der Decke,
Verteiler, Manometer

- 4** Werkzeuge – Zangen
Aufweiten, Aufschieben, Pressen

infobox

Tipps zum Erfolg

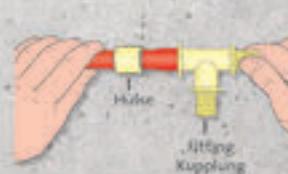
- Verlegeplan für Rohre
- Sorgfalt bei der Arbeit
- Zusammenarbeit der Gewerke
- Schutzmaßnahmen:
Schutz der Verteiler
und Manometer



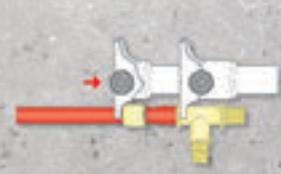
Aufbau der Rohre



Aufweiten



Aufschieben



axiales Pressen

Schautafel 7

Tipps zum Erfolg

Häufige Fragen zur Errichtung von thermisch aktivierten Bauteilen:

Was ist die minimale Betonüberdeckung des Rohrs (Unter- und Oberseite der Betonplatte)?

Zur bestmöglichen Vermeidung von Schäden durch Montagearbeiten wird eine Mindestüberdeckung von 50 mm empfohlen.

Was tun, wenn das Rohr angebohrt wurde?

Standardverfahren ist, die Decke in diesem Bereich zu öffnen und eine Kupplung zu setzen.

Von wem werden Bauteilaktivierungs-Module angeschlossen?

Heizungsbauer, entweder als Sub-Unternehmer des Rohbauers oder als eigenes Gewerk.

Welche Rohrdimension kommt zum Einsatz?

z.B. RAUTHERM S 20 x 2,0 mm als Standard Rohr
z.B. RAUTHERM S 17 x 2,0 mm

Welcher Verlegeabstand kommt zum Einsatz?

Verlegeabstand variabel; derzeit gebräuchlichster Verlegeabstand: 15 cm

Wie werden die Bauteilaktivierungs-Module nach dem Einbringen des Betons angeschlossen?

Tichelmannverteiler oder Verteilerlösung mit Industrieverteilern.
Alternativ können die Anbindeleitungen nach oben oder unten aus der fertigen Decke geführt werden.

Was ist ein Tichelmannverteiler?

Beim System nach Tichelmann werden die einzelnen Heiz-/Kühlkreise parallel an die Vor-/Rücklaufleitung angebunden. Der erste Heiz-/Kühlkreis wird hierbei als erster Kreis an die Vorlaufleitung und als letzter an die Rücklaufleitung angeschlossen. Resultat: Das Modul mit dem längsten Vorlauf hat den kürzesten Rücklauf und umgekehrt. Es kommt dadurch zu gleichen Druckverlusten in den einzelnen Kreisen.

Gibt es statische Probleme durch den Einsatz von Rohrleitungen zur Bauteilaktivierung?

Dem Statiker muss bekannt sein, dass in die entsprechenden Bauteile Rohrleitungssysteme zur TBA (thermische Bauteilaktivierung) eingebaut werden.

Vorteile von Heizen & Kühlen mit Beton

- Angenehmes Raumklima durch Strahlungswärme
- Die Wärmestrahlung über große Oberflächen – wie Wände und Decken – ermöglicht eine konstante Raumtemperatur. Temperaturunterschiede werden ausgeglichen.
- Nutzung ohnehin vorhandener Bauteile
- Geringe Betriebskosten – niedrige Wartungskosten



Schautafel 8

Vorteile von Heizen & Kühlen mit Beton

Behaglichkeitskriterien

Viele Faktoren bestimmen das persönliche Behaglichkeitsgefühl, unter anderem:
Ruhe • Licht, Beleuchtung • Verhältnis Sonne – Schatten • Farben • Pflanzen • Oberflächen • Auswahl der Materialien • Raumhöhe • Raumaufteilung • Orientierung der Räume • Lufttemperatur und Temperaturverteilung • Luftfeuchte • Luftbewegung • Gerüche – Frischluft – Schadstoffe – Lüftung • Fußwärme • Oberflächentemperatur angrenzender Wände

Oberflächentemperaturen

Die inneren Oberflächentemperaturen eines Raums beeinflussen die thermische Behaglichkeit am meisten. Zu vermeiden sind große Unterschiede in den Oberflächentemperaturen, wie sie z. B. bei gut gedämmten Außenwänden in Kombination mit thermisch weniger hochwertigen Fenstern auftreten können. Die Bauteiltemperierung bewirkt über den Strahlungsaustausch zwischen den temperierten Flächen und den anderen Oberflächen des Raums einen Ausgleich von unterschiedlichen Oberflächentemperaturen und sorgt bereits damit für eine hohe thermische Behaglichkeit.

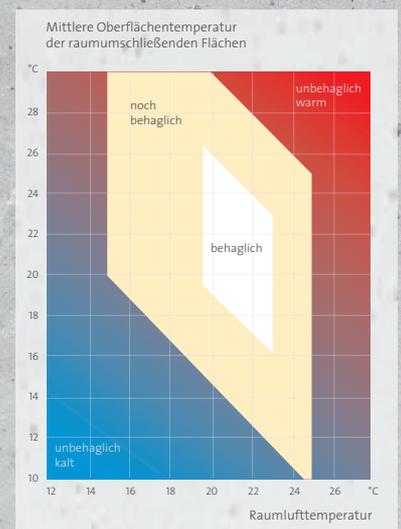
Verhältnis Oberflächentemperatur – Lufttemperatur

Ein zweites, wesentliches Kriterium für eine hohe thermische Behaglichkeit stellt die Differenz zwischen mittlerer Oberflächentemperatur und der Raumlufttemperatur dar. Da die Oberflächentemperaturen die Behaglichkeit stärker beeinflussen als die Lufttemperatur, kann bei zu tiefen Oberflächentemperaturen auch mittels starken Aufheizens der Raumluft kein zufriedenstellender thermischer Komfort hergestellt werden. Dies kann z. B. im Altbau oder in noch nicht sanierten Gebäuden aus den 50er bis 80er Jahren des letzten Jahrhunderts bei extremen winterlichen außenklimatischen Verhältnissen zum Problem werden. So liegt z. B. bei einem U-Wert der Außenwandflächen von $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ die innere Oberflächentemperatur bei ca. $14 \text{ }^\circ\text{C}$, wenn die Innenlufttemperatur mit $20 \text{ }^\circ\text{C}$ und die Außenlufttemperatur mit $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ angenommen werden. Wie die Abbildung zeigt, kann unter diesen Umständen der Raum nicht mehr als behaglich eingestuft werden, sondern ist „unbehaglich kalt“. Auch ein Anheben der Lufttemperatur auf $24 \text{ }^\circ\text{C}$ behebt das Problem nicht, da unter diesen Umständen die Oberflächentemperatur knapp bei ca. $17 \text{ }^\circ\text{C}$ liegt, was gerade noch zu einer Einstufung von „noch behaglich“ führt.

Bei $20 \text{ }^\circ\text{C}$ Lufttemperatur wird ein Raum als behaglich empfunden, wenn die mittlere Oberflächentemperatur bei $19 \text{ }^\circ\text{C}$ und darüber liegt. Diese Forderung wird sicher erfüllt, wenn der mittlere U-Wert der Außenbauteile unter $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ liegt, also die thermische Qualität der Gebäudehülle im Niedrigenergiehaus-Standard angesiedelt ist.

Generell gilt, dass eine Erhöhung der mittleren Oberflächentemperatur der raumbegrenzenden Bauteile eine Absenkung der Raumlufttemperatur ohne Komfortverlust erlaubt.

Bei der Bauteilaktivierung ist die Temperaturdifferenz zwischen den Bauteiloberflächen und der Raumluft sehr gering. Somit werden auf diese Art beheizte beziehungsweise gekühlte Räume als besonders behaglich empfunden.



▲ Abbildungsinformation

**Behaglichkeitsbereich
Oberflächen- zu Lufttemperatur**

Quelle: www.thermische-Behaglichkeit.de



Zement+Beton Handels- u. Werbeges.m.b.H
TU Wien Science Center
Franz-Grill-Straße 9, O 214
1030 Wien
T: +43 1 714 66 85 - 33
E-Mail: zement@zement-beton.co.at
www.zement.at

 **beton**[®]
Werte für Generationen