

Energiespeicher Beton

THERMISCHE BAUTEIL- AKTIVIERUNG

Planungsleitfaden Einfamilien- und Reihenhäuser

Felix Friembichler | Simon Handler | Klaus Kreč | Harald Kuster

Energiespeicher Beton

Thermische Bauteil- aktivierung

Planungsleitfaden
Einfamilien- und Reihenhäuser

Felix Friembichler | Simon Handler | Klaus Kreč | Harald Kuster

Haus der Zukunft

Kontinuierliche Forschung und Entwicklung haben Österreich im Bereich Gebäude- und Energieeffizienztechnologien an die Weltspitze gebracht.

Deshalb bin ich sehr stolz darauf, dass das Forschungs- und Technologieprogramm „Haus der Zukunft“ und nun auch sein Nachfolger „Stadt der Zukunft“ aus meinem Ressort zu den erfolgreichsten Förderschienen in ganz Europa zählen – sie haben wesentlich dazu beigetragen, dass Österreich zu einer der führenden Nationen auf diesem Gebiet geworden ist.

**Mag. Jörg Leichtfried**Bundesminister für Verkehr,
Innovation und Technologie

© bmvit/Johannes Zinner

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'J. Leichtfried'.

Wir leben in einer Zeit, die zunehmend urban geprägt ist. Die Zukunft unserer Kinder wird noch städtischer aussehen. Global gesehen zieht jede Woche eine Million Menschen vom Land in die Stadt. Hochgerechnet auf ein ganzes Jahr macht das die Bevölkerung von acht Städten in der Größe von New York aus. Deshalb ist es unumgänglich, dass die Ballungszentren möglichst saubere Energie produzieren und konsumieren.

Städte sollen künftig nachhaltiger strukturiert sein – weg von der Zersiedelung hin zur Nachverdichtung – und sie sollen mit ihrer Energie auch besser haushalten, zum Beispiel indem sie Energie auf nachhaltige Weise selbst generieren. Dieser Trend fließt immer mehr in die Paradigmen der Stadtplanung ein, etwa in Form von fassadenintegrierten Solarkollektoren, Passivhaus-Bauweisen und PV-Modulen für Gebäude.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Stadt als Energieschwamm zu begreifen. Das heißt, Städte als eine Art Akku zu benützen, die Energie für längere Zeit speichern können. Österreich hat mit seinen Forschungs- und Technologieprogrammen bereits beachtliche Vorarbeit geleistet und befindet sich hier unter den Pionieren. Im Rahmen des Programms „Haus der Zukunft“ wurden zur Forschungsfrage „Heizen und Kühlen mit Beton“ (Thermische Bauteilaktivierung) erfolgreiche Projekte durchgeführt.

Der vorliegende Planungsleitfaden fasst die Erkenntnisse aus diesen Forschungsprojekten zusammen und zeigt im Detail, wie Energie in massiven Bauteilen über längere Zeit gespeichert und zu beliebigen Zeitpunkten wieder abgerufen werden kann. Diese Innovation ist sehr wirtschaftlich und energieeffizient. Wird sie zunächst noch im Kleinen und in Demonstrationsgebäuden angewendet, so setzt sie doch wichtige Schritte in die richtige Richtung, um künftig die Energieversorgung für ganze Stadtteile umweltfreundlich zu organisieren. Dem Ziel, Städte nachhaltiger zu gestalten, zu planen und zu bauen, sind wir mit dieser besonderen Leistung mit Sicherheit nähergekommen.

Eine Idee, so einfach wie genial

Die von einer stetig steigenden Zahl von Kunden geforderte thermische Optimierung von Gebäuden verlangt im Bereich der technischen Gebäudeausrüstung die Entwicklung und Umsetzung adäquater Maßnahmen.



Baurat h.c. Bmstr.
Dipl. Ing. Felix Friembichler
Projektleiter



Ein sehr wirkungsvoller Ansatz zur Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden ist die intelligente Nutzung von tragenden Bauteilen aus Beton zur Einlagerung von thermischer Energie. In großflächige Bauteile aus Beton wie Geschoßdecken wird ein Rohrsystem zur Durchleitung eines Wärmeträgers eingelegt, mit dessen Hilfe man die Temperatur in den angrenzenden Räumen steuern kann. Im Bauwesen ist dieses System unter dem Begriff „Thermische Bauteilaktivierung“ (TBA) bekannt.

Die Zusammenführung der energetischen Vorteile von hoch gedämmten Gebäuden mit der Möglichkeit der thermischen Bewirtschaftung der tragenden Struktur von Bauwerken eröffnet eine neue Dimension des energieeffizienten Bauens. Von den Vorteilen der TBA herausragend zu nennen ist der während des gesamten Jahres sichergestellte thermische Komfort im Inneren der Gebäude. Begleitet wird dieser für die Wohnqualität positive und für die Gesundheit der Bewohner sehr förderliche Aspekt selbstredend von hoher Energieeffizienz, von einer optimalen Nutzung des Potentials erneuerbarer Energien sowie von einfachen, kostengünstigen haustechnischen Anlagen.

Mit dem Planungsleitfaden wird die Thermische Bauteilaktivierung auf einfache und verständliche Weise einem breiten Kreis von Interessenten zugänglich gemacht. Der Inhalt des Planungsleitfadens ist auf die Bedürfnisse von Planern, von Bauausführenden und auf die Wissensvermittlung zur Aus- und Weiterbildung konzipiert.

Der Planungsleitfaden behandelt Fragen der Bauphysik, der Konzeption von Gebäuden, der zugehörigen Haustechnik und deren Regelung ebenso wie Überlegungen zur Energieversorgung. Breiter Raum wird der Berechnung der Komponenten der TBA gewidmet. Zur Veranschaulichung der dargestellten theoretischen Abhandlungen ist abschließend der in einzelnen Schritten nachvollziehbare Nachweis der richtigen Auslegung der TBA für ein jüngst realisiertes Einfamilienhaus dargestellt.

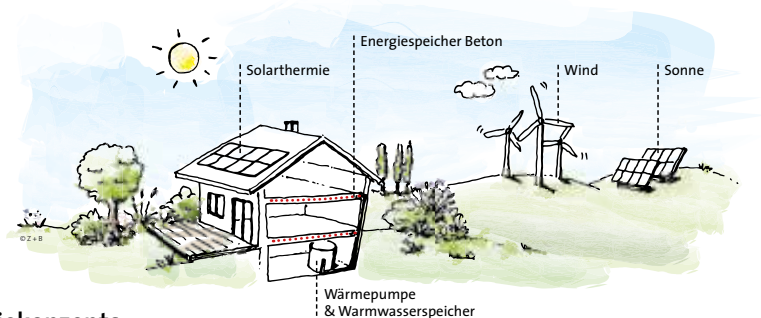
Ermutigt durch die positiven Erfahrungen beim Bau von Einfamilien- und Reihenhäusern wollen wir im nächsten Schritt den Einsatz der TBA für den großvolumigen Wohnbau anstoßen. Zu den schon bekannten Vorteilen der TBA gesellen sich in Ballungsräumen interessante Möglichkeiten beim Transport und bei der Speicherung von Wärme.

Inhalt



Seite

2	Vorwort	
		Haus der Zukunft Minister Mag. Jörg Leichtfried
4	Vorwort	
		Eine Idee, so einfach wie genial Baurat h.c. Bmstr. Dipl. Ing. Felix Friembichler
6	Inhalt	
8	Fakten	
22	Voraussetzungen	
32	Energieversorgung	
33	Entwicklung eines Energiekonzepts	
38	Das Gebäude als Energiespeicher	
40	Bauteilaktivierung als Wärmeabgabe- bzw. Wärmeentzugssystem	
42	Aktive und passive Kühlung	
44	Systemvarianten	
45	Variante 1: Energieversorgung über Solarthermie	
49	Variante 2: Energieversorgung mittels Photovoltaik und Wärmepumpe	
53	Variante 3: Energieversorgung mittels Windenergie und Wärmepumpe	
56	Anlagensteuerung	





Ausführungsbeispiele der Thermischen Bauteilaktivierung: Montage der Rohrleitungen, Druckprüfung und Betonieren der Decke.

© Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH

Seite

66 Planungsgrundlagen

- 67 Berechnung der Raumheizlast
- 69 Heizlastberechnung für einen Musterraum
- 71 Heizlastberechnung nach PHPP
- 74 Berechnung der Registerflächen
- 79 Anforderungen an die Gebäudehülle
- 83 Positionierung des Rohrregisters
- 84 Aufbau der thermisch aktivierten Decke

86 Ausführungsbeispiel

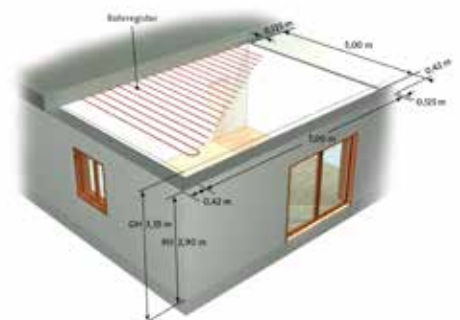
96 Berechnungsbeispiel

- 101 Heizlastberechnung nach PHPP für das gesamte Haus
- 107 Heizlastberechnung nach PHPP für die Wohnküche
- 111 Auslegung der Registerfläche

113 Verzeichnisse

- 113 Abbildungsverzeichnis
- 117 Tabellenverzeichnis
- 117 Literaturverzeichnis

118 Impressum



3D-Darstellung des Musterraums. © Z + B



Rendering des Berechnungsbeispiels

© Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH

Fakten

Dieser Planungsleitfaden informiert über die Möglichkeiten der alleinigen Beheizung und Kühlung kleinvolumiger Wohnbauten mittels **Thermischer Bauteilaktivierung (TBA)**.

Dazu werden konkrete Anleitungen in Hinblick auf die Planung von Wohnhäusern mit thermisch aktivierten Betondecken gegeben.



Abb. 1 | Bei der Bauteilaktivierung wird ein System von wasserführenden Rohrleitungen in Bauteile aus Beton verlegt. Das ist überzeugend einfach zu bewerkstelligen. © Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH

Die Thermische Bauteilaktivierung

Eine wichtige Eigenschaft der TBA besteht darin, dass mit dieser nicht nur geheizt, sondern auch gekühlt werden kann. Die Möglichkeit zum Kühlen erweist sich bereits jetzt – auch bei Wohngebäuden – als wertvoller, vielfach auch notwendiger Beitrag für die Sicherstellung eines über das ganze Jahr gesicherten hohen thermischen Komforts. Vor dem Hintergrund des derzeit ablaufenden Klimawandels wird die Bedeutung dieser Thematik bereits in naher Zukunft stark ansteigen. Die ganzjährige Temperierung von Wohngebäuden mittels TBA kann damit als wichtiger Bestandteil von Planungsansätzen in Bezug auf zukunftsgerechtes Bauen eingeordnet werden.

TBA ermöglicht
zukunftsgerechtes Bauen. <<

Als TBA werden Systeme zum Heizen und Kühlen von Räumen bzw. ganzen Gebäuden bezeichnet, deren Besonderheit darin besteht, dass die Heiz- bzw. Kühlregister im Zuge der Errichtung des Gebäudes in Bauteile einbetoniert werden. Aufgrund der üblicherweise sehr großen Registerflächen wird ein solches Heiz- und Kühlsystem in die Kategorie „Flächenheizung“ eingestuft.

Da die Wärmeabgabeleistung eines Heizkörpers bei gleich gehaltener Heizmitteltemperatur näherungsweise zur Heizkörperfläche proportional ist, kann bei einer Flächenheizung die notwendige Heizleistung mit Heizmitteltemperaturen erreicht werden, die nur wenig über der Solltemperatur der zu beheizenden Räume liegt.

Die Bauteilaktivierung stellt insofern eine besondere Art der Flächenheizung dar, als die Heizregister einbetoniert und damit von Beton – einem gut wärmeleitenden und sehr gut wärmespeichernden Material – umgeben sind.

Der Energiespeicher Beton

Die gute Wärmeleitfähigkeit von Beton sorgt dafür, dass die Wärme ohne großen Widerstand und damit rasch vom Rohrregister in die thermisch aktivierte Decke eindringen kann. Die sehr gute Wärmespeicherfähigkeit von Beton bewirkt zudem, dass dem „Heizkörper“ – also der thermisch aktivierten Betondecke – relativ große Wärmemengen zugeführt werden können, ohne dass dadurch seine Temperatur stark erhöht wird. Dies ist für die TBA insofern von besonderer Bedeutung, als der thermische Komfort im beheizten Raum maßgeblich von den Temperaturen der dem Raum zugewandten Oberflächen bestimmt wird. Stark unterschiedliche Oberflächentemperaturen, wie sie z. B. bei konventionellen Heizkörpern mit Vorlauftemperaturen um und über 50 °C zwangsläufig auftreten, haben eine negative Auswirkung auf die Behaglichkeit im Raum. Große, moderat beheizte Flächen, wie z. B. eine thermisch aktivierte Decke, sorgen hingegen für nahezu einheitliche innere Oberflächentemperaturen der raumbildenden Bauteile und garantieren damit besten thermischen Komfort.

TBA stellt hohen thermischen Komfort sicher. >>

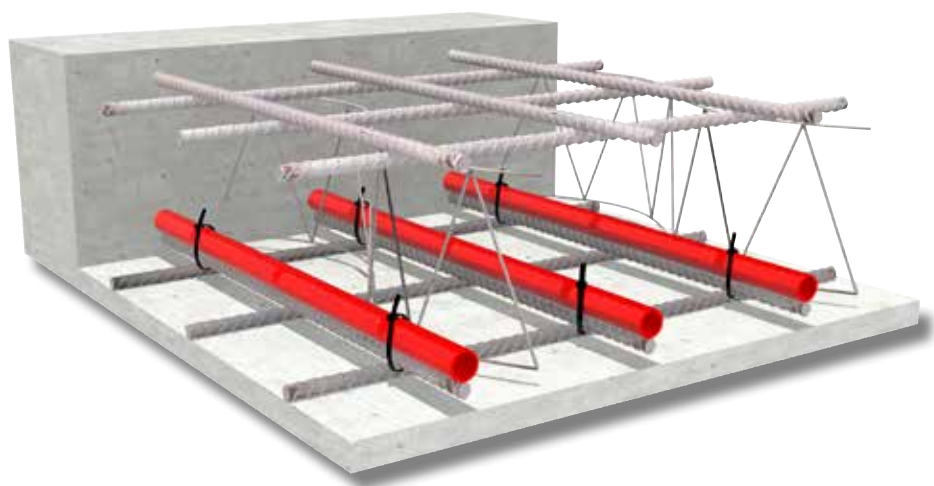


Abb. 2 | Schemaskizze Bauteilaktivierung einer Geschoßdecke. © Z + B

Die Wärmespeicherfähigkeit einer Baukonstruktion hängt neben deren Bauteildicke von der Wärmeleitfähigkeit, der spezifischen Wärmekapazität und der Massendichte des Baumaterials ab. Als Besonderheit von Beton sind in diesem Zusammenhang dessen hohe Massendichte und die sehr gute Wärmeleitfähigkeit zu nennen. Aufgrund der hohen Massendichte ist Beton ein sehr guter Wärmespeicher. Die gute Wärmeleitfähigkeit sorgt dafür, dass die Wärme relativ rasch in diesen Speicher einzudringen vermag.

Im Vergleich zu Beton hat z. B. Vollholz eine sehr viel höhere spezifische Wärmekapazität, aber eine doch deutlich kleinere Massendichte. Als Wärmespeicher wäre eine Wand aus Vollholz einer Betonwand gleicher Dicke fast ebenbürtig. Der große Unterschied ergibt sich aber dadurch, dass die Wärmeleitfähigkeit von Beton mit $\lambda = 2,0 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ um eine Größenordnung höher ist als jene von Holz ($\lambda = 0,13 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$). Zum Eindringen in die Baukonstruktion bzw. zum Ableiten aus der Baukonstruktion benötigt die Wärme im Fall von Vollholz somit ungleich länger als im Fall von Beton oder Stahlbeton. Bauteile mit hoher Wärmespeicherfähigkeit und guter Wärmeleitfähigkeit bewirken eine Verkleinerung der Temperaturschwankungen im Raum. Sie wirken dämpfend auf die Tagesschwankungen der Raumtemperatur und verhindern kurzzeitige Temperaturspitzen.

Die Wärmespeicherfähigkeit von Baukonstruktionen aus Beton

Bauteile aus Beton verhindern Temperaturspitzen sehr effektiv. <<

Die thermische Aktivierung von Decken wird seit langer Zeit erfolgreich vor allem in Bürobauten zur Abfuhr überschüssiger Wärme – also für Kühlzwecke – verwendet. Die Planungsanleitungen in diesem Leitfaden widmen sich der Thematik, wie dieses bewährte System nicht nur zur Kühlung, sondern auch zur Beheizung von Gebäuden verwendet werden kann. Der Fokus wird hierbei vorerst auf kleinvolumige Wohnbauten gelegt.

Die Decke als thermisch aktives Bauelement zum Heizen und Kühlen

Dass es von Vorteil ist, mit ein und demselben System sowohl heizen als auch kühlen zu können, liegt auf der Hand. Beim Wohnbau stellt sich allerdings die Frage, ob das Potential der TBA zur Kühlung überhaupt benötigt wird. Nach wie vor wird ja von Seiten der einzuhaltenden Normen gefordert, dass in Wohngebäuden auch während sommerlicher Hitzeperioden angenehme innenklimatische Bedingungen ohne jegliche Kühlung zu gewährleisten sind. Bereits heute ist jedoch kritisch zu hinterfragen, ob dieser Forderung in der Realität noch entsprochen werden kann. Der explosionsartige Anstieg beim Verkauf von Kühlgeräten spricht jedenfalls dagegen.

Tabelle 1 | Entwicklung des Stromverbrauches für Klimaanlage und Ventilatoren in der Stadt Wien (Quelle: Berechnungen EEG (TU Wien); Energiebericht der Stadt Wien 2014)

(GWh/a)	2000	2005	2010	2011	2012
Klimaanlagen Privat	0,0	19,0	27,0	27,9	28,1
Ventilatoren Privat	3,8	7,4	11,5	11,9	11,9
Gesamt Privat	3,8	26,4	38,5	39,8	40,0



Abb. 3 | Der Einbau von Heiz- und Kühlregistern in die Decke ist rasch, unkompliziert und damit kostengünstig möglich. © Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH

Zukunftsorientiertes Planen und Bauen mit Thermischer Bauteilaktivierung

Da aus jetziger Sicht nicht absehbar ist, dass der derzeit ablaufende Klimawandel gestoppt oder auch nur verlangsamt werden kann, muss in der Gebäude- und Haustechnikplanung bereits jetzt – ähnlich wie bei anderen Themen, wie z. B. der Land- und Forstwirtschaft, der Wasser- und Energieversorgung, dem Fremdenverkehr etc. – auf die uns in näherer Zukunft erwartenden außenklimatischen Verhältnisse bewusst und ernsthaft eingegangen werden. Vor diesem Hintergrund etabliert sich die TBA als System, das heizen und auch kühlen kann, als wichtiger Teil zukunftsorientierten Planens und Bauens.

Die thermische Aktivierung von Geschoßdecken eröffnet sowohl bautechnisch als auch bauphysikalisch Vorteile, die bewusst genutzt werden sollten. Auf bautechnischer Seite hat sich gezeigt, dass der Einbau von Heiz- und Kühlregistern in die Decke rasch, unkompliziert und damit kostengünstig möglich ist. Aus bauphysikalischer Sicht ist es wichtig, dass die thermisch aktivierten Oberflächen tunlichst frei an den zu konditionierenden Raum grenzen und nicht durch wärmedämmende Schichten abgeschirmt werden. Bei der Decke ist dies leicht umsetzbar. Bei thermischer Aktivierung von Geschoßdecken zwecks Beheizung oder Kühlung der Fußböden ist diese Forderung hingegen in der Regel nur mit Inkaufnahme eines Rückgangs der Effektivität des Temperierungssystems zu erfüllen. Auch im Vergleich zu Wandheizungen hat die thermische Aktivierung der Decke ihre Vorteile: Der Einbau der Rohrregister ist ungleich einfacher. Zudem ist die Gefahr des Treffens von Registerrohren beim Bohren von Dübellöchern für Aufhängungen kaum noch gegeben. Überdies erübrigen sich Überlegungen in Hinblick auf die Zulässigkeit von Möblierungslösungen.

Geschoßdecken sind optimal geeignet für den Einsatz der TBA. >>

Die thermische Aktivierung von Geschoßdecken ist entgegen vorschneller Beurteilungen eine sehr gut geeignete Methode zur Beheizung und Kühlung von Räumen. Grund für das vielfach vorzufindende Vorurteil gegen Deckenheizungen ist die Vorstellung, dass Wärme aufsteigt. Eine Analyse dieses Arguments führt auf die Notwendigkeit einer Präzisierung: Natürlich steigt warme Luft auf. Als sehr wichtiges Charakteristikum von großflächigen Wärmeabgabesystemen stellt sich jedoch heraus, dass aufgrund der relativ niedrigen Oberflächentemperaturen der beheizten Flächen der konvektive Anteil an der Wärmeübertragung verschwindend klein ist. Flächenheizungen wirken somit fast vollständig als Strahlungsheizungen. Die Wärmestrahlung ist masselos; sie ist somit von der Schwerkraft vollkommen unabhängig und kennt kein „oben“ oder „unten“. Damit stellt die Deckenuntersicht als niedrig temperierte Heizfläche grundsätzlich kein Problem dar. Dass die Deckenfläche zudem zur Kühlung sehr gut geeignet ist, hat sich aufgrund langjähriger Erfahrung mit derartigen Systemen vor allem bei Bürobauten deutlich gezeigt.

Großflächige Heizungssysteme wirken fast vollständig als Strahlungsheizungen

Wärmestrahlung kennt kein „oben“ oder „unten“. <<

Die Besonderheit des Wärmetransports aufgrund von langwelliger Strahlung („Wärmestrahlung“) besteht darin, dass für diesen Transport kein Übertragungsmedium erforderlich ist. Jeder Körper strahlt zu jeder Zeit Wärme ab und nimmt gleichzeitig Wärme von anderen Strahlungsquellen auf. Wie groß die Intensität der Wärmestrahlung ist, hängt einerseits von den Oberflächeneigenschaften des Körpers und andererseits von der Temperatur der Oberfläche ab. Je höher die Temperatur einer Oberfläche ist, desto größer ist auch deren Wärmeabstrahlung. Stehen nun im Fall der TBA thermisch aktivierte, warme Oberflächen unbeheizten, kühleren Oberflächen gegenüber, so ist mit dem Strahlungsaustausch zwischen den beiden Oberflächen auch ein Wärmetransport verbunden. Beide Oberflächen strahlen Wärme ab, die aktivierte Oberfläche aber mit höherer Intensität.

Der Wärmetransport durch Wärmestrahlung

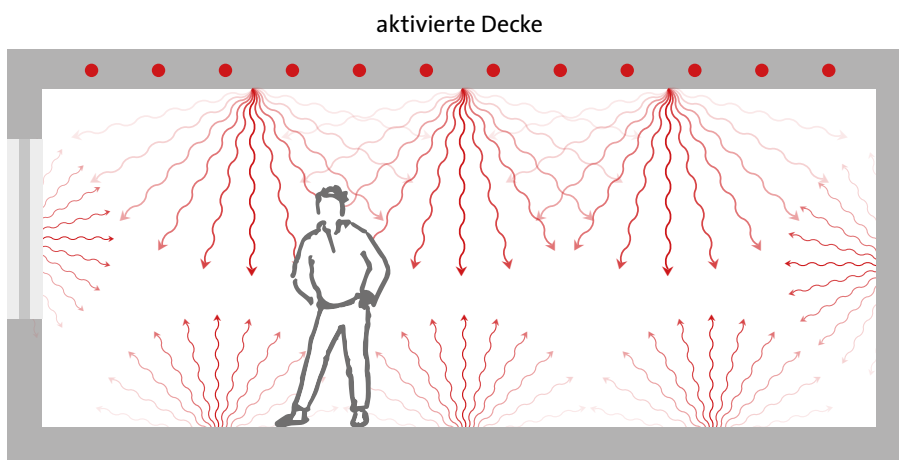


Abb. 4 | Schemaskizze Wärmestrahlung: Jeder Punkt der aktivierten Decke (und auch der anderen raumumschließenden Bauteile) strahlt genauso wie die in der Grafik zufällig ausgewählten Punkte halbkugelförmig Wärme in den Raum ab. © Z + B

Registerflächen
in gutem „Sichtkontakt“
zu kühlen Flächen
positionieren. >>

Äußerst geringe Temperaturunterschiede in Räumen mit TBA

Insgesamt stellt sich somit ein Wärmetransport von den aktivierten, warmen Flächen zu den unbeheizten, kühleren Flächen ein. Die unbeheizten Flächen werden erwärmt. Der Strahlungsaustausch wirkt somit ausgleichend auf die Oberflächentemperaturen der raumbegrenzenden Bauteile. Er wird dann besonders wirksam, wenn verschieden temperierte Flächen einander gut „sehen“. Bei der thermisch aktivierten Decke trifft dies insbesondere auf den Fußboden zu. Die gern geäußerte Befürchtung, wonach bei beheizter Decke der Fußboden kalt bleibt, erweist sich somit als unbegründet.

Es ist möglich, die Auswirkung des Strahlungsaustauschs im Raum rechnerisch zu quantifizieren. Das Berechnungsergebnis kann visualisiert werden, indem Isothermen – also Linien gleicher Temperatur – für vertikal oder horizontal durch den Raum geführte Schnitte gezeichnet werden. Es zeigte sich, dass die Temperaturunterschiede sowohl für Vertikal- als auch für Horizontalschnitte durch den Raum überraschend klein – in der Größenordnung um 1 K – ausfallen (siehe Abb. 5).

Die Wärmestrahlung breitet sich von jedem Punkt im Raum geradlinig in alle Richtungen aus. Dabei ist die Abschwächung der Strahlungsintensität beim Durchgang durch die Luft im Fall der Innenräume eines Gebäudes vernachlässigbar klein. Die Abstände zwischen den beheizten und den unbeheizten Flächen eines Raums spielen in dieser Hinsicht damit keine Rolle. So findet z. B. der Strahlungsaustausch zwischen beheizter Decke und Fußboden bei Vergrößerung der Raumhöhe ungehindert weiterhin statt. In diesem Zusammenhang ist lediglich zu beachten, dass in solch einem Fall der Anteil der von der Decke ausgehenden Wärmestrahlung, der auf den Fußboden trifft, sukzessive kleiner wird. Im Gegenzug steigt jener Anteil, der auf die Wandflächen trifft, in gleichem Maß an.

Dieses erstaunliche
Berechnungsergebnis ist
mittlerweile durch
Erfahrungen aus der Praxis
bestens untermauert. >>

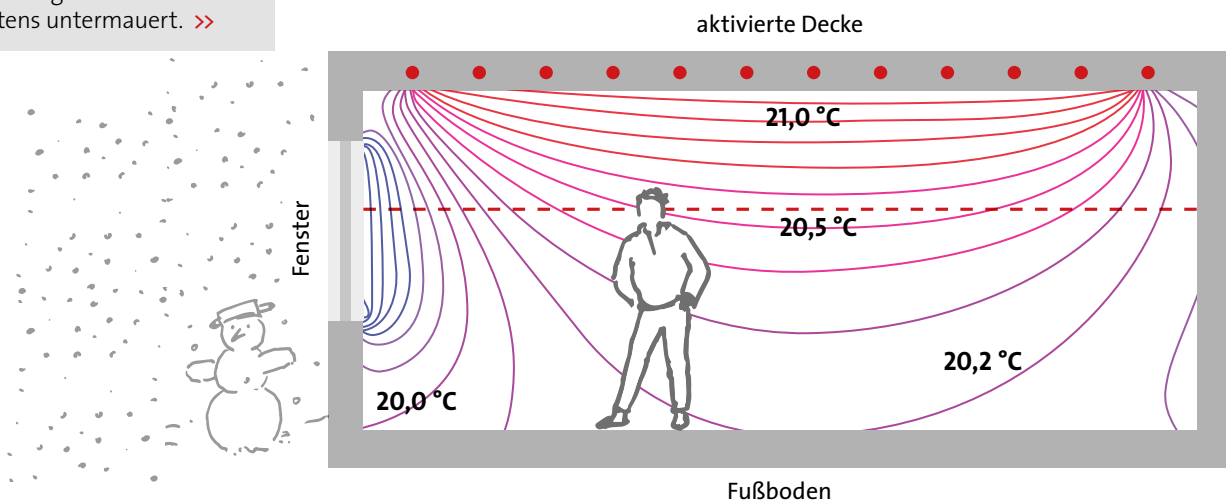
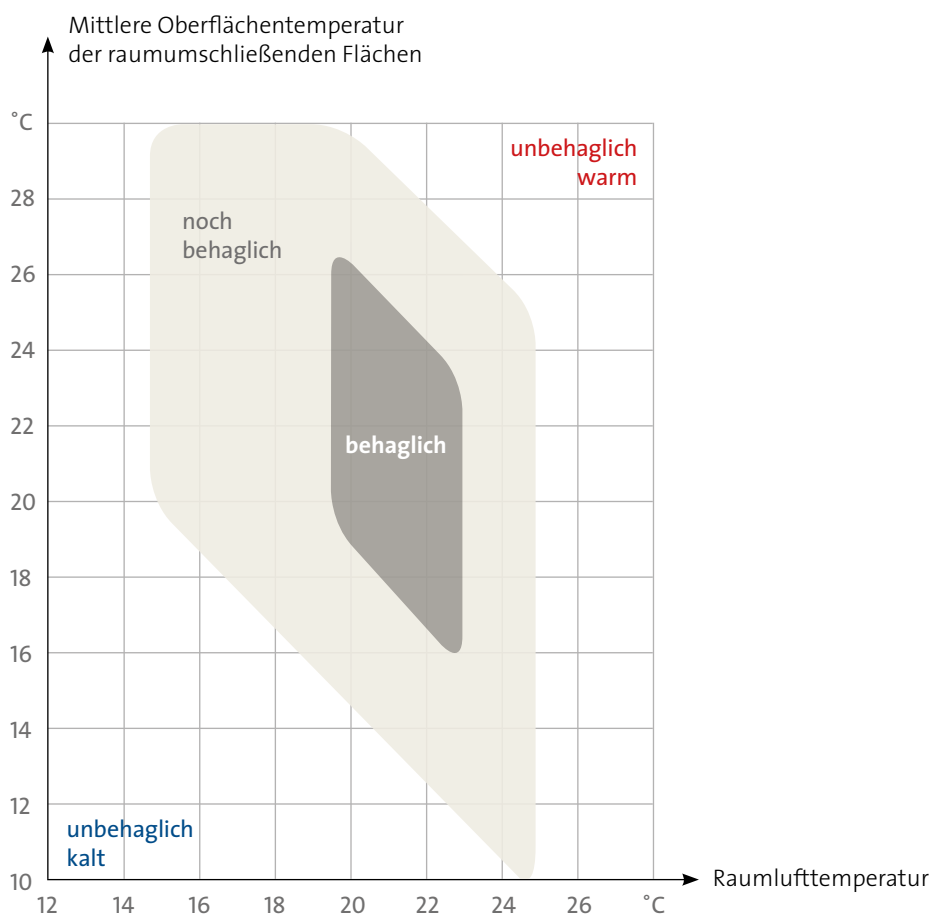


Abb. 5 | Vertikalschnitt durch einen Musterraum mit Isothermen im Heizfall/Winterbetrieb bei aktivierter Decke. Auffällig sind die gleichmäßige Temperaturverteilung und die geringen Temperaturunterschiede im Raum. © Z + B

Die gleichmäßigen Oberflächentemperaturen in einem mittels TBA beheizten oder gekühlten Raum sorgen für sehr hohe thermische Behaglichkeit. Aufgrund des Fehlens der konvektiven Anteile bei einer großflächigen Heizung wird die Verteilung von Staub und Schadstoffen hintangehalten. Dies bedeutet, dass auch der Gesundheitswert eines über TBA konditionierten Raums deutlich höher einzustufen ist als jener eines konventionell beheizten Raums.

Eine der Besonderheiten der Bauteilaktivierung besteht darin, dass in hoch gedämmten Gebäuden die Oberflächentemperatur der beheizten Teile der Deckenuntersicht selbst bei widrigen außerklimatischen Verhältnissen nur wenig über der Solltemperatur des Raums liegt. Diese Oberflächentemperatur sollte unter Auslegungsbedingungen – also im Fall extremer außerklimatischer Bedingungen – die Solltemperatur des Raums um nicht mehr als 4 K übersteigen.

Hoher Gesundheitswert von Räumen mit Thermischer Bauteilaktivierung



Anzustreben ist ein Δ (Delta) von maximal 4 K zwischen Oberflächen- und Raumtemperatur im Zentrum des behaglichen Bereiches. <<

Abb. 6 | Behaglichkeitsbereich Oberflächentemperatur zu Lufttemperatur. © z + b

Quelle: www.thermische-behaglichkeit.de/thermische-behaglichkeit.

Die Behaglichkeitskriterien sind bei der TBA leicht einzuhalten.

Vorrangiger Grund für diese Obergrenze sind Überlegungen in Hinblick auf die Sicherstellung von hohem thermischen Komfort im Raum. Demnach sind größere Temperaturunterschiede sowohl zwischen den beheizten und den unbeheizten Oberflächen als auch zwischen den Oberflächen und der Raumluft zu vermeiden.

Die nur kleinen Unterschiede zwischen Solltemperatur und Oberflächentemperatur der thermisch aktivierten Decke zeichnen auch für die sog. „Selbstregelung“ von thermisch aktivierten Bauteilen verantwortlich. Je kleiner die Differenz zwischen Soll- und Oberflächentemperatur ist, desto geringer ist auch die Wärmeabgabe oder – im Fall der Kühlung – Wärmeaufnahme des thermisch aktivierten Bauteils. Der Wegfall aufwändiger Regelungsstrategien hilft, die Haustechnik für Heizung und Kühlung einfach zu gestalten, und gewährleistet hohen thermischen Komfort, ohne dass der Nutzer laufend eingreift.

Selbstregelungseffekt der TBA

TBA gleicht zu jeder Zeit und selbsttätig die Temperatur zwischen sämtlichen Oberflächen und der Raumluft aus. >>

Die im Fall der Beheizung nur knapp über der Solltemperatur bzw. im Fall der Kühlung knapp unter der Solltemperatur liegenden Werte der Oberflächentemperatur der thermisch aktivierten Teile der Deckenuntersicht sind der Grund für eine weitere charakteristische Eigenschaft der Bauteilaktivierung. Die Wärmeabgabe- bzw. -aufnahmeleistung der aktivierten Decke ist in erster Näherung proportional zur Differenz zwischen Raumtemperatur und Oberflächentemperatur. Steigen nun die Raumlufttemperatur und/oder die inneren Oberflächentemperaturen an, so nimmt im Fall der Beheizung die Wärmeabgabeleistung der thermisch aktivierten Decke ab. Entsprechendes gilt natürlich auch für den Fall der Kühlung. Im Grenzfall der Übereinstimmung zwischen der Oberflächentemperatur der beheizten oder gekühlten Deckenuntersicht mit jener der nicht aktivierten inneren Oberflächen und der Raumlufttemperatur gibt die aktivierte Decke im Heizfall keine Wärme mehr ab. Im Kühlfall nimmt sie dementsprechend keine Wärme mehr auf.

Selbstregelungseffekt ermöglicht wesentliche Vereinfachungen in der Regelung der TBA. >>

Dieser „Selbstregelungseffekt“ tritt nur bei Heiz- und Kühlsystemen auf, die mit sehr niedrigen Heizmitteltemperaturen bzw. verhältnismäßig hohen Kühlmitteltemperaturen arbeiten. Bei einer herkömmlichen Radiatorheizung liegen die Oberflächentemperaturen im Auslegungszustand in der Regel deutlich über 35 °C. Beim Anstieg der Raumtemperatur auf z. B. 24 °C muss der Durchfluss durch den Radiator gedrosselt werden, um die Wärmeabgabe des Radiators zu verringern. Befindet sich hingegen die Oberflächentemperatur einer thermisch aktivierten Decke auf 24 °C, so gibt die Decke bei einer Raumtemperatur von 24 °C – vollkommen unabhängig von der Durchflussgeschwindigkeit des Heizmediums im Rohrregister – keine Wärme mehr an den Raum ab. In Hinblick auf die Heizungsregelung ist mit dem Selbstregelungseffekt auch auf der haustechnischen Seite eine wesentliche Vereinfachung verbunden.

Die relativ niedrigen Oberflächentemperaturen können im Fall der Beheizung bereits durch ungewöhnlich niedrige Heizmitteltemperaturen sichergestellt werden. Die Vorlauftemperaturen bewegen sich auch bei widrigsten außenklimatischen Bedingungen in Bereichen von knapp über 30 °C. Nach dem bisher Gesagten sind diese niedrigen Heizmitteltemperaturen bei der TBA nicht nur möglich, sondern sogar notwendige Voraussetzung für ein gutes Funktionieren des Heizsystems und für hohen thermischen Komfort im Raum. Dies macht eine effektive Nutzung erneuerbarer Energien möglich. Neben der Kombination der TBA mit thermischen Sonnenkollektoren sei hier insbesondere die Wärmebereitstellung über Wärmepumpen, die überwiegend mittels Strom aus Windkraftanlagen oder Photovoltaik betrieben werden, genannt.

Sehr niedrige Heizmitteltemperaturen

Niedrige Heizmitteltemperaturen gewährleisten wirtschaftlichen Betrieb. <<

Die Verwendung von Strom zur Erzeugung von Wärme (auch) im Zuge des Einsatzes von Wärmepumpen wurde lange mit dem Argument, dass Strom als Energieform viel zu hochwertig sei, vermieden. Bei Wärmepumpen muss dieses Argument insofern kritisch hinterfragt werden, als die Arbeitszahlen von Wärmepumpen im Bereich von vier bis zumindest drei liegen. Dies bedeutet, dass unter Einsatz von einer Kilowattstunde Strom etwa vier, zumindest aber drei Kilowattstunden Wärme entstehen. Die Wärme wird dabei der Umwelt entzogen, wobei die Wärmergewinnung zumeist (in ca. 60% der Fälle) über die Luft (Luft-Wasser-Wärmepumpe) bewerkstelligt wird. Eine Wärmergewinnung über den Erdboden oder das Grundwasser stellt insofern eine interessante Alternative dar, als die Wärmepumpe in diesem Fall deutlich effizienter betrieben werden kann. Der Primärkreis der Wärmepumpe besteht dabei entweder aus horizontal im Erdboden in geringer Tiefe (1,0 bis 2,0 m) verlegten Rohrregistern oder aus Rohren, die im Zuge von Tiefenbohrungen (abgestimmt auf die Bodenverhältnisse und die Heizlast des Gebäudes bis in Tiefen von 150 m) den Entzug von Wärme aus tief unter der Erdoberfläche befindlichen Schichten ermöglichen.

TBA als ideale Einsatzmöglichkeit für erneuerbare Energien

Mit der Energiewende ergeben sich heute weitere Argumente in Hinblick auf eine rein elektrische Lösung für die Wärmeerzeugung. Sowohl bei Windkraft- als auch Photovoltaikanlagen fällt Strom in sehr unregelmäßiger Zeitabfolge an. Die Frage nach effektiven Speicherungsmöglichkeiten von Stromüberschüssen stellt sich bereits jetzt. Mit dem zunehmenden Umstieg auf die Nutzung erneuerbarer Energien wird diese Frage entscheidende Bedeutung erlangen. Die TBA stellt hier insofern einen interessanten Lösungsansatz dar, als das Einspeichern von Wärme in thermisch aktivierte Betondecken möglich ist, ohne den thermischen Komfort in den Räumen merkbar zu beeinflussen. Die Wärmeerzeugung über Wärmepumpen erlangt vor diesem Hintergrund eine ganz besondere Bedeutung.

Verknüpfung von erneuerbarer Energie – TBA – Wärmepumpe ermöglicht zukunfts-gerechte Lösungen. <<

Auch in Bezug auf die Wärmeerzeugung durch Solarkollektoren erweist sich die TBA als sehr gut geeignetes Wärmeverteilungssystem für Gebäude. Das besonders im Winter nur kurzzeitig und unregelmäßig anfallende Wärmeangebot kann mittels Durchströmung der Rohrregister in den Decken des Gebäudes zwischengespeichert werden und wird unter Einhaltung der Komfortanforderungen zeitverzögert an die Innenräume abgegeben.



Abb. 7 | Erneuerbare Energien, wie z. B. Windkraft (© W.E.B-Windkraftanlage/eric krügl) und Sonnenenergie über eine Photovoltaik-anlage (© F. Huber) oder über eine thermische Solaranlage (© GASOKOL), sind für die Nutzung mittels TBA prädestiniert.

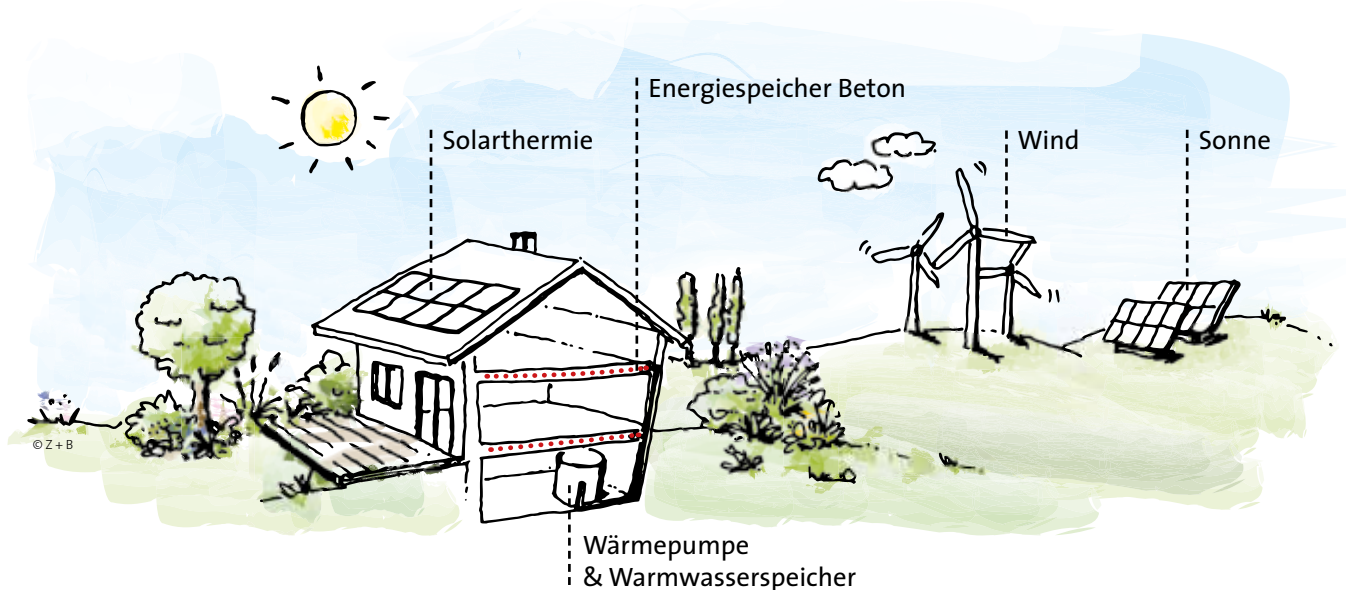
Die Temperatur des Heizmittels wird allerdings bei hoher Sonneneinstrahlung auch im Tiefwinter die genannte Obergrenze von knapp über 30 °C deutlich übersteigen. Zur effizienten Nutzung der anfallenden Energie sind kurzzeitig Heizmittelttemperaturen bis zu ca. 45 °C zulässig. Das Einpumpen dieses eigentlich viel zu hoch temperierten Heizmittels in das Rohrregister macht dann kein Problem, wenn das Zeitintervall dieses hohen Wärmeeintrags auf wenige Stunden beschränkt bleibt – ein Umstand, der im Tiefwinter fast immer gegeben ist. Die hohe Wärmespeicherfähigkeit des Betons sorgt auch hier dafür, dass der große Wärmeeintrag die Betondecke nur langsam erwärmt. Einbußen in Hinblick auf den thermischen Komfort im Raum sind auch in diesem Fall nicht zu befürchten.

Beton gleicht Temperaturspitzen bei der Einlagerung von Wärme aus. <<

Im innerstädtischen Bereich ist auch die Versorgung von Gebäuden mittels Fernwärme ein Thema. Für die TBA scheint Fernwärme auf den ersten Blick allerdings auszuschneiden, da die Wärme auf viel zu hohem Temperaturniveau geliefert wird. Sind Übergabestationen mit Mischerregelungen ausgestattet, ist ein Niedertemperaturbetrieb möglich. Für den Fernwärmebetreiber hat diese Lösung den Charme, für die Wärmelieferung jene Zeitintervalle zu nutzen, die außerhalb der Lastspitzen liegen. Ein anderer reizvoller Ansatz für die Steigerung der Effizienz der Nutzung von Fernwärme besteht darin, einen Sekundärkreis zur Versorgung von Gebäuden oder Gebäudegruppen zu installieren und diesen an ein bestehendes Fernwärmenetz anzubinden.

Die TBA stellt über die hohe Wärmespeicherfähigkeit des Betons auch ein weiteres Potential zur Verfügung, das unter dem Aspekt der Nutzung erneuerbarer Energien zunehmend an Bedeutung gewinnt. Erneuerbare Energien, wie sie z. B. aus der Nutzung des Windes (Windräder) oder der Sonne (Photovoltaik) in Form von Strom anfallen oder auch die von thermischen Solaranlagen in Form von Wärme gelieferte Energie, sind nicht durchgehend verfügbar, sondern fallen in unregelmäßigen, nur ungenau prognostizierbaren Zeitintervallen an. Die Energie-

Nutzung erneuerbarer Energien



wende, d. h. der Umstieg auf die alleinige Nutzung von erneuerbaren Energien, ist aus diesem Grund eng mit der Antwort auf die Frage nach effektiver Speicherung von Energie verbunden. Die TBA stellt in diesem Fall eine ganz besondere Art eines hoch effizienten Energiespeichers dar. Die Beladung des Speichers – also z. B. der thermisch aktivierten Decke - kann auch in unregelmäßigen Zeitintervallen erfolgen, ohne den thermischen Komfort im zu beheizenden Raum merkbar zu stören. Energie wird in Form von Wärme in der Stahlbetondecke zwischengespeichert.

Die in der EU Richtlinie 2010/31/EU enthaltene Forderung nach einer möglichst hohen Nutzung erneuerbarer Energien zur Deckung des Heizwärmebedarfs von Gebäuden ist mittels Anwendung der TBA sehr gut erfüllbar.

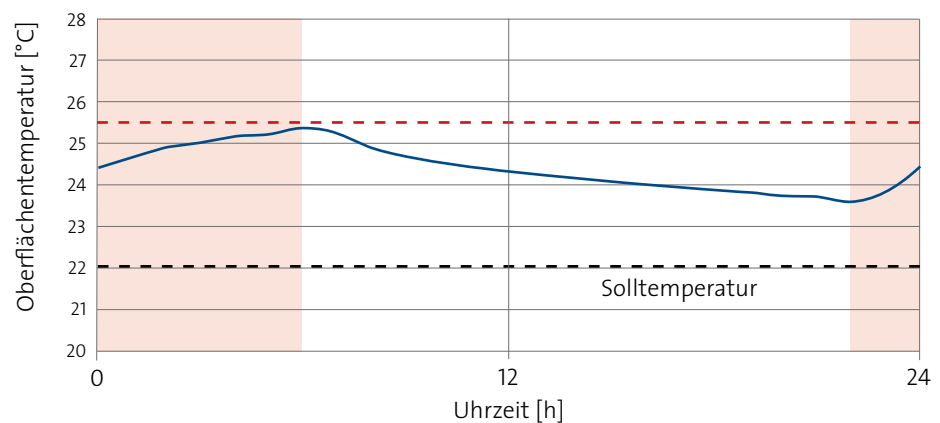


Abb. 8 | Errechneter Tagesverlauf der mittleren Oberflächentemperatur an der Deckenuntersicht bei einer auf den Zeitraum zwischen 22⁰⁰ und 6⁰⁰ Uhr beschränkten Wärmezufuhr (Nutzung von Nachtstrom); Solltemperatur des Raums: 22 °C. © Klaus Kreč

TBA als wirksame Strategie zur Glättung von Netzspitzen

Bei einer genügend hohen Anzahl von Gebäuden mit thermisch aktivierbaren Bauteilen kann die Übernahme von Spitzenstrom aus erneuerbaren Energien helfen, Angebotsspitzen zu glätten und im Gegenzug den Strombedarf zu Zeiten niedrigen Angebots zu drosseln. Im Vergleich zu anderen Energiespeichern nimmt die TBA insofern eine Sonderstellung ein, als die Wärmeverluste des Speichers nicht minimiert, sondern für die Sicherung des thermischen Komforts im Haus eingesetzt werden.

Energieeffiziente Kühlung von Wohngebäuden

Die Möglichkeit der energieeffizienten Kühlung von Wohngebäuden macht die TBA zu einem innovativen, zukunftsgerichteten Planungsansatz. Ähnlich wie im Fall der Heizung sorgen die großen aktivierten Flächen dafür, dass mit verhältnismäßig hohen Kühlmitteltemperaturen hohe Kühlleistungen erzielt werden. Bereits mit Kühlmitteltemperaturen um oder über 20 °C können Überwärmungs-

tendenzen während hochsommerlicher Hitzeperioden wirksam abgefangen werden. Im Idealfall schlägt für die Kühlung mittels TBA nur die Energie für den Einsatz der Umwälzpumpe zu Buche.

Da sich auch im Fall der Wärmeaufnahme der aktivierten Decke – also im Fall der Kühlung – die große Wärmespeicherfähigkeit von Beton dahin gehend auswirkt, dass große Wärmemengen aufgenommen werden können, ohne die Temperatur der Decke wesentlich zu erhöhen, ist die Funktion der TBA im Sommer selbst bei nicht durchgehendem Kühlbetrieb gegeben. Damit sind auch im Fall der Kühlung erneuerbare Energien sehr gut nutzbar.

Wie für die Heizung gilt auch bei Kühlung: Umweltenergien sind sehr gut nutzbar. <<

Mit den relativ hohen Temperaturen der gekühlten Decke – diese liegen nicht unter 19 °C – kann die Gefahr von Tauwasserbildung von vornherein ausgeschlossen werden. Bezüglich des thermischen Komforts im Raum gilt das für den Fall der Beheizung Gesagte unverändert: Mittels Strahlungsaustausch kommt es zu einem hoch wirksamen Ausgleich der Oberflächentemperaturen, was unmittelbar zu hohem thermischen Komfort führt.

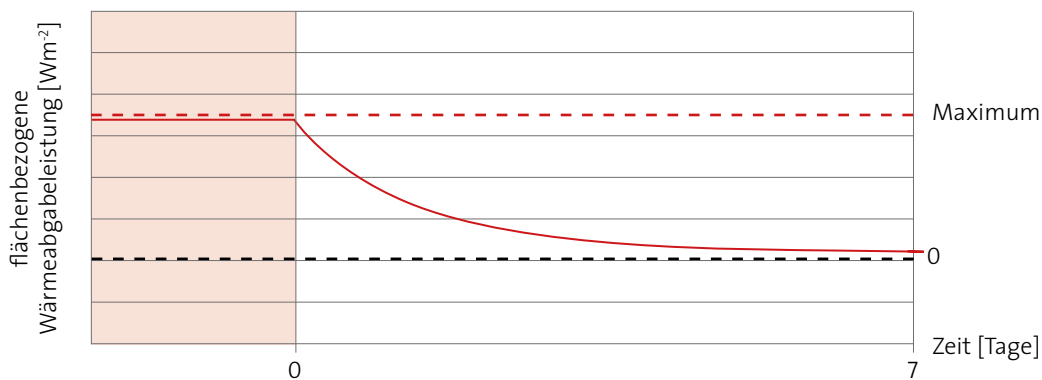


Abb. 9 | Abnahme der flächenbezogenen Wärmeabgabeleistung einer thermisch aktivierten Decke nach Abschaltung der Umwälzpumpe. © Klaus Kreč

Voraus- setzungen

Die Wärmeabgabe einer thermisch aktivierten Decke darf nicht beliebig erhöht werden. Die Obergrenze für die Heizlast ergibt sich aus der Forderung, dass die Oberflächentemperaturen der beheizten Deckenteile nicht mehr als 4 Kelvin über der jeweiligen Solltemperatur im Raum liegen darf.

Voraussetzung für das Funktionieren einer TBA

Die Beheizung oder Kühlung („Konditionierung“) der Räume eines Gebäudes mittels thermischer Aktivierung der Geschoßdecken alleine ist nur dann möglich, wenn die Heizlast des Gebäudes nicht zu groß ist. Diese Einschränkung ist im Umstand begründet, dass die Wärmeabgabe einer thermisch aktivierten Decke nicht beliebig erhöht werden darf. Aufgrund der Forderung nach der Sicherstellung von sehr hohem thermischen Komfort in den Räumen sollte die Oberflächentemperatur der beheizten Deckenteile nicht mehr als 4,0 K über der jeweiligen Solltemperatur im Raum liegen. Trotz der üblicherweise sehr großen für die Aktivierung zur Verfügung stehenden Flächen ergibt sich aus dieser Forderung eine Obergrenze für die Heizlast, die in Einzelfällen (wie z. B. bei sehr großen Fensterflächen insgesamt oder in einzelnen Räumen) auch für heutige Neubauten oder für Teile von Neubauten von Relevanz ist.

**Hochwertige Gebäudehülle
ist Grundvoraussetzung
für TBA**

Die Verkleinerung der Heizlast ist immer mit einer Verbesserung der thermischen Qualität der Gebäudehülle verbunden. Durch gute Wärmedämmung, sorgsame Planung und Umsetzung von Bauteilanschlüssen (Hintanhaltung von „Wärmebrücken“) sowie mittels besonderer Berücksichtigung der Erfordernisse einer luftdichten Gebäudehülle in Planung und Ausführung werden die Wärmeverluste durch die Gebäudehülle wirksam reduziert. Wird zudem eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung eingebaut, so führt dies meist zu einem weiteren, sprunghaften Rückgang der Wärmeverluste, was wiederum die Heizlast deutlich verkleinert.

Eine Analyse dieser Problemstellung zeigt, dass bei sehr gut gedämmten Gebäuden mit Lüftungsanlage und Wärmerückgewinnung die für eine Aktivierung zur Verfügung stehende Deckenfläche bei weitem ausreicht, um die Heizlast zu decken und somit auch bei extremen außenklimatischen Bedingungen die gesetzten Solltemperaturen zu gewährleisten.

Aber auch bei Wegfall der Lüftungsanlage - also bei nicht durch die Wärmerückgewinnung reduzierten Lüftungswärmeverlusten - kann die thermische Aktivierung der Geschoßdecken eine gangbare Option zur verlässlichen Konditionierung des Gebäudes sein. Eine sehr hohe thermische Qualität der Gebäudehülle erweist sich damit als Grundvoraussetzung für die Umsetzung des Konzepts der Konditionierung von Gebäuden mittels alleiniger thermischer Aktivierung der Geschoßdecken.

Auswirkung von hochwertigen Gebäudehüllen auf die Gebäudenutzung

Hoch gedämmte Gebäude reagieren selbst auf kleine Wärmemengen. >>

Die Gebäudenutzung hat erheblichen Einfluss sowohl auf den Energiebedarf des Gebäudes als auch auf die sich im Gebäudeinneren einstellenden innenklimatischen Verhältnisse. Dies trifft auf Gebäude jeglicher Art zu. Bei Gebäuden mit einer hochwertigen Hülle ist der Wärmefluss zwischen Gebäudeinnerem und außen stark reduziert. Dies gilt im Winter wie im Sommer und führt dazu, dass sowohl die Lüftungswärmeverluste als auch die im Inneren des Gebäudes auftretenden Wärmequellen erheblich größere Auswirkungen auf das thermische Verhalten des Gebäudes haben, als es bei Gebäuden mit qualitativ weniger hochwertigen Hüllen der Fall wäre.

In Niedrigenergiegebäuden reichen bereits kleine Wärmemengen aus, um im Winter die Räume angenehm temperiert zu halten. Im Sommer reichen verhältnismäßig kleine Innenwärmen aus, um die Räume auf zu hohe Temperaturen aufzuheizen. Um den Wärmeeintrag durch Sonneneinstrahlung in den Übergangszeiten und im Sommer bewusst begrenzen zu können, kommt damit der Planung richtiger Fenstergrößen sowie von auf die Fenster abgestimmte Verschattungseinrichtungen erhebliche Bedeutung zu. Diese baulichen Maßnahmen sind unverzichtbarer Teil einer hochwertigen Gebäudehülle.

In Hinblick auf die Nutzung ist in diesem Zusammenhang zu betonen, dass die Verschattungseinrichtungen nur dann ihre volle Wirkung entfalten, wenn sie richtig eingesetzt werden. So empfiehlt es sich z. B. an Strahlungstagen im Sommer, die Verschattungseinrichtungen schon lange vor dem Auftreffen der Direktstrahlung auf das jeweilige Fenster zu aktivieren bzw. die Verschattungseinrichtung ganztägig zu nutzen.

Strahlungstage und Hitzetage erfordern Umdenken in der Nutzung eines Gebäudes. >>

Neben der Begrenzung des solaren Strahlungseintrags spielt die Lüftung in Hinblick auf die Vermeidung von Überhitzungstendenzen eine zentrale Rolle. Generell ist im Sommer eine über die hygienischen Erfordernisse hinausgehende Lüftung nur dann sinnvoll, wenn die Innenlufttemperatur höher als die Außenlufttemperatur ist. Während Hitzeperioden sollte somit nur in der Nacht verstärkt gelüftet werden, untertags sollte die Gebäudehülle geschlossen bleiben.

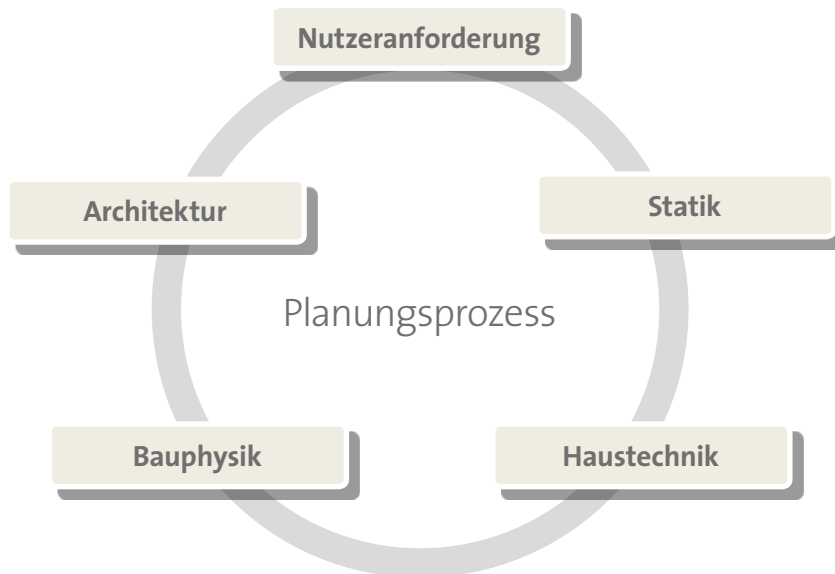
Bei bewusster, vernünftiger Nutzung des Gebäudes kann im Sommer das große Kühlpotential der thermisch aktivierten Geschoßdecken sinnvoll ausgenutzt und hoher thermischer Komfort selbst während sommerlicher Hitzeperioden sichergestellt werden.

Gebäude mit sehr guter Dämmung sorgen für gleichförmige Innentemperaturen. >>

Grundsätzlich erlangen die Wärmeflüsse zwischen den einzelnen Räumen eines Gebäudes durch die Reduktion des Wärmeflusses über die Gebäudehülle nach außen eine höhere Bedeutung. Aus diesem Grund ist in Gebäuden mit qualitativ hochwertigen Hüllen die Verteilung der Raumtemperaturen sehr ausgeglichen.

Die Beheizung eines Gebäudes mittels thermischer Aktivierung der Geschoßdecken wird insbesondere dann zu einer attraktiven Planungsvariante, wenn sichergestellt ist, dass neben der Bauteilaktivierung keine Zusatzheizung erforderlich ist. Im Gegensatz zu konventionellen Haustechnik-Planungen müssen Entscheidungen in Hinblick auf die Wahl der Bauteilaktivierung bereits in sehr frühen Planungsstadien getroffen werden.

**Gewerke übergreifende
Planung bereits im
Entwurfsstadium**



Architektur, Nutzeranforderung, Statik, Haustechnik und Bauphysik arbeiten Hand in Hand im Planungsprozess. <<

Der Grund dafür liegt auf der Hand: Von einer Entscheidung für die Bauteilaktivierung ist nicht nur die Haustechnikplanung, sondern auch der architektonische Entwurf, die Dimensionierung der Geschoßdecken durch den Statiker und allenfalls die Überprüfung von Anschlussdetails durch den Bauphysiker sowie die Festlegung der erforderlichen Registerflächen durch den Haustechniker betroffen.

Dies zeigt, dass neben der frühzeitigen Entscheidung für die Art der Wärmeabgabe bzw. Wärmeaufnahme in den Räumen auch eine gut funktionierende interdisziplinäre Zusammenarbeit notwendig ist. Es wäre verfehlt, dieses Erfordernis als Belastung des Planungsprozesses anzusehen. Vielmehr ist heutzutage die Einbindung und eine gute Zusammenarbeit von Fachplanern bereits in sehr frühen Planungsphasen unverzichtbare Voraussetzung für innovative Gebäudekonzepte jeglicher Art.

Im Idealfall sollte der Haustechnikplaner, noch vor dem Beginn der Planung des Gebäudekonzeptes, die für den Einsatz der TBA wesentlichen örtlichen Gegebenheiten erkunden.

Die Entscheidung über die Art des Systems zur Wärmeabgabe in den Räumen, d. h. – salopp gesagt – über Art und Größe der Heizkörper, setzt immer eine Heizlastberechnung für alle Räume des Gebäudes voraus. Auch die Entscheidung für oder gegen thermisch aktivierte Decken ist von den Ergebnissen der Berechnung der Raumheizlasten abhängig.

Derzeit gültige Normen bilden die Heizlastberechnung für TBA nicht ab

Schreibweise der Kurzbezeichnungen im Einheitssystem

$$1/h = h^{-1}$$

$$W/m^2 = Wm^{-2}$$

$$W/m^2K = Wm^{-2}K^{-1} \gg$$

Die Norm-Heizlasten sind viel zu hoch und führen zu überdimensionierten Heizanlagen. >>

In Bezug auf die Heizlastberechnung ergibt sich derzeit allerdings das Problem, dass eine normgemäße Heizlastberechnung gemäß ÖNORM EN 12831 und ÖNORM H7500-1 für den Niedrigenergiehausstandard nicht geeignet ist. Im Titel der letztgenannten Norm wird darauf explizit hingewiesen: Der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient („U-Wert“) der Gebäudehülle darf für eine Anwendung dieser Norm nicht unter $0,5 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ liegen. Die Norm-Heizlastberechnung für thermisch bessere Gebäudehüllen ist der ÖNORM H7500-2 vorbehalten. Diese ist jedoch noch im Stadium eines Normprojekts und somit für die Planer nicht verfügbar.

Die Norm-Heizlastberechnung gemäß ÖNORM H7500-1 führt für Niedrigenergie- und Passivhäuser zu unsinnigen Überdimensionierungen. Hauptgrund dafür ist der zeitunabhängige (d. h. stationäre) Berechnungsansatz unter Zugrundelegung sehr tief angesetzter Außentemperaturen (Quelle: Datei NAT.xls auf der OIB-Homepage www.oib.or.at). Eine Heizlastberechnung unter Zugrundelegung einer Außenlufttemperatur von z. B. $-12,7^\circ\text{C}$ (Standort Salzburg) impliziert, dass das Gebäude permanent dieser Temperatur ausgesetzt ist. Solche außenklimatischen Verhältnisse treten bestenfalls im Winter in Nähe der Pole auf. Da bekanntlich hoch gedämmte Bauwerke auf extreme außenklimatische Bedingungen nur sehr langsam reagieren, erweist sich die „Sicherheit“ normgemäßer Heizlastberechnungen für Niedrig- und Passivhäuser als deutlich zu groß. Die derzeit gültigen Normen sind für die Berechnung der Heizlast von Niedrigstenergie-Gebäuden nicht geeignet.

Innere Wärmequellen berücksichtigen

Zudem wird bei normgemäßen Heizlastberechnungen die Auswirkung sämtlicher innerer Wärmequellen vernachlässigt. Auch dieser Ansatz erweist sich für Niedrigenergiehäuser als ungeeignet, da auch in einem ungenutzten Niedrigenergiehaus selbst die an einem trüben Tag auftreffende diffuse Strahlung die Heizlast wesentlich zu reduzieren vermag.

Passivhausprojektierungspaket (PHPP) als Hilfsmittel zur Heizlastberechnung

Das hier skizzierte Problem fehlender normativer Ansätze für die Heizlastberechnung von Passivhäusern wurde bereits vor Jahren am Passivhausinstitut erkannt. Dies führte vorerst zu einem Forschungsprojekt und in der Folge zur Erweiterung des Passivhausprojektierungspakets (PHPP) um ein Heizlast-Berechnungsmodul. Da die neue PHPP-Version 9.2 auch Heizlastberechnungen mit Klimadaten für eine größere Anzahl von Standorten in Österreich ermöglicht, wird empfohlen, dieses Programm zur Berechnung der Heizlast für Niedrigenergie- und Passivhäuser zu verwenden.

Liegt das Ergebnis der Heizlastberechnung für die Räume des geplanten Gebäudes vor, kann im Rahmen einer groben Abschätzung rasch entschieden werden, ob die thermische Aktivierung der Decke die Heizlast allein zu decken vermag.

Tabelle 2 | In der Bauphysik und in den Normen gebräuchliche Bezeichnungen aus dem griechischen Alphabet.

Großbuchstaben	Kleinbuchstaben	Namen	Kenngroße Eigenschaft
	α	Alpha	Wärmeübergangskoeffizient
Δ		Delta	Differenz
	η	Eta	Wärmebereitstellungsgrad
Θ		Theta	Temperatur
Λ		Lambda	flächenbezogener thermischer Leitwert
	λ	Lambda	Wärmeleitfähigkeit
	ρ	Rho	Massendichte
Φ		Phi	Wärmeabgabe- oder -aufnahmeleistung
	χ	Chi	flächenbezog. wirksame Wärmekapazität

Die **flächenbezogene Wärmeabgabeleistung** einer thermisch aktivierten Decke q kann vereinfacht durch die Beziehung

$$(1) \quad q = \alpha \cdot (\Theta_s - \Theta_i)$$

beschrieben werden. q ist somit proportional zur Differenz zwischen der **mittleren Oberflächentemperatur der Deckenuntersicht** Θ_s und der **Solltemperatur** Θ_i **des Raums**. Als Proportionalitätsfaktor scheint in Gleichung (1) der **Wärmeübergangskoeffizient** α auf. Für beheizte Decken ist α gemäß ÖNORM EN 1264-5 auf $6,5 \text{ Wm}^2\text{K}^{-1}$ zu setzen. Aus Gründen des thermischen Komforts sollte die Oberflächentemperatur der beheizten Deckenteile auch unter Auslegungsbedingungen nicht mehr als 4 K über die Solltemperatur des Raums ansteigen. Eine Obergrenze für die flächenbezogene Wärmeabgabeleistung ergibt sich damit unmittelbar zu

$$(2) \quad q_{\max} = 6,5 \cdot 4 = 26 \text{ Wm}^{-2}$$

Es sollte somit vermieden werden, dass die flächenbezogene Wärmeabgabeleistung der thermisch aktivierten Decke 25 Wm^{-2} deutlich übersteigt.

Im Rahmen der hier skizzierten Grobabschätzung errechnet sich die **zumindest erforderliche Registerfläche** $A_{R,\min}$ mittels Division der errechneten **Raumheizlast** Φ_{HL} (in Watt) durch 25 Wm^{-2} :

$$(3) \quad A_{R,\min} \approx \frac{\Phi_{HL}}{25}$$

Die Antwort auf die Frage, ob die thermische Aktivierung der Decke für eine alleinige Beheizung des Raums geeignet ist, kann nun sofort mittels Vergleich der verfügbaren Nettofläche der Decke und dem rechnerisch abgeschätzten Min-

Abschätzung der Anwendbarkeit einer TBA

q

flächenbezogene Wärmeabgabeleistung

Θ_s

mittlere Oberflächentemperatur der Deckenuntersicht

Θ_i

Solltemperatur des Raums

α

Wärmeübergangskoeffizient

$q_{\max}$

maximale flächenbezogene Wärmeabgabeleistung

$A_{R,\min}$

mindest erforderliche Registerfläche

Φ_{HL}

Raumheizlast

Die Qualität der Gebäudehülle muss eine Raumheizlast von kleiner/gleich 25 Wm^{-2} Nutzfläche sicherstellen. >>

destwert für die Registerfläche $A_{R,\min}$ beantwortet werden. In diese Überlegung muss jedoch einbezogen werden, ob wirklich die gesamte Deckenfläche für das Rohrregister genutzt werden kann.

So können z. B. Anforderungen an die Raumakustik bewirken, dass ein Teil der Deckenfläche nicht zur Beheizung zur Verfügung steht. In diesem Zusammenhang ist zu betonen, dass für ein klagloses Funktionieren einer thermisch aktivierten Decke die Vermeidung der Anbringung schlecht wärmeleitender Schichten im Bereich der Deckenuntersicht wesentlich ist. So sollte die Deckenuntersicht nur dünn verspachtelt oder verputzt werden, wobei die Wahl eines gut wärmeleitenden Putz- oder Spachtelmaterials zu bevorzugen ist. Akustisch gut absorbierende Schichten sind zumeist schlecht wärmeleitend. Aus diesem Grund sollten oberhalb von akustisch wirksamen Flächen keine Rohrregisterflächen eingeplant werden.

Für den Fall, dass die gesamte Deckenfläche mit Heiz- bzw. Kühlregistern belegt werden kann, folgt aus Gleichung (3), dass die auf die Nutzfläche bezogene Raumheizlast kleiner als oder gleich 25 Wm^{-2} sein muss. Solche Obergrenzen für die Raumheizlast sind für „konventionelle“ Passivhäuser gut bekannt. Die Forderung, wonach ein Passivhaus allein über die Zufuhr erwärmter Zuluft beheizbar sein soll, führt auf eine Obergrenze der auf die Nutzfläche bezogenen Heizlast von 10 Wm^{-2} und damit auf ein nur schwierig umsetzbares Planungsziel. Die Unterschreitung des Grenzwerts von 25 Wm^{-2} für die nutzflächenbezogene Heizlast bei Verwendung thermisch aktivierter Geschoßdecken stellt hingegen ein für Niedrigenergiegebäude gut umsetzbares Planungsziel dar.

Gemäß Gleichung (3) wird die erforderliche Registerfläche mit abnehmender Heizlast kleiner. Die Heizlast ist zum einen von der thermischen Qualität der Gebäudehülle und zum anderen von den Wärmeverlusten, die aufgrund der Frischluftzufuhr entstehen, abhängig. Parameterstudien haben gezeigt, dass die Beheizung über thermisch aktivierte Geschoßdecken dann ohne Zusatzheizung möglich ist, wenn die thermische Qualität der Gebäudehülle zumindest dem Niedrigenergiestandard entspricht. Werden zudem die Lüftungswärmeverluste mittels Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung abgesenkt, so zeigt sich, dass für die Beheizung eines solchen Gebäudes bereits ein Teil der zur Verfügung stehenden Deckenfläche ausreicht.

Im Zusammenhang mit der TBA wird von Niedrigenergiestandard gesprochen, wenn die Heizlastberechnung für das Gebäude den nettoflächenbezogenen Wert von 25 Wm^{-2} unterschreitet. Testrechnungen haben gezeigt, dass dies mit Gebäudehüllen mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenwand von $U_{AW} = 0,15 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ oder kleiner und Passivhausfenstern auch dann umsetzbar ist, wenn keine Lüftungsanlage vorgesehen ist.

Die TBA wertet Niedrigstenergiehäuser in ihrer Wohnqualität auf. >>

Wärmerückgewinnung darf nicht zu einer Verschlechterung der Wärmedämmung verleiten. >>

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Frage nach der Eignung von thermisch aktivierten Geschoßdecken zur Beheizung von Räumen eng mit der thermischen Qualität der Gebäudehülle verknüpft ist. Klaglos funktionieren wird solch ein System immer dann, wenn die Wärmeströme über die Bauteile der Gebäudehülle aufgrund sehr guter Dämmung klein gehalten und auch die Lüftungswärmeverluste mittels Wärmerückgewinnungsanlagen abgesenkt werden. Wärmerückgewinnungsanlagen verkleinern die Lüftungswärmeverluste dann hoch effektiv, wenn die Gebäudehülle luftdicht ausgeführt ist. Dem Thema der Luftdichtheit kommt somit zentrale Bedeutung zu.

**Qualitätssicherung der
Gebäudehülle bereits
während der
Herstellung essentiell**



Blower-Door-Test zweimal durchführen: Vortest nach Abschluss der Montagearbeiten (Einbauten in die Dichthülle des Gebäudes) und Abnahmetest nach Baufertigstellung. <<

Abb. 10 | Messgerätschaft für den Blower-Door-Test. © vöZ

Die Lage und Ausführung der Dichtebene eines Gebäudes ist eine Planungsaufgabe und in die Ausführungspläne aufzunehmen.

Die Luftdichtheit eines Gebäudes lässt sich mit einem sogenannten Blower-Door-Test verlässlich überprüfen. Die Überprüfung auf Luftdichtheit sollte auf jeden Fall und aus Gründen der Nachbesserbarkeit sobald als sinnvoll möglich durchgeführt werden. Als Obergrenze für die Luftwechselzahl bei einer Druckdifferenz von 50 Pa ist ein Wert kleiner $1,0 \text{ h}^{-1}$ zu gewährleisten, für hochwertige Ausführungen sollte ein Wert kleiner als $0,6 \text{ h}^{-1}$ sichergestellt werden.

**Schreibweise der
Kurzbezeichnungen
im Einheitssystem**

$1/h = \text{h}^{-1}$

$\text{W/m}^2 = \text{Wm}^{-2}$

$\text{W/m}^2\text{K} = \text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ <<

Die Nahebeziehung zwischen der thermischen Qualität der Gebäudehülle und der Auslegung der erforderlichen Registerflächen zeigt wiederum, dass eine enge Zusammenarbeit und gute Kommunikation zwischen Architekt oder Baumeister und den Fachplanern wesentlich ist. Nachträgliche Änderungen an der Gebäudehülle, wie z. B. die Wahl von Fenstern anderer Qualität oder eine Änderung der U-Werte der Außenbauteile, dürfen nicht ohne Abstimmung mit dem Bauphysiker und dem Haustechniker vorgenommen werden, da ansonsten die Funktionsfähigkeit des aus Gebäude und Heizung bzw. Kühlung bestehenden Gesamtsystems beeinträchtigt werden kann.

Ein klagloses Funktionieren der Bauteilaktivierung ist dann gegeben, wenn keine zu großen Schwankungen der im Gebäudeinneren auftretenden Wärmegewinne und -verluste auftreten. Bei Wohnnutzung ist diese Voraussetzung im Allgemeinen gegeben. Natürlich können aber durch unsinniges Lüftungsverhalten –

z. B. Dauerlüftung statt Stoßlüftung im Tiefwinter – Verhältnisse geschaffen werden, die die Energiebilanz im Gebäude stören und zu unerwünschten innenklimatischen Bedingungen führen. Grob fehlerhaftes Nutzerverhalten führt aber unabhängig vom vorliegenden Heizsystem zu Einbußen im Komfort und erhöhtem Wärmebedarf.

Die TBA als zukunftsweisende Kühlstrategie

Verschattungseinrichtungen müssen wind- und wetterfest sein und sollten nach Möglichkeit selbsttätig funktionieren. >>

Im Bereich der Wohnnutzung ist das gezielte Vermeiden zu großer Schwankungen der Innenwärmen vor allem im Sommer ein wichtiges Thema. Die thermische Aktivierung der Decke kann in Hitzeperioden als hoch effektives und energiesparendes Kühlsystem eingesetzt werden. Voraussetzung für das verlässliche Funktionieren dieses Systems ist allerdings, dass die Innenwärmen durch solare Einstrahlung mittels gezielt gesetzter Verschattungsmaßnahmen in ihrem zeitlichen Verlauf gedämpft und nach oben hin begrenzt werden. In diesem Zusammenhang soll hier nochmals darauf hingewiesen werden, dass das Potential der Kühlmöglichkeit mittels TBA insofern von besonderer Bedeutung ist, als aufgrund des derzeit ablaufenden Klimawandels die Kühlung auch für Wohnhäuser immer mehr an Bedeutung gewinnt. Es ist davon auszugehen, dass die derzeit noch vertretene These, wonach Wohngebäude nicht gekühlt werden müssen, bereits in naher Zukunft nicht mehr aufrechterhalten werden kann. Unter diesem Aspekt ist die TBA in die Gruppe zukunftsgerechter Planungsmaßnahmen einzuordnen.

Energie- versorgung

Bis vor wenigen Jahren waren die Investitionskosten und in wenigen Ausnahmefällen zusätzlich noch die Betriebskosten ausschlaggebend für die Wahl der Energieversorgung.

Im Windschatten des gesellschaftlichen Wertewandels hält ganzheitliches Denken und Bewerten neben den immer noch schwergewichtigen ökonomischen Rahmenbedingungen schrittweise Einzug in die Entscheidungsfindung. Schlagworte wie Ökologie der Brennstoffe, Primärenergiebedarf oder Emissionen gewinnen entsprechend der steigenden Wertschätzung an Einfluss.

Entwicklung eines Energiekonzepts

Bei der Entwicklung von energieoptimierten Gebäuden spielt der effiziente Einsatz von erneuerbaren Energien zunehmend eine wesentliche Rolle. Neben der häufig umgesetzten Nutzung von Sonnenenergie vor Ort durch Photovoltaik oder Solarthermie existieren zahlreiche alternative Möglichkeiten wie beispielsweise der Bezug elektrischen Stroms von Sonnen- oder Windenergie über das öffentliche Netz. Hier wird die andernorts erzeugte Umweltenergie nicht direkt vor Ort, sondern netzseitig nutzbar gemacht. Welches Energieversorgungssystem letztendlich für ein Bauvorhaben am besten geeignet ist, hängt von verschiedenen Faktoren ab. So wird die Entscheidung für oder gegen ein Energiekonzept unter anderem wesentlich durch die Anforderungen der zukünftigen Bewohner definiert. Kann beispielsweise die durch die Nutzer geforderte Begrenzung der sommerlichen Temperaturen durch bauliche Maßnahmen alleine, wie Verschattung oder Nachtlüftung, nicht sichergestellt werden, so bietet die Kombination von Wärmepumpen und Bauteilaktivierung die Möglichkeit zur Kühlung von Gebäuden. Dies kann entweder durch den Betrieb der Wärmepumpe im Kühlmodus mit aktivem Kompressor erfolgen oder unter bestimmten Voraussetzungen auch passiv mittels Free-Cooling, d. h. ohne den energieintensiven Kompressorbetrieb. Ein durchdachtes Konzept für die Kühlung kann den erforderlichen Strombedarf mit Umweltenergien abdecken und führt somit zu keinen erhöhten CO₂-Emissionen.

**Nutzungsanforderungen
beeinflussen die Entwicklung
des Energiekonzepts**

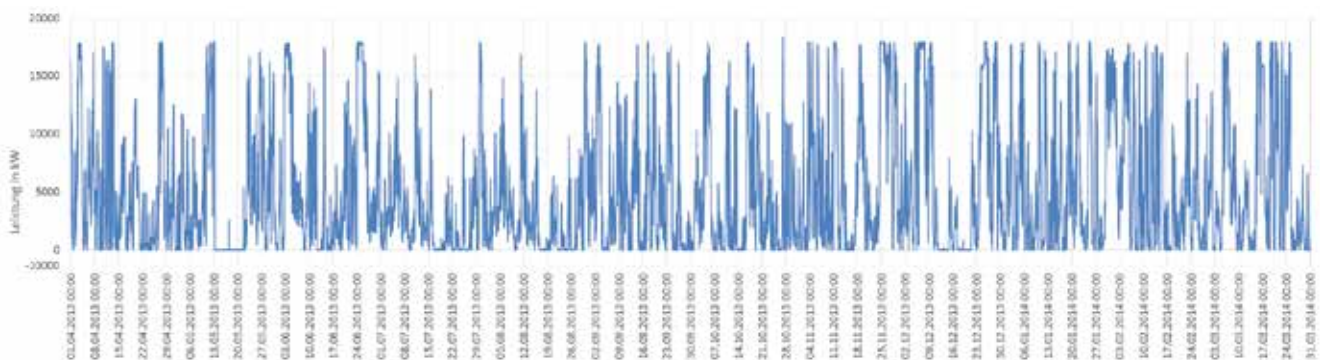


Abb. 11 | Energieernte aus Windkraft. Leistungsverlauf über den Zeitraum eines Jahres. (Datenquelle: [WEB15])



Abb. 12 | Beispiele des Einsatzes von Photovoltaik-Modulen zur Stromgewinnung.
Griffen © Energetica Industries GmbH; Dünnschicht Module © Prefa

Analyse des Gebäudestandortes notwendig

Auf Basis einer Analyse des Gebäudestandorts und des dort vorherrschenden Klimas lassen sich die Möglichkeiten zur Umweltenergienutzung eingrenzen. An Standorten mit geringer solarer Einstrahlung wird beispielsweise die Effektivität von Solarthermie und Photovoltaik begrenzt sein, während die Nutzung von netzseitig erzeugter Windenergie eventuell eine sinnvolle Alternative darstellt. Kann solar erzeugte Wärme oder solar erzeugter Strom ganzjährig zur Deckung des Verbrauchs eingesetzt werden oder besteht die Möglichkeit, diese Energie in ein Netz energetisch und wirtschaftlich sinnvoll einzuspeisen, können mit solarthermischen und photovoltaischen Systemen optimale Ergebnisse erzielt werden.

Bei photovoltaischen Systemen sollte die Umwandlung des erzeugten Stroms in Wärme jedenfalls über eine Wärmepumpe erfolgen. Zu bedenken ist allerdings, dass in den Monaten November und Dezember in der Regel kaum ausreichende Erträge seitens des Energielieferanten Sonne zur Deckung des gesamten Wärmebedarfs zu erwarten sind.

Ist die Fernwärmenutzung für TBA sinnvoll?

Als ökologisch und ökonomisch sinnvoll kann sich auch ein Anschluss an das örtliche Fernwärmenetz erweisen. Da aktivierte Bauteile lediglich ein sehr niedriges Temperaturniveau benötigen, um ein Gebäude mit ausreichend Wärme versorgen zu können, und Fernwärmenetze mit relativ hohen Temperaturen betrieben werden, ist die Temperatur der Fernwärme an einer geeigneten Stelle im System herunterzumischen. Die Kühlung von Gebäuden ist mit diesem System ohne zusätzliche Komponenten nicht möglich.



Abb. 13 | oben und rechts
 Solarthermische Anlage auf der
 Kletterhalle Saalfelden und auf
 dem Bürogebäude Hörfarter.
 © Z + B/Wild & Team; © Wolfgang
 Hörfarter/Hans Osterauer

Nutzung der Umweltenergie generiert eine Vielfalt von Betriebszuständen

Die nachfolgenden Abbildungen 14 | 1 – 6 (© Simon Handler) zeigen beispielhaft verschiedene Betriebszustände, die bei der Bewirtschaftung des Energiespeichers Beton auftreten können.

Abb. 14 | 1 Beladung des Speichers mit Wärme aus Umweltenergien

Aus verschiedenen Energiequellen erzeugte Wärme kann innerhalb des Gebäudes gespeichert werden.

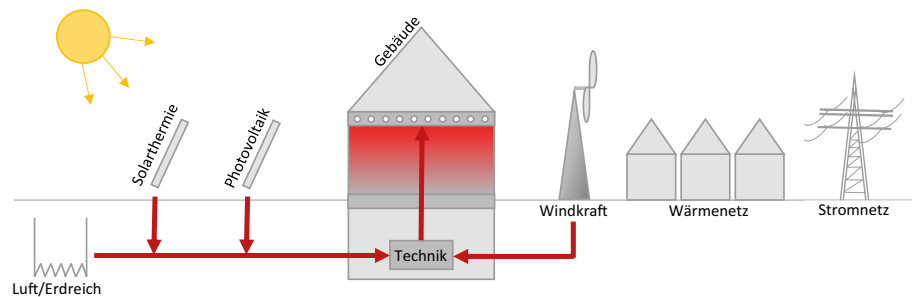


Abb. 14 | 2 Deckung der Wärmeverluste durch gespeicherte Energie (keine Umweltenergie nutzbar)

Ist keine externe Wärmequelle verfügbar, wird die eingelagerte Wärme zur Deckung von Wärmeverlusten des Gebäudes genutzt.

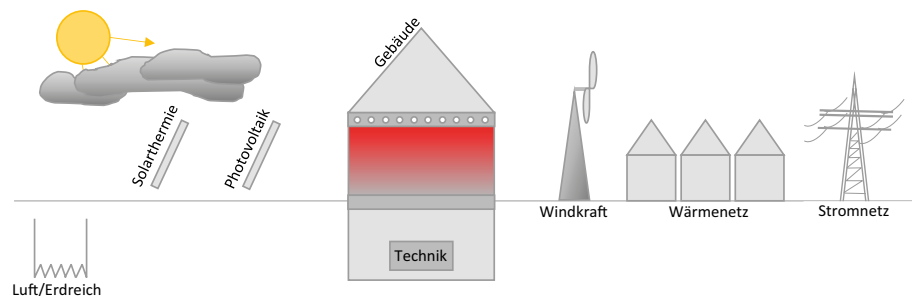
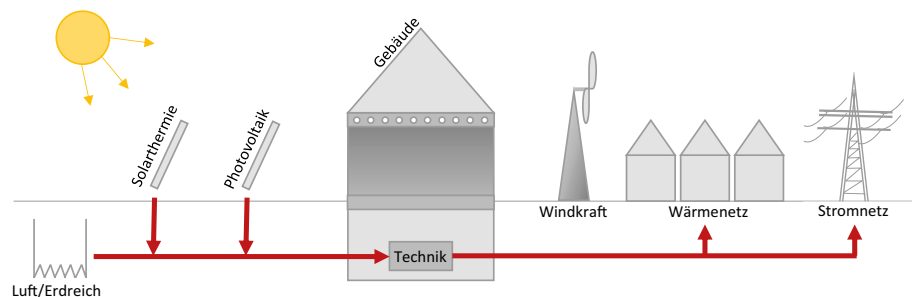


Abb. 14 | 3 Einspeisung von vor Ort erzeugter Energie in öffentliche Netze (Speicher vollständig beladen)

Besteht kein Wärmebedarf oder keine Möglichkeit zur weiteren Speicherung von Wärme innerhalb des Gebäudes, kann die erzeugte Energie in (öffentliche) Netze eingespeist werden.



Das System der Thermischen Bauteilaktivierung eröffnet in jedem Fall neue Möglichkeiten zur Steigerung der Effizienz von Gebäuden bei gleichzeitiger Sicherstellung höchster Ansprüche an die Behaglichkeit in den Räumen. Erreicht wird dies durch die Nutzung der Speichermasse des Gebäudes.

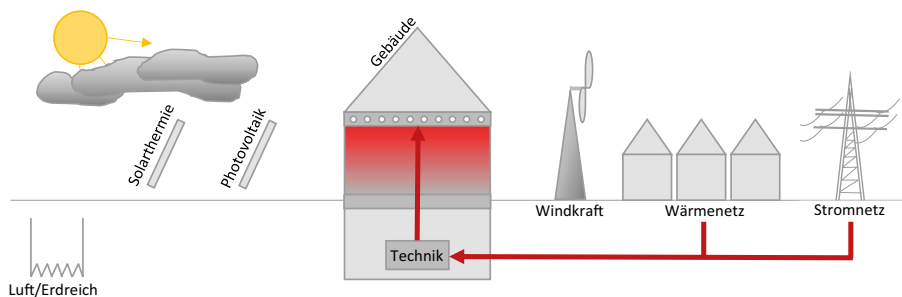


Abb. 14 | 4

Bezug von Energie aus öffentlichen Netzen (keine Umweltenergie nutzbar)

Ist der Wärmespeicher „Gebäude“ erschöpft und steht keine Umweltenergie zur Verfügung, wird das Gebäude bis zur erneuten Möglichkeit der „Versorgung aus Umweltenergie“ mit Wärme bzw. elektrischer Energie aus den vorhandenen Netzen versorgt.

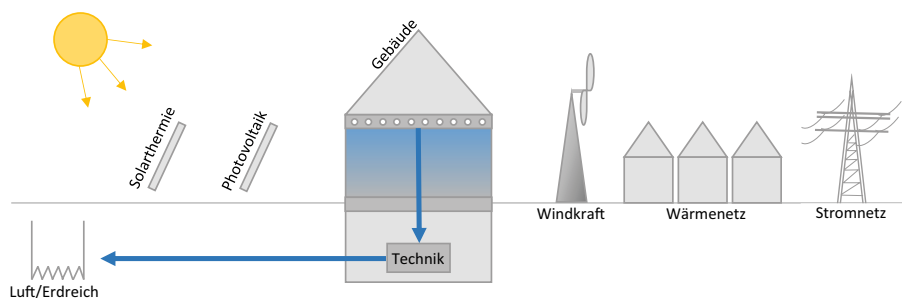


Abb. 14 | 5

Passive Kühlung (Betrieb einer Umwälzpumpe)

Der Energiebedarf für den Antrieb der Umwälzpumpe für den Free-Cooling-Betrieb ist minimal.

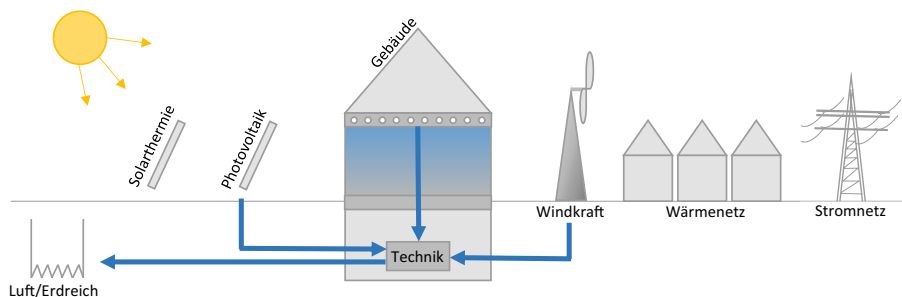


Abb. 14 | 6

Nutzung von Umweltenergien zur aktiven Kühlung über eine reversibel arbeitende Wärmepumpe

Die Antriebsenergie für die Wärmepumpe stammt zum überwiegenden Teil aus erneuerbaren Energiequellen (PV-Anlage, Windstrom).

Das Gebäude als Energiespeicher

Gebäudestruktur als Wärmespeicher steigert das Potential zur Nutzung von Umweltenergien

Das Vorkommen von Umweltenergien wie Sonne und Wind deckt sich zeitlich oftmals nicht mit dem Energiebedarf von Menschen bzw. Gebäuden. Aus diesem Grund wird in der Regel nur ein relativ geringer Anteil des Potentials von Umweltenergie ausgeschöpft. Erst durch die Speicherung dieser Energie lässt sich ein erheblicher Anteil der zur Verfügung stehenden Sonnen- oder Windenergie nutzen. Die massiven Bauteile der tragenden Gebäudestruktur stellen ein geeignetes und kostengünstiges Speichermedium für Wärme aus Umweltenergien dar und ermöglichen die Realisierung hoher Deckungsgrade.

Wärmespeicher Gebäude glättet Netzspitzen der Energieversorgung

Die Speichermasse der Betonbauteile lässt sich auf vielfältige Art und Weise nutzen. Bei der solarthermischen Bauteilaktivierung oder bei der Kombination von Photovoltaik/Wärmepumpe/Bauteilaktivierung besteht das Ziel darin, möglichst viel der vor Ort nutzbar gemachten Sonnenenergie innerhalb des Gebäudes zu speichern, um längere Zeiten ohne solare Energiegewinne überbrücken zu können. Bei der Nutzung von Windenergie aus dem öffentlichen Netz ist es möglich, Engpässe im öffentlichen Stromnetz zu überbrücken oder Strom ausschließlich zu jenen Zeiten zu beziehen, zu denen ein hoher Anteil an Umweltenergien (z. B. Windenergie) im Netz zur Verfügung steht. Die Masse des Gebäudes wird als lastausgleichender Speicher für das öffentliche Stromnetz eingesetzt.

Regelung der Bauteil- und Raumtemperaturen als Schlüssel zum Erfolg

Unabhängig von der Art der Energiebereitstellung muss bei der Planung von Gebäuden mit thermischer Bauteilaktivierung für die Nutzung der Speichermasse ein naheliegender, aber dennoch oft außer Acht gelassener Punkt berücksichtigt werden. Die Wärmespeicherfähigkeit von Gebäuden ist neben der verbauten Masse und der Speicherkapazität der eingesetzten Materialien insbesondere von der Regelung der Bauteil- bzw. Raumtemperaturen abhängig. Plakativ lässt sich der Zusammenhang zwischen Energiespeicherung und Temperaturhub anhand eines thermischen Pufferspeichers erklären. Durch die Speicherung von Energie in dem Puffer steigt die Temperatur des Wassers an. Je höher die Speichertemperatur über der Ausgangstemperatur liegt, desto mehr Energie ist in dem Puffer zwischengespeichert. Selbiges lässt sich auch bei der Nutzung der Masse von Gebäuden als Wärmespeicher beobachten. Bei der Thermischen Bauteilaktivierung wird die Temperatur im Gebäude bewusst durch Speicherung von Energie angehoben. Die dadurch zwischengespeicherte Energie steht in weiterer Folge zur Abdeckung der Wärmeverluste des Gebäudes zur Verfügung. Die Speichermasse eines Gebäudes kann nur genutzt werden, wenn Temperaturschwankungen in einem gewissen Rahmen zugelassen werden. Aufgrund der Anforderungen an den thermischen Komfort in den Räumen sind diese Temperaturschwankungen allerdings verhältnismäßig gering und verlaufen wegen der hohen Wärmespeicherkapazität von massiven Bauteilen langsam und stetig. Das Temperaturband für die energetische Bewirtschaftung des Speichers muss im Zuge der Planung mit den

Bauherren festgelegt werden. Je breiter das Temperaturband gewählt wird, desto mehr Energie lässt sich innerhalb des Gebäudes speichern. Als Obergrenze für die Kerntemperatur des Speichers hat sich der Wert von 25 °C, maximal 26 °C als praxisgerecht erwiesen.

Das Grundprinzip zur Speicherung von Energie in Form von Wärme in der Gebäudestruktur ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

**Einfache Regelungsstrategie
für Thermische Bauteil-
aktivierung (TBA)**

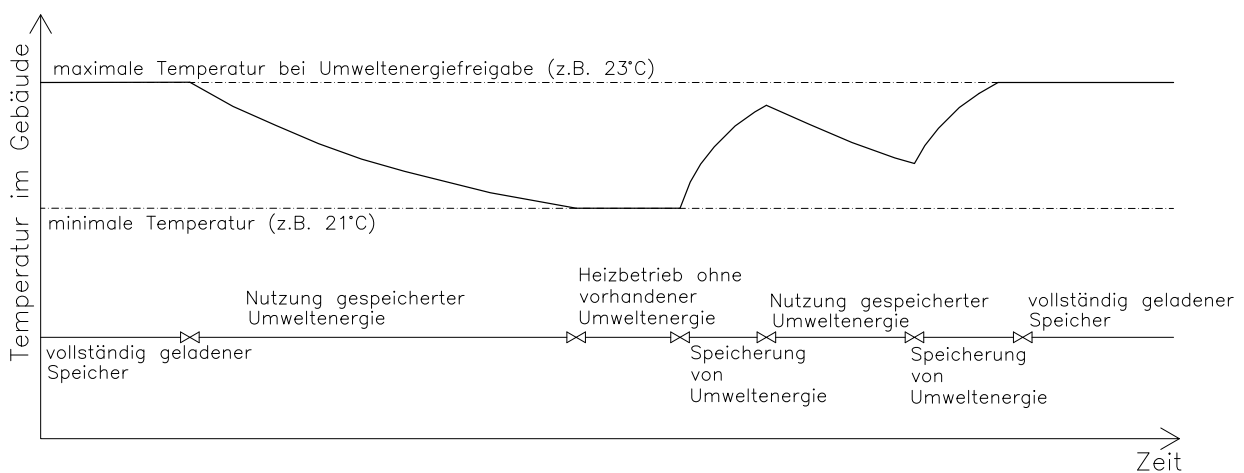


Abb. 15 | Grundprinzip der Regelstrategie zur Speicherung von thermischer Energie aus Umweltenergien innerhalb der Gebäudestruktur. © Simon Handler

Die Regelung der Temperatur im Gebäude und des Beladungszustands der Bauteile ist auf verschiedene Arten möglich. In der Praxis haben sich die Raumtemperatur und die Temperatur des Betonkerns als wesentlichste Größe zur Überwachung des Beladezustands herausgestellt. Mit einem miteinbetonierten Fühler wird die Kerntemperatur gemessen und an die Gebäuderegulation weitergegeben. Die maximal zulässige Kerntemperatur begrenzt die Beladung des Speichers. Neben der Kerntemperatur wird die Temperatur im Raum gemessen und an die Gebäuderegulation übertragen. Hier wird der Sollwert der minimalen Temperatur festgelegt.

Durch eine Zonierung der TBA können durch Einstellungen in den Verteilern geringfügig unterschiedliche Raumtemperaturen angeboten werden.

Fällt die Temperatur im Gebäude in einem Ausnahmefall unter die definierte Solltemperatur, muss dem Gebäude, auch wenn keine Umweltenergie vorhanden ist, Wärme zugeführt werden (z. B. Strom aus dem öffentlichen Netz für den Betrieb einer Wärmepumpe oder für den kurzzeitigen Einsatz eines Heizstabes).

Eine Erfassung der Außenlufttemperatur, wie dies bei einer außenlufttemperaturgeführten Vorlauftemperaturregelung der Fall ist, ist nicht notwendig.

Bauteilaktivierung als Wärmeabgabe- bzw. Wärmeentzugssystem

Effizienter Betrieb von Wärmepumpen und Solarkollektoren

Neben den bauphysikalischen Aspekten bei der Nutzung von Bauteilen als Wärmeabgabe- bzw. Wärmeentzugssystem, welche in den Kapiteln „Fakten“, „Voraussetzungen“ und „Planungsgrundlagen“ behandelt werden, ergeben sich auch auf Seiten der technischen Anlagen erhebliche Vorteile durch die Anwendung der Bauteilaktivierung.

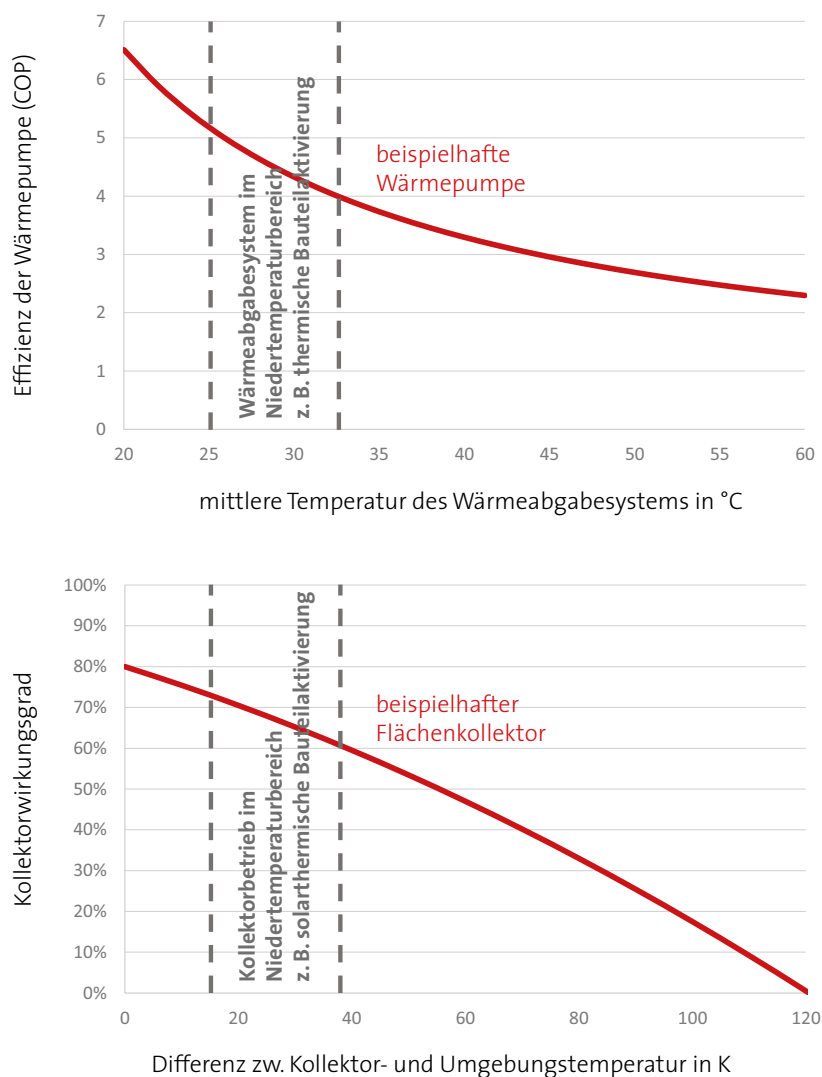


Abb. 16 | Abhängigkeit der Effizienz von Wärmepumpen und Solarkollektoren in Abhängigkeit der Systemtemperaturen. © Simon Handler

Durch die Nutzung der Speichermasse des Wärmeabgabesystems lässt sich der Betrieb von Wärmeerzeugern wie z. B. Wärmepumpen äußerst effizient gestalten. Einerseits ergeben sich tiefe Rücklauftemperaturen zur Wärmepumpe, wodurch der Wirkungsgrad sehr hoch ausfällt, andererseits kann auch bei nicht modulierenden Wärmeerzeugern (d. h. ohne Leistungsanpassung an den momentanen Bedarf oder an das momentane Energiedargebot) zu häufiges Takten (das Ein-/Ausschalten) effektiv verhindert werden. Dies führt insbesondere bei Wärmepumpen, neben einer Reduktion der Anfahrverluste auch zu einer erhöhten Lebensdauer der Geräte.

Aufgrund der nahe an der Raumtemperatur gelegenen Systemtemperatur steigt neben der Effizienz von Wärmepumpen auch jene von Solarkollektoren stark an. Der Zusammenhang zwischen der Systemtemperatur und dem COP einer beispielhaften Wärmepumpe sowie dem Wirkungsgrad eines Solarkollektors ist in Abbildung 16 dargestellt.

Neben einer verbesserten Anlageneffizienz ergeben sich auch Vorteile auf Seiten der Investitionskosten. Durch die große Speichermasse und die tiefen Systemtemperaturen kann häufig mit kleineren Wärmeerzeugern das Auslangen gefunden werden. Durch die größeren Verlegeabstände im Vergleich zur Ausführung einer Fußbodenheizung reduzieren sich außerdem die benötigten Rohrlängen und in weiterer Folge auch die Baukosten. Bei geringeren Leitungslängen sinken die Druckverluste und somit der Pumpenstrombedarf. Während die Einteilung der Heizkreise bei Ausführung einer Fußbodenheizung im Estrich durch die Raumgrenzen fest vorgegeben ist, kann bei der Aktivierung von Deckenflächen gegebenenfalls auf die exakte Raumzuordnung verzichtet werden. Dies erleichtert einerseits die Verlegung der Rohrleitungen, und führt andererseits zu Heizkreisen gleicher oder zumindest sehr ähnlicher Länge, wodurch der hydraulische Abgleich der Anlage erleichtert und die Druckverluste weiter reduziert werden.

**Wirtschaftliche Vorteile
bei den Investitions-
und Betriebskosten**



Abb. 17 | Verlegte Heizkreise in der Decke eines Einfamilienhauses in Niederösterreich.

© Thomas Schönichler/CL

Aktive und passive Kühlung

**Intelligentes
Gebäudekonzept optimiert
die Effizienz im Kühlfall**

Aktive Kühlung

Aktive Kühlung bezeichnet die Kühlung von Gebäuden mithilfe von Kältemaschinen bzw. reversibel arbeitenden Wärmepumpen. Die grundsätzliche Funktionsweise der Wärmepumpe ist gleich wie bei deren Betrieb zu Heizzwecken. Mittels eines elektrischen Verdichters wird das Temperaturniveau im Kältekreis verändert. Im Gegensatz zum Heizbetrieb wird im Kühlfall durch die Umkehrung des Kreislaufs den Bauteilen bzw. dem Gebäude Wärme entzogen und diese an eine Wärmesenke abgegeben. In den meisten Fällen wird eine reversibel arbeitende Wärmepumpe bzw. eine Kältemaschine als Luft-Wasser-System betrieben. Die Wärme aus dem Gebäude wird bei dieser Lösung über die Wärmepumpe an die Außenluft abgegeben. Neben der Luft kann aber gegebenenfalls auch das Erdreich oder das Grundwasser als Wärmesenke zur aktiven Kühlung genutzt werden.

Argumente **für** eine aktive Kühlung:

- > Bei entsprechender Auslegung des Systems können über längere Zeiträume hohe Wärmeleistungen an die Außenluft abgegeben werden.
- > Bei der Nutzung der Außenluft als Wärmesenke ist keine ausgeglichene Bilanz zwischen Wärmeentnahme und Wärmeeintrag notwendig.

Argumente **gegen** eine aktive Kühlung:

- > Einen wesentlichen Nachteil von Luft-Wasser-Wärmepumpen stellt der oftmals relativ hohe Schallleistungspegel der Außeneinheiten dar. Hier kann es zu Lärmbelästigungen für die Nutzer sowie die umliegenden Nachbarn kommen.
- > Der Betrieb des mit Strom angetriebenen Verdichters führt zu einem erhöhten Energieverbrauch. Es ist daher wesentlich, den Kühlbedarf durch bautechnische Maßnahmen bestmöglich zu begrenzen.

Passive Kühlung / Free-Cooling

Bei der passiven Kühlung wird die niedrige Temperatur einer geeigneten Wärmesenke direkt zum Kühlen der Bauteile genutzt. Der Betrieb eines Verdichters ist nicht notwendig. Da die Außenluft in der Regel bei Wohnungsnutzung und gegebenem Kühlbedarf aufgrund zu hoher Temperaturen nicht für den Free-Cooling-Betrieb geeignet ist, müssen alternative Wärmesenken mit einem niedrigen Temperaturniveau erschlossen werden. Für diesen Zweck kommen der Erdkörper, Grundwasser, Flusswasser etc. in Frage. In jedem Fall ist die Genehmigungssituation der Nutzung dieser Wärmesenken zu überprüfen.

Argumente **für** eine passive Kühlung:

- > Da keine reversible Wärmepumpe bzw. Kältemaschine betrieben wird, sondern lediglich Umwälzpumpen benötigt werden, ist der Strombedarf bei der passiven Kühlung äußerst gering.
- > Bei der Nutzung von Grundwasser können bei ausreichender Strömung und entsprechend geringem Temperaturniveau auch über längere Zeiträume hohe Leistungen abgeführt werden.
- > Flachkollektoren (Erdkollektoren) stellen eine sehr einfache und wirtschaftliche Lösung dar.

Argumente **gegen** eine passive Kühlung:

- > Im Fall passiver Kühlung über das Erdreich ist zu beachten, dass sich das Erdreich durch die eingetragene Wärme aus dem Gebäude erwärmt. Bei länger andauerndem Kühlbetrieb kann die Temperatur im Erdreich über ein für Free-Cooling nutzbares Niveau ansteigen. Achtung: Die Leistungsfähigkeit der passiven Kühlung über das Erdreich sinkt bei länger andauerndem alleinigen Kühlbetrieb.
- > Um die volle Leistungsfähigkeit des Erdreichs als Wärmesenke über viele Jahre sicherstellen zu können, muss auf eine ausgeglichene Bilanz zwischen Wärmeeintrag und Wärmeentzug geachtet werden. Es ist daher sinnvoll, die Wärmesenke im Winter als Wärmequelle für die Beheizung des Gebäudes über eine Wärmepumpe zu nutzen.
- > Die Investitionskosten für die Erschließung geeigneter Wärmesenken liegen in der Regel höher als bei der Abfuhr der Wärme an die Außenluft.

Systemvarianten

Variationsmöglichkeiten zur Optimierung der TBA

Die Möglichkeiten, den Energiespeicher Beton sinnvoll in ein Gebäudekonzept einzubinden, sind äußerst umfangreich. Durch ihre außergewöhnlichen Eigenschaften eröffnet die Bauteilaktivierung neue Möglichkeiten, unterschiedliche Systeme zu kombinieren. Um die Speichermasse des Gebäudes zur Verbesserung der Energieeffizienz nutzen zu können, ist ein optimiertes Zusammenspiel von der Wärmeerzeugung über die Regelung bis hin zum Gebäude selbst erforderlich. Die Berücksichtigung der Zusammenhänge zwischen Bautechnik und Haustechnik stellt bei der Planung und der Ausführung eine der wesentlichen Herausforderungen dar.

Die Grundprinzipien, die bei der Wahl der verschiedenen Systemkomponenten zu beachten sind, um eine optimale Abstimmung des Gesamtsystems zu erreichen, werden in den Abbildungen 14|1 – 14|6 erläutert.

Drei unterschiedliche Systeme zeigen die Variantenvielfalt der TBA

Nachfolgend werden drei unterschiedliche Systemvarianten herausgegriffen. Die Funktionsweise und die sich dadurch ergebenden Eigenschaften des Systems werden beschrieben und die zu beachtenden Planungsgrundsätze erläutert.

Variante 1 | Energieversorgung über Solarthermie

Variante 2 | Energieversorgung mittels Photovoltaik und Wärmepumpe

Variante 3 | Energieversorgung mittels Windenergie und Wärmepumpe

Aktive und passive Belade- und Entladevorgänge

Energiespeicher auf Wasserbasis (z. B. Pufferspeicher) werden zur aktiven Speicherung von Wärme genutzt. Die Entladung des Speichers erfolgt durch aktive Eingriffe von außen. Entsteht ein Wärmebedarf im Raum, wird aktiv mithilfe von Pumpen Wärme aus dem Speicher entnommen.

Wie bei der überwiegenden Anzahl von anderen Speichern erfolgt die Beladung im Fall der Thermischen Bauteilaktivierung ebenfalls aktiv (mit Pumpen). Steht beispielsweise Umweltenergie zur Verfügung, wird aktiv (mittels Durchleiten eines Wärmeträgers) Wärme in die Betonbauteile eingeleitet und dort gespeichert. Die eingelagerte Wärme steht dem Gebäude an den darauffolgenden Tagen zur Verfügung. Der Entladevorgang des Speichers erfolgt bei der TBA – im Gegensatz zu Speichern auf Wasserbasis – passiv. Werden Bauteile aus Beton für die Kühlung von Räumen herangezogen, kehren sich diese Vorgänge um. Die Entladung der aufgewärmten Bauteile erfolgt aktiv, d. h., die Wärme wird über einen Wärmeträger mithilfe von Pumpen abgeleitet. Die Beladung der „gekühlten“ Bauteile erfolgt jedoch passiv durch Wärmeentzug aus dem Raum.

Variante 1 | Energieversorgung über Solarthermie



Abb. 18 | Beispiel zur Systemvariante 1 – Energieversorgung über Solarthermie, Gemeindezentrum Hallwang. © Adrian Kuster, Millstatt

Neben der Kollektorfläche, der Anlagenhydraulik und -regelung sowie den Wärmeabgabesystemen hängt die durch den Einsatz von Solarthermie erreichbare Energieeinsparung stark von der Art des zur Verfügung stehenden Wärmespeichers ab. Bei der TBA stellen die massiven Bauteile der tragenden Gebäudestruktur ein geeignetes und kostengünstiges Speichermedium für Wärme dar.

Das Funktionsprinzip der solarthermischen Bauteilaktivierung ist einfach zu erklären. Bei solarem Strahlungsangebot wird die von den Kollektoren abgegebene Wärme über das eingebaute Rohrregister in die aktivierten Bauteile eingespeichert, wodurch die Temperatur nicht nur in diesen Bauteilen, sondern in Folge in der gesamten Gebäudestruktur ansteigt. Sinkt die Temperatur im Raum unter die Temperatur der Umschließungsflächen ab, wird die in den Bauteilen gespeicherte Wärme in den Raum abgegeben.

Die Obergrenze und die Untergrenze der Temperatur des Wärmespeichers werden weitestgehend durch das Komfortempfinden der Nutzer bestimmt. Für die Beladung der aktivierten Bauteile kristallisiert sich eine maximale Kerntemperatur von 25 °C heraus. Die sich einstellende Raumtemperatur liegt etwa 1 °C bis 1,5 °C tiefer. Die Untergrenze der Raumtemperatur kann beispielsweise mit 20 °C gewählt werden. Die Raumtemperatur bewegt sich in der Bandbreite von 4 K, das entspricht in idealer Weise dem Behaglichkeitsempfinden des Menschen. Wegen der Gefahr der Kondensatbildung an der Oberfläche darf die Temperatur des Wärmespeichers im Kühlfall ohnehin nicht unter 19 °C sinken. Die in ein Gebäude einlagerbare Energiemenge wird von der „nutzbaren“ Gebäudemasse, das sind im Wesentlichen die nicht durch Dämmungen abgetrennten massiven Bauteile, und der zulässigen Temperaturspreizung des Wärmespeichers bestimmt.

Je niedriger die Wärmeverluste des Gebäudes sind, umso länger ist der überbrückbare Zeitraum bis zum nächsten Beladevorgang des Speichers. Bei Gebäuden mit einer hochwertigen Gebäudehülle und einer wirksamen Wärmerückgewinnung sind in der Regel Zeiträume von einer Woche ohne Komfortverlust überbrückbar.

Hoher Wirkungsgrad der Solarkollektoren durch niedere Systemtemperaturen

Wie bereits im Kapitel „Fakten“ ausgeführt, spielen niedrige Systemtemperaturen für die Effizienz von solarthermischen Anlagen eine wesentliche Rolle. Je geringer die Temperatur des Wärmeträgermediums im Solarkreis ist, desto höher ist der Wirkungsgrad des Solarkollektors. Aus diesem Grund wird bei der Wärmeversorgung über Solarthermie ein High-Flow-System mit besonders hohem Volumenstrom im Kollektorkreis gewählt. Die Wärme wird möglichst ohne Zwischenspeicherung an die Bauteile abgegeben. Durch das High-Flow-Konzept wird sichergestellt, dass die Vorlauftemperaturen der Bauteilaktivierung nicht zu stark ansteigen und die Beladung der Bauteile auch bei hohen Solarerträgen möglich ist. Kurzfristig kann die Temperatur des Wärmeträgers auf bis zu 45 °C angehoben werden, der Betonspeicher darf aber nicht über die zuvor angesprochene Kerntemperatur beladen werden. Der Beladevorgang des Betonspeichers wird über einbetonierte Fühler durch die Anlagensteuerung beendet. Im Zuge der Anlagenkonzeption ist zu beachten, dass es durch die hohen Volumenströme nicht zu einer Zerstörung der Temperaturschichtung im Pufferspeicher kommt.

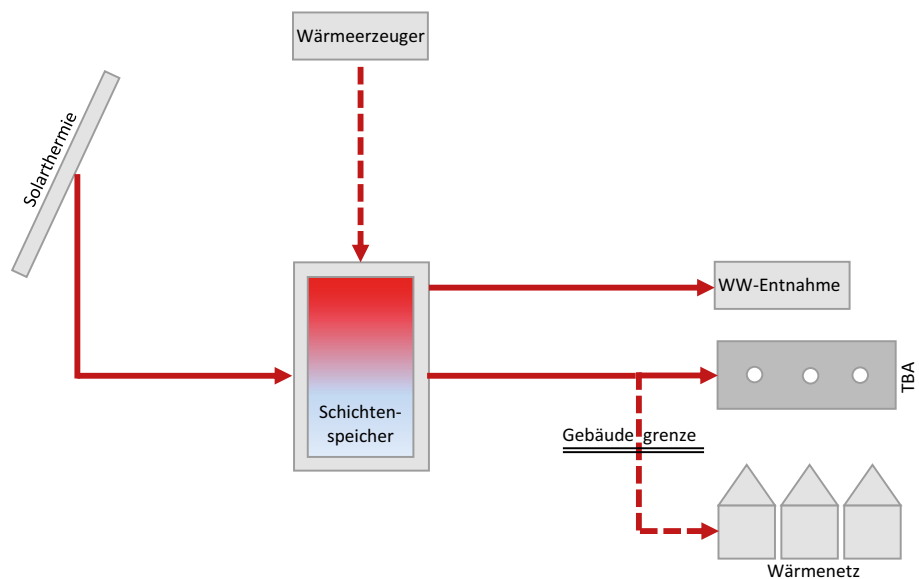


Abb. 19 | Prinzipskizze zur Systemvariante 1 – Energieversorgung über Solarthermie.

© Simon Handler

Dieses Anlagenkonzept ist darauf ausgerichtet, einen möglichst großen Anteil des Wärmebedarfs für die Raumheizung abzudecken. In den Wintermonaten wird solarthermische Energie daher nur dann für die Warmwasserbereitung herangezogen, wenn die Bauteile bereits voll beladen sind. Um einen möglichst hohen Solarertrag innerhalb der Heizperiode zu erzielen, werden die eingesetzten Kollektoren relativ steil aufgestellt. Da die Sonne in den Wintermonaten tief steht, können mit Anstellwinkeln zwischen 70° und 90° zu diesen Zeiten hohe Erträge erwirtschaftet werden. Zudem wird dadurch in den Wintermonaten das Abrutschen von Schnee sichergestellt. Als Nebeneffekt sinkt durch die steile Aufstellung der Wärmeertrag in den Sommermonaten. Da solarthermische Wärme zu dieser Jahreszeit im Normalfall nur für die Warmwasserversorgung verwendet wird, ist der Bedarf vergleichsweise gering und kann trotz steiler Aufstellung abgedeckt werden.

Raumheizung hat Vorrang

Da bei dieser Variante große Kollektorflächen eingesetzt werden, wird in der Regel in den Übergangszeiten und im Sommer mehr Wärme produziert, als für die Bereitstellung des Warmwassers benötigt wird. Aus diesem Grund bietet sich die Einbindung in lokale Wärmenetze an. Überschüssige Wärme kann in diesem Fall gewinnbringend an umliegende Wärmeverbraucher abgegeben werden.

**Wärmeüberschuss
im Sommer sinnvoll
anderweitig verwerten**

In Abbildung 19 ist eine Prinzipskizze mit den wesentlichen Systembestandteilen der Wärmebereitstellung für die Kombination Solarthermie und Bauteilaktivierung dargestellt. Es hat sich gezeigt, dass der Einsatz von Flachkollektoren aus wirtschaftlicher und technischer Sicht zielführend ist. Wesentlich bei der Auslegung des Solarkreises ist die Dimensionierung des Wärmetauschers zwischen dem mit Glykol gefüllten Primärkreis der Solaranlage und der übrigen Anlage. Grundsätzlich ist die Wahl eines externen Wärmetauschers zu empfehlen. Um die Temperatur im Primärkreis niedrig und somit den Wirkungsgrad der Kollektoren hochzuhalten, ist auf eine großzügig dimensionierte Wärmeübertragungsfläche zu achten.

**Wärmetauscher mit großer
Wärmeübertragungsfläche**

Obwohl unter bestimmten Voraussetzungen ein solarer Deckungsgrad von bis zu 100% erreicht werden kann, ist es in der Regel notwendig, einen zusätzlichen Wärmeerzeuger vorzusehen. Dies gilt insbesondere für den Wohnbau, wo neben der Raumheizung auch Wärme für die Bereitstellung des Warmwassers benötigt wird. Je nach Wärmebedarf können unterschiedlichste Erzeuger zum Einsatz kommen. Aus energetischer Sicht lassen sich mit Wärmepumpen oder Biomassekesseln die besten Ergebnisse erzielen. Im einfachsten Fall kann ein im Puffer platzierter E-Heizstab bereits ausreichen. Der Bezug von Wärme aus einem lokalen Wärmenetz (Nachbar etc.) stellt ebenfalls eine sinnvolle Alternative dar. Die Dimensionierung der Anlage erfolgt im Zuge der Projektierung auf Grundlage

**Wirtschaftlich und
energetisch sinnvolles
Gesamtsystem wählen**

von ökologischen, aber auch ökonomischen Gesichtspunkten. In Absprache mit dem Bauherrn muss festgelegt werden, ob der technisch höchstmögliche Deckungsgrad erreicht werden soll, oder ob ein möglichst wirtschaftliches Gesamtsystem angestrebt wird.

Mit der Systemvariante Solarthermie und Bauteilaktivierung können hohe solare Deckungsgrade bei vergleichsweise geringen Investitionskosten erreicht werden. Die Möglichkeit der Kühlung eines Gebäudes über die Bauteilaktivierung ist allerdings ohne zusätzliche Systemkomponenten nicht möglich. Aus diesem Grund ist es bei diesem Gebäudekonzept besonders wichtig, die sommerliche Überwärmung mittels bautechnischer Maßnahmen zu verhindern. Sind bauliche Maßnahmen allein nicht ausreichend, sind Brunnenanlagen, Erdsonden oder Bodenkollektoren einfach realisierbare Energiesenken für die TBA.

Bei Variante 1 sind für die Kühlung des Gebäudes zusätzliche Komponenten notwendig! >>

Unbedingt Standortanalyse durchführen

Ob das Konzept der Energieversorgung der TBA mittels Solarthermie für ein konkretes Projekt in Frage kommt, muss im Zuge der Entwurfsphase anhand einer Analyse der meteorologischen und topografischen Randbedingungen sowie der geplanten Nutzung des Gebäudes festgestellt werden. Es ist insbesondere darauf zu achten, dass die steil aufgeständerten Kollektoren nicht durch die Umgebungsbebauung oder natürliche Hindernisse verschattet werden. Aus diesem Grund wird die Kombination Solarthermie und Bauteilaktivierung im städtischen Bereich selten in Frage kommen. Während bei der Installation von Kollektoren auf Flachdächern darauf geachtet werden muss, dass es nicht zu einer Eigenverschattung hintereinander platzierter Kollektorreihen kommt, ist bei fassadenintegrierten oder auf Steildächern montierten Kollektoren auf die Ausrichtung des gesamten Gebäudes zu achten. Das gewählte Konzept beeinflusst somit bereits den ersten architektonischen Entwurf und muss dementsprechend früh in der Planungsphase festgelegt werden.

Für & Wider – Variante 1 | Energieversorgung über Solarthermie:

- + Nutzung von Sonnenenergie vor Ort
- + hohe Deckungsgrade trotz geringem Pufferspeichervolumen
- + hohe Deckungsgrade bei vergleichsweise niedrigen Investitionskosten
- + einfache und robuste Technologie
- + größtmögliche Unabhängigkeit von Energieversorgern erreichbar
- + geringste CO₂-Emissionen erreichbar
- Meteorologie und Topologie der Umgebung beeinflussen den Deckungsgrad
- Energieertrag im Sommer oftmals nicht voll nutzbar
- aktive oder passive Kühlung ohne zusätzliche Systeme nicht möglich

Variante 2 | Energieversorgung mittels Photovoltaik und Wärmepumpe



Abb. 20 | Beispiel zur Systemvariante 2 – PV-Wärmepumpe-Bauteilaktivierung, Mehrfamilienwohnhäuser Elsbethen Austräße, Salzburg. © Michael Harrer

Eine andere Möglichkeit, Sonnenenergie zur Konditionierung von Gebäuden nutzen zu können, stellt die Kombination Photovoltaikanlage-Wärmepumpe-TBA dar. Der Einsatz von Wärmepumpen stellt im Einfamilienhausbereich eine der am häufigsten ausgeführten Varianten dar. Die Kombination von Wärmepumpen mit Photovoltaikanlagen ist bereits weit verbreitet. Mittels intelligenter Regelstrategien wird versucht, einen möglichst großen Anteil des Stromverbrauchs der Wärmepumpe mit vor Ort produziertem PV-Strom abzudecken. Dieses Konzept lässt sich durch die Nutzung des Energiespeichers Beton optimieren.

Zu bedenken ist, dass Sonnenkollektoren zur Zeit des höchsten Wärmebedarfs relativ geringe Erträge liefern. Eine Abdeckung des gesamten Strombedarfs für den Antrieb der Wärmepumpe zur Abdeckung des Heizwärmebedarfs während der Wintermonate ist daher in der Regel nicht möglich.

Im Gegensatz dazu liegen während sommerlicher Schönwetterperioden hohe Strahlungserträge vor, welche durch den Einsatz (reversibler) Wärmepumpen sowohl zur Warmwasserbereitung als auch zur Kühlung des Gebäudes genutzt werden können.

Modulierende Wärmepumpe zur Optimierung der Energieeffizienz

Auch in dieser Systemvariante wird versucht, einen möglichst großen Anteil des Wärmebedarfs eines Gebäudes über Sonnenenergie abzudecken. Im Gegensatz zur Systemvariante Energieversorgung über Solarthermie wird die auf die PV-Paneele auftreffende Sonnenenergie nicht in Wärme, sondern in elektrischen Strom umgewandelt. In weiterer Folge wird der so gewonnene Strom mithilfe einer Wärmepumpe in Wärme umgewandelt und damit das Gebäude versorgt. Um einen möglichst hohen Anteil des gesamten Wärmebedarfs mit PV-Strom abdecken zu können, wird die Wärmepumpe möglichst nur dann in Betrieb genommen, wenn ausreichend Solarstrom zur Verfügung steht. Um längere Zeiträume ohne ausreichender PV-Stromproduktion überbrücken zu können, wird der Energiespeicher Beton genutzt. Wie bei der Versorgung der TBA mit solarthermischer Wärme wird der Speicher auf ein höheres Temperaturniveau angehoben. Sobald die gewünschte Kerntemperatur erreicht ist, wird der erzeugte Strom nicht mehr für die Wärmeerzeugung über die Wärmepumpe verwendet, sondern von anderen Verbrauchern genutzt oder in das öffentliche Netz eingespeist. Wie bei der vorangehenden Variante wird die Kerntemperatur im Zuge der Planung festgelegt.

Um die Leistungsaufnahme der Wärmepumpe möglichst gut an die PV-Stromproduktion anpassen zu können, ist der Einsatz von modulierenden (d. h. leistungsvariablen) Wärmepumpen sinnvoll. Durch diese Maßnahme kann die Eigenverbrauchsquote deutlich erhöht werden.

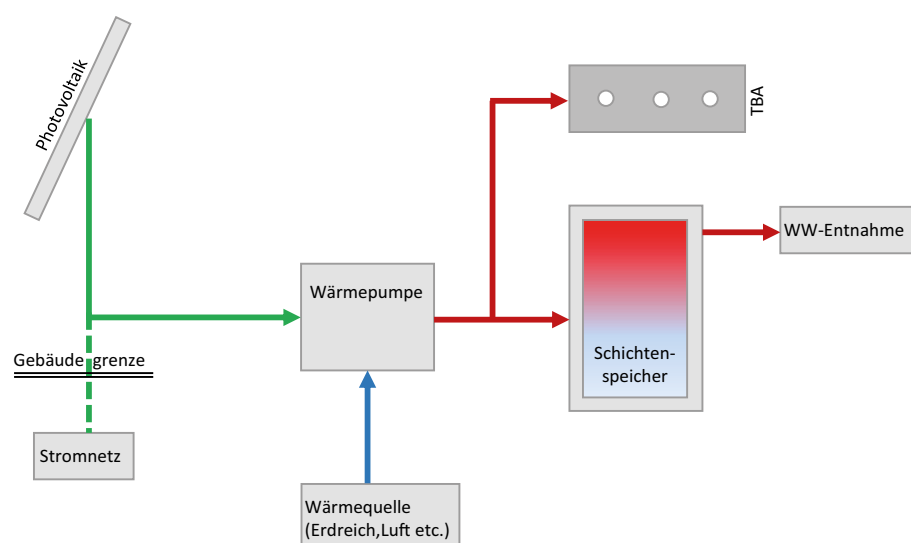


Abb. 21 | Prinzipskizze zur Systemvariante 2 – PV-Wärmepumpe-Bauteilaktivierung.

© Simon Handler

In der Abbildung 21 ist eine Prinzipskizze mit den wesentlichen Bestandteilen der Wärmebereitstellung für die Systemvariante PV-Wärmepumpe-Bauteilaktivierung dargestellt. Neben der PV-Anlage und der Wärmepumpe mit entsprechender Wärmequelle wird ein Speicher für die Warmwasserversorgung benötigt. Hierbei ist zu beachten, dass hohe Speichertemperaturen zu einer verminderten Effizienz der Wärmepumpe führen. Dies ergibt einen Konflikt mit den Vorgaben der ÖNORM B 5019, welche die hygienerelevante Planung und Ausführung von zentralen Trinkwasser-Erwärmungsanlagen regeln.

Die ÖNORM B 5019 regelt hygienerelevante Planung, Ausführung, Betrieb, Wartung, Überwachung und Sanierung von zentralen Trinkwasser-Erwärmungsanlagen. Hier wird grundsätzlich festgelegt, dass erwärmtes Trinkwasser eine Temperatur von 60 °C bei Eintritt in das Verteilsystem aufweisen muss. Der Anwendungsbereich der ÖNORM B 5019 schließt allerdings Ein- und Zweifamilienhäuser sowie Systeme zur dezentralen Trinkwassererwärmung aus.

**Hygienische
Trinkwassererwärmung**

Grundsätzlich wird vorgeschlagen, die Trinkwassererwärmung über eine Frischwasserstation durchzuführen. Die Effizienz einer Wärmepumpe nimmt mit zunehmender Vorlauftemperatur stark ab. Zudem können mit den meisten Wärmepumpen nur Temperaturen von maximal 60-65 °C erreicht werden. Somit ist es nicht möglich, Wärme mittels starker Erhöhung der Temperatur des Wassers zu speichern. Damit stellt das Speichervolumen der Warmwasserbereitstellung ein wesentliches Kriterium für die Effizienz des Gesamtsystems dar. Es sollte daher ein entsprechend großes Volumen gewählt werden, um längere Zeiträume ohne PV-Strom überbrücken zu können.

**Warmwasserspeicher für
den Verbrauch mehrerer
Tage auslegen**

Im Gegensatz zu solarthermischen Kollektoren werden die PV-Paneele weniger steil aufgeständert. Da der überschüssige PV-Strom von anderen Verbrauchern genutzt und eventuell auch verkauft werden kann, ist ein zu steil gewählter Anstellwinkel zur Optimierung der Energieproduktion nicht zielführend. In der Regel werden mit südlich orientierten PV-Modulen bei einer Aufständigung von etwa 30° gegen die Horizontale die höchsten Jahreserträge erreicht. Um eine zufriedenstellende Leistungsfähigkeit in der Heizsaison zu gewährleisten, kann ein Anstellwinkel von ca. 60° empfohlen werden. Darüber hinaus wird mit diesem Anstellwinkel das Abrutschen von Schnee sichergestellt.

**Anstellwinkel der
PV-Kollektoren**

Heizung und Kühlung mit demselben System möglich

Einer der großen Vorteile der Kombination von Photovoltaik-Wärmepumpe-TBA ist, dass je nach Wahl der Wärmesenke entweder aktiv oder passiv gekühlt werden kann. Die Leistungsaufnahme der Wärmepumpe und die Größe der PV-Anlage werden auf die Optimierung der Wärmeversorgung des Gebäudes abgestimmt. Kühlbedarf entsteht zumeist in Perioden mit hoher Strahlungsintensität. Der Energiebedarf der Wärmepumpe kann in der Regel abgedeckt werden.

Betont wird aber, dass sowohl die aktive Kühlung als auch die passive Kühlung Energie verbrauchen. Aus diesem Grund ist die Kühlung über die Bauteilaktivierung nur als Ergänzung zu bautechnischen Maßnahmen zu sehen und sollte auf ein Minimum reduziert werden.

Für & Wider – Variante 2 | Energieversorgung mittels Photovoltaik und Wärmepumpe:

- + Nutzung von Sonnenenergie vor Ort
- + geringe Energiekosten
- + solarer Energieertrag auch außerhalb der Heizperiode voll verwertbar
- + aktive oder passive Kühlung mit geringen zusätzlichen Investitionen möglich
- + lediglich ein Energieträger für die gesamte Versorgung eines Gebäudes
- solarer Ertrag zum Zeitpunkt des höchsten Bedarfs an Wärme relativ beschränkt
- Meteorologie und Topologie der Umgebung beeinflussen die Systemperformance

Variante 3 | Energieversorgung mittels Windenergie und Wärmepumpe



Abb. 22 | Beispiel zur Systemvariante 3 – Wind-Wärmepumpe-Bauteilaktivierung, Einfamilienhaus NÖ. © Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH

Die bislang vorgestellten Systemvarianten stützen sich auf eine Nutzbarmachung von Umweltenergien direkt vor Ort. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, abseits vom jeweiligen Bauplatz erzeugte Umweltenergie wie Wind- oder Sonnenenergie für die TBA und auch für die Warmwasserbereitstellung zu nutzen.

Die Leistung der Windkraftanlagen in Österreich wird seit Jahren stetig ausgebaut. Während die Stromproduktion über z. B. fossile Brennstoffe relativ gut an den Bedarf anzupassen ist, kann Sonnen- oder Windstrom nur zu jenen Zeiten erzeugt werden, zu denen die entsprechende Energiequelle nutzbar ist. Aufgrund des schwankenden Energiedargebots ergeben sich Erzeugungsspitzen und Erzeugungseingänge. Die Schwankung zwischen Strombedarf und Stromerzeugung spiegelt sich auch in den Strompreisen wider. Zu Zeiten hoher Stromproduktion aus erneuerbaren Energien sinkt der Strompreis an der Börse. Ein Resultat dieser Tatsache ist, dass einzelne Windräder vom Netz getrennt werden und dadurch die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien reduziert wird. Diese Maßnahme wird vor allem zur Vermeidung von Netzspitzen umgesetzt.

**Stetig steigende Produktion
von Windenergie**

Die Speichermasse von Gebäuden kann zum Ausgleich von Netzspitzen herangezogen werden. Der erzeugte Windstrom wird zu Zeiten von Netzspitzen mittels einer Wärmepumpe in Wärme umgewandelt und über die Bauteilaktivierung im

**Energiespeicher Bauwerk
zum Glätten von
Netzspitzen**

Gebäude gespeichert bzw. zur Abdeckung der Wärmeverluste genutzt. Das Gebäude fungiert als wirkungsvoller und kostengünstiger Energiespeicher für das öffentliche Stromnetz. Diese Art der Nutzung von Energieüberschüssen kann für Energieversorgungsunternehmen zukünftig einen erheblichen Vorteil darstellen.

Smart-Grid-Anwendung für optimierte Umwelt- energienutzung

Die Funktionsweise der Systemvariante Energieversorgung der TBA mittels Windenergie und Wärmepumpe kann wie folgt beschrieben werden: Der Energieversorger generiert bei hohen Erzeugungsleistungen in seinen Windparks ein Windfreigabesignal und leitet dieses an die Gebäuderegulierung des Energieverbrauchers mit einem Fernsignal weiter. Während der Freigabezeiten kann bei Bedarf Wärme in den Betonspeicher eingelagert werden. Es wird damit möglich, die aus Windstrom erzeugte Wärme intelligent und wirtschaftlich in der tragenden Konstruktion eines Gebäudes zu speichern. Die gespeicherte Energie wird dann nach den bereits beschriebenen Gesetzmäßigkeiten der TBA an die Räume abgegeben. Es ist anzustreben, dass die Untergrenze der Raumtemperatur in einer Phase ohne Windfreigabe nicht unterschritten wird. Sollte die Raumtemperatur dennoch in Einzelfällen unter den Grenzwert fallen, wird die Wärmepumpe mit Strom aus der herkömmlichen Produktion versorgt und hält das Gebäude in üblicher Betriebsweise auf der gewünschten Temperatur. Es zeigt sich jedoch, dass Windenergie speziell in der Heizperiode vermehrt zur Verfügung steht und es kaum zur Notwendigkeit des Nachladens mit herkömmlicher Produktion kommt.

An das System angepasste Wahl der Wärmepumpenleistung

Während es üblicherweise sinnvoll ist, die Leistung von Wärmepumpen an den berechneten Wärmebedarf bestmöglich anzupassen, ist es bei dieser Systemvariante wesentlich, eine höhere Leistung der Wärmepumpe vorzusehen. Liegt Windfreigabe vor, muss das System in der Lage sein, große Leistungen innerhalb kurzer Zeit in den Betonspeicher einzulagern.

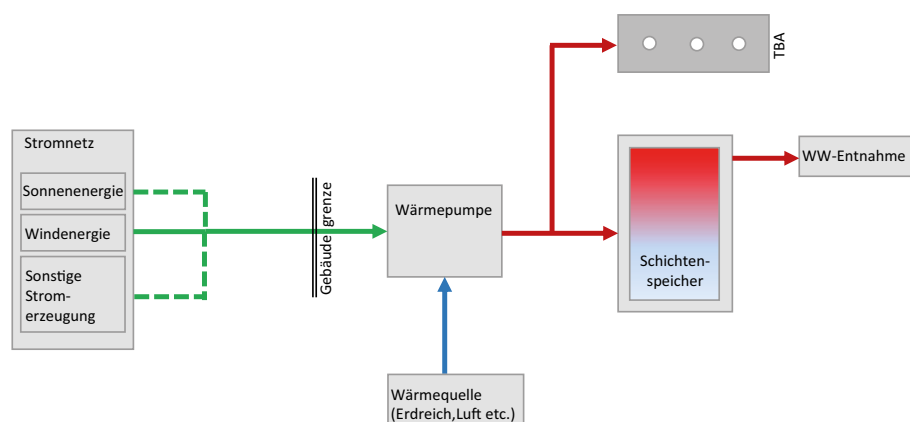


Abb. 23 | Prinzipskizze zur Systemvariante 3 – Energieversorgung der TBA mittels Windenergie und Wärmepumpe. © Simon Handler

In Abbildung 23 ist eine Prinzipskizze zu der Systemvariante Energieversorgung der TBA mittels Windenergie und Wärmepumpe dargestellt. Die eingesetzten Systembestandteile unterscheiden sich nicht von jenen einer beliebigen Wärmepumpenanlage. Um die Kommunikation zwischen Energieversorger und der haustechnischen Anlage zu ermöglichen, wird lediglich ein Freigabesignal benötigt, welches von einem Regler verarbeitet wird.

Wie bei der Systemvariante 2 PV-Wärmepumpe-Bauteilaktivierung ist auch bei der Kombination von Windenergie, Wärmepumpe und Bauteilaktivierung auf eine ausreichende Dimensionierung des Speichers für die Warmwasserbereitstellung und auf eine hygienisch einwandfreie Bereitung des Warmwassers zu achten.

Warmwasserbereitstellung

Für & Wider – Variante 3 | Energieversorgung mittels Windenergie und Wärmepumpe:

- + einfache und robuste Technologie
- + geringe Investitionskosten
- + geringe Energiekosten
- + lediglich ein Energieträger für die gesamte Versorgung eines Gebäudes
- + aktive oder passive Kühlung mit geringen zusätzlichen Investitionen möglich
- + keine Beeinflussung der Architektur durch Solarkollektoren etc.
- + Meteorologie und Topologie der Umgebung beeinflussen die Effizienz nicht
- Abhängigkeit vom Energieversorger
- Energiekosten abhängig von den jeweiligen Stromtarifen



Abb. 24 | Die Energiezentrale mit Wärmepumpe, Warmwasserspeicher, Umwälzpumpe und Verteilerleitungen etc. ist übersichtlich auf kleinstem Raum zusammengestellt.

© FIN – Future Is Now, Kuster Energielösungen GmbH

Anlagen- steuerung

Die TBA übernimmt im Gebäude die Rolle eines „Heizkörpers“. Das Gesamtsystem zur thermischen Konditionierung eines Gebäudes wird dann gut funktionieren, wenn die Leistungsfähigkeiten des Wärmeversorgers und der „Heizkörper“ gut aufeinander abgestimmt sind. Diese Aufgabe übernimmt die Anlagensteuerung.

Für das Gebäude und dessen haustechnische Komponenten spielt die TBA die Rolle des „Heizkörpers“. Dieser ist im Winter für die Wärmeabgabe an die Räume zuständig. Im Sommer sorgt er mittels Abfuhr überschüssiger Wärme für einen Kühleffekt.

Die Aufgabe der Anlagensteuerung

Der Heizkörper ist streng vom Wärmeversorger zu unterscheiden. Verschiedene Möglichkeiten der Wärmeversorgung im Winter bzw. der Wärmeabfuhr im Sommer wurden bereits im Kapitel „Energieversorgung“ vorgestellt und diskutiert. Das Gesamtsystem zur Konditionierung der Räume eines Gebäudes wird dann gut funktionieren, wenn die Funktionsweisen des Wärmeversorgers und der „Heizkörper“ gut aufeinander abgestimmt sind. Diese Aufgabe übernimmt die Anlagensteuerung.

Der Wärmetransport vom Energieversorger zum Heizkörper erfolgt im Fall der TBA grundsätzlich konvektiv mittels einer Flüssigkeit. Diese wird im Folgenden Heiz- oder Kühlmittel genannt, obwohl es sich natürlich immer um die gleiche, in einem geschlossenen System zirkulierende Flüssigkeit handelt. Bei konvektivem Wärmetransport werden die Wärmemengen über die Bewegung eines Heiz- bzw. Kühlmittels übertragen. Dieser gekoppelte Massen- und Wärmetransport wird im Falle der TBA unter Verwendung einer Umwälzpumpe bewerkstelligt. Die Ansteuerung dieser Pumpe stellt somit einen wesentlichen Teil der hier zu besprechenden Anlagensteuerung dar.

Der Wärmetransport

Im Winter wird das Heizmittel durch die Umwälzpumpe vom Wärmeversorger in das in die Geschoßdecke einbetonierte Rohrregister gedrückt. Dort gibt das Heizmittel Wärme ab, und zwar in Abhängigkeit von seiner Temperatur, der Temperatur der Decke und der Strömungsgeschwindigkeit im Rohr. Dann strömt es – abgekühlt – wieder in den Wärmeversorger zurück und wird dort neuerlich erwärmt. Auf welche Weise diese Erwärmung erfolgt, hängt von der Art des Wärmeversorgers ab. Im Fall von Warmwasserkollektoren wird – genügend Sonneneinstrahlung vorausgesetzt – die Erwärmung passiv erfolgen. Als Energiebedarf tritt in diesem Fall nur der von der Umwälzpumpe benötigte elektrische Strom auf. Bei aktiver Erwärmung schlägt hingegen zusätzlich der Strombedarf der Wärmepumpe oder des Heizstabs zu Buche.

Wärmetransport im Winter

Wärmetransport im Sommer

Im Sommer erfolgt die Kühlung ebenso durch einen konvektiven Wärmetransport. Der gerne verwendete Ansatz, wonach im Sommer Kälte transportiert wird, ist nicht nur unsinnig, sondern führt auch leicht zu Fehleinschätzungen. „Wärme“ ist eine Energieform und wird in kWh oder kJ angegeben. „Kälte“ beschreibt hingegen einen Zustand, ist somit eher mit dem Begriff „Hitze“ verwandt und wird in °C gemessen.

Auch im Kühlbetrieb sorgt die Umwälzpumpe für ein Durchströmen des Kühlmittels durch das Rohrregister. Nun wird aber überschüssige, in der Decke gespeicherte Wärme durch das Kühlmittel abtransportiert. Hier hängt die transportierte Wärmemenge ebenso von der Temperatur des Kühlmittels, der Temperatur der Decke und der Strömungsgeschwindigkeit des Kühlmittels ab. Das beim Durchströmen des Rohrregisters erwärmte Kühlmittel fließt in die Kühlanlage zurück, wird dort abgekühlt und dann neuerlich in das Rohrregister gedrückt. Die Abkühlung der Flüssigkeit kann – analog zum Winterfall – passiv oder aktiv erfolgen. Bei passiver Abkühlung wird das Kühlmittel in Rohren durch Bereiche niedrigerer Temperatur geleitet und gibt dort Wärme ab. Gängige Beispiele für solche Bereiche sind der Erdboden, das Grundwasser oder Fließgewässer. Der Energiebedarf beschränkt sich bei passiver Kühlung auf den elektrischen Strom der Umwälzpumpe. Natürlich kann die Abkühlung auch aktiv mit einer Kältemaschine oder einer Wärmepumpe unter zusätzlichem Energieaufwand erfolgen.

Anforderungen an das Gesamtsystem

Das aus Gebäude, Wärmeversorger und TBA bestehende Gesamtsystem muss folgende Anforderungen bestmöglich erfüllen:

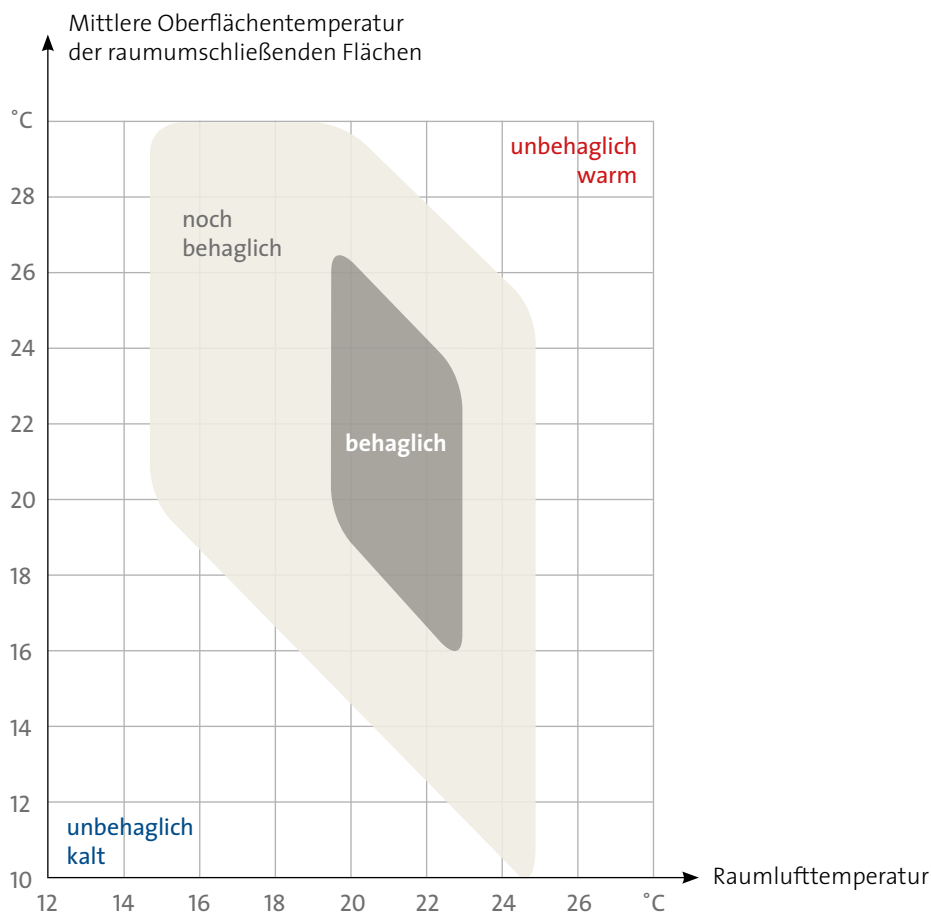
- > Sicherstellung von hohem thermischen Komfort in den Räumen des Gebäudes während des gesamten Jahres und auch während außerklimatischer Extremsituationen.
- > Energieeffizienter Betrieb des Systems zur Konditionierung (d. h. zum Beheizen und Kühlen) der Räume.
- > Überwiegender Einsatz von erneuerbaren Energien für die Konditionierung des Gebäudes.

Aus diesen Anforderungen ergeben sich unmittelbar wesentliche Aspekte in Hinblick auf die Anlagensteuerung.

Um hohen thermischen Komfort in den Räumen sicherzustellen, muss während des gesamten Jahres gewährleistet sein, dass die Temperaturen in den Räumen ein gewisses, (auch) von den Nutzern der Räume festgelegtes Band nicht verlassen. Dieser Anforderung kann natürlich nur entsprochen werden, wenn die Temperaturentwicklung in den Räumen permanent mittels eines Raumthermostaten kontrolliert wird. Der Raumthermostat ist Teil der Anlagensteuerung und sendet Signale aus, die in weiterer Folge zur Steuerung des Wärmeversorgers und der Umwälzpumpe verwendet werden.

Im Winter wird über die Meldungen des Thermostaten verhindert, dass die vom Thermostaten gemessene Raumtemperatur die gesetzte Solltemperatur unterschreitet. Bei Annäherung der Raumtemperatur an die Untergrenze des Temperaturbandes wird aufgrund des Thermostaten-Signals die Umwälzpumpe in Betrieb gesetzt und damit Wärme an die aktivierte Decke geliefert.

Hoher thermischer Komfort



Anzustreben ist ein Δ (Delta) von maximal 4 K zwischen Oberflächen- und Raumtemperatur im Zentrum des behaglichen Bereiches. <<

Abb. 25 | Behaglichkeitsbereich Oberflächentemperatur zu Lufttemperatur.

Quelle: www.thermische-behaglichkeit.de/thermische-behaglichkeit.

Die Behaglichkeitskriterien sind bei der TBA leicht einzuhalten. © Z+B

Im Sommerbetrieb dient das Signal des Raumthermostaten hingegen dazu, eine Überwärmung des Raums zu verhindern. Auch im Fall der Annäherung der Raumtemperatur an die Obergrenze des Temperaturbandes wird die Umwälzpumpe in Betrieb gesetzt und damit der aktivierten Decke mittels Durchströmung des Rohrregisters Wärme entzogen.

Ein weiterer wichtiger Punkt für die Gewährleistung von hohem thermischen Komfort im Raum ist die Verhinderung zu hoher Temperaturdifferenzen zwischen den einzelnen raumbegrenzenden Oberflächen einerseits, und den Oberflächentemperaturen und der Raumlufttemperatur andererseits. Um das Überschreiten der maximal zulässigen Oberflächentemperatur der Decke im Winter bzw. das Unterschreiten der minimal zulässigen Oberflächentemperatur im Sommer verlässlich zu verhindern, wird mit einem zweiten Sensor die Temperaturentwicklung im Bereich des Heizregisters – diese soll in der Folge verkürzt „Kerntemperatur“ genannt werden – gemessen. Hierzu wird eine Leerverrohrung in Höhe des Rohrregisters einbetoniert, in die in der Folge der Temperaturfühler eingeschoben wird.



Abb. 26 | Einbau eines Temperaturfühlers im Bereich des Heizregisters, um die „Kerntemperatur“ zu messen. © Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH

Überschreitet die Kerntemperatur im Winter eine im Zuge der Einregelung des Systems festgesetzte Obergrenze, so wird die Wärmezufuhr mittels Abschaltung der Umwälzpumpe unterbrochen. Als Obergrenze für die Kerntemperatur haben sich in der Praxis bisher Werte im Bereich von 25 °C bis maximal 26 °C bewährt. Aufgrund der sehr hohen Wärmespeicherfähigkeit der Betondecke sinkt deren Temperatur nach Abschaltung der Umwälzpumpe nur sehr langsam ab. Da natürlich auch die Oberflächentemperatur der Deckenuntersicht nur langsam fällt, bleibt die Heizleistung der Decke über längere Zeiträume nahezu unverändert erhalten. Erst wenn sich die vom Raumthermostaten gemessene Temperatur der Solltemperatur nähert, wird die Wärmezufuhr mittels Einschaltung der Umwälzpumpe wieder aufgenommen und der Beladezyklus der Decke beginnt von Neuem.

Im Fall der Kühlung funktioniert die Anlagesteuerung analog. In diesem Fall sendet der Raumthermostat das Einschaltsignal an die Umwälzpumpe, wenn die Raumtemperatur sich der eingestellten Obergrenze nähert. Für Wohnnutzung ist diese Obergrenze gemäß ÖNORM B8110-3 mit 27 °C festgesetzt. In der Praxis gekühlter Räume wird diese Grenze zumeist bei 26 °C angesetzt. Natürlich ist die Wahl der Höchsttemperatur mit dem Nutzer abzustimmen.

Aufgrund der Durchströmung des Rohrregisters mit dem Kühlmittel wird der Decke Wärme entzogen und diese kühlt ab. Die Abkühlung muss aus Komfortgründen und zur Verhinderung von Kondensatbildung begrenzt werden. Diese Begrenzung wird wiederum durch den Kerntemperatursensor bewerkstelligt. Sinkt die von diesem Sensor registrierte Temperatur unter den gesetzten Mindestwert – dieser bewegt sich im Normalfall im Bereich von 20 °C –, so wird die Umwälzpumpe abgeschaltet und der Wärmeentzug somit beendet. Aufgrund ihrer hohen Wärmespeicherfähigkeit steigt die Temperatur der Decke in der Folge nur langsam an. Sobald der Raumtemperatursensor die Annäherung an die Temperaturobergrenze meldet, wird der Kühlmittelkreislauf durch die Umwälzpumpe wieder in Gang gesetzt.

Eine der Voraussetzungen für eine energieeffiziente Wärmebereitstellung ist bei der TBA mit dem Erfordernis sehr niedriger Heizmitteltemperaturen automatisch gegeben. Sie liegen im Normalfall unter 30 °C. Lediglich im Auslegungsfall - d. h. bei extrem kalten außenklimatischen Bedingungen - werden Heizmitteltemperaturen um oder knapp über 30 °C auftreten. Im Fall von Warmwasserkollektoren als Wärmelieferanten werden bei hoher Sonneneinstrahlung selbst bei hoher Durchströmung die Heizmitteltemperaturen Werte bis zu ca. 45 °C annehmen. Wenn dies über keine zu langen Zeiträume der Fall ist, wird die Decke aufgrund ihrer hohen Wärmespeicherfähigkeit auch in diesem Fall nicht zu stark erhitzt. Anderenfalls sorgt das Signal der Kerntemperatursonde für eine Abschaltung der Umwälzpumpe.

Auch im Fall der Kühlung ist aufgrund der verhältnismäßig hohen Kühlmitteltemperaturen – sie liegen im Bereich von 20 °C und darüber – die Grundvoraussetzung für einen energieeffizienten Kühlbetrieb erfüllt. Oft eröffnen sich damit auch Lösungen für eine passive Kühlung.

Natürlich muss in diesem Zusammenhang deutlich darauf hingewiesen werden, dass das Vermeiden von hohem Kühlbedarf eine der wirksamsten Grundlagen für einen energieeffizienten Kühlbetrieb darstellt. Bei Wohnnutzung werden die Voraussetzungen dafür bereits in frühen Phasen der Planung gelegt. Die sinnvolle Wahl von Fenstergrößen in Abhängigkeit von deren Orientierung und das Vorsehen von einfach zu handhabenden, robusten und wirkungsvollen Verschattungseinrichtungen hilft, solare Wärmegegewinne nach oben hin zu begrenzen. Zusätzlich kann verstärkte Nachtlüftung in Verbindung mit massiver Bauweise wirkungsvoll gegen ein Ansteigen der Temperaturen im Gebäude während hochsommerlicher Hitzeperioden eingesetzt werden.

Energieeffizienter Betrieb



Abb. 27 | Rohrdurchmesser und Rohrlänge und damit der Strömungswiderstand sind Kriterien zur Dimensionierung der Umwälzpumpe. © FIN – Future Is Now, Kuster Energielösungen GmbH

Für einen energieeffizienten Betrieb muss natürlich auch der Stromverbrauch der Umwälzpumpe klein gehalten werden. Neben der Wahl eines energiesparenden Pumpentyps kommt in diesem Zusammenhang auch der Länge der Heizkreise und dem Durchmesser der Rohre eine Schlüsselrolle zu. Um den Strömungswiderstand in handhabbaren Grenzen zu halten, liegt die Rohrlänge eines Heizkreises in der Größenordnung von 100 bis maximal 150 m. Obzwar der Rohrdurchmesser in Hinblick auf die Wärmeübertragung zwischen Rohrregister und Decke keine gravierende Rolle spielt, sollten bei großen Rohrlängen zu kleine Rohrdurchmesser aufgrund des stark ansteigenden Strömungswiderstands vermieden werden. Als Nennweiten der Rohre haben sich Werte von 13 mm und darüber bewährt.

Heizkreise werden nach Möglichkeit mit Rohrlängen von rund 100 bis 150 m geplant. >>

Die Notwendigkeit, das Gebäude über mehrere Heizkreise mit Wärme zu versorgen, legt es nahe, mit der Festlegung der Heizkreise auch eine Zonierung des Gebäudes zu verbinden. Eine Temperaturzone ist hierbei ein Bereich mit gleicher Solltemperatur und zumindest annähernd gleicher Nutzung. Das Vorsehen unterschiedlicher Solltemperaturen kommt nicht nur den Nutzerwünschen entgegen, sondern unterstützt auch einen energieeffizienten Betrieb. In hoch gedämmten Gebäuden ist zwar die Tendenz zu einem Temperatursausgleich zwischen verschiedenen Temperaturzonen verstärkt gegeben. Dennoch zeigt die Praxis, dass Temperaturunterschiede in der Größenordnung von 2 bis 3 K über die Regelung der TBA durchaus herstellbar und haltbar sind.

Temperaturunterschiede von 2 K bis 3 K innerhalb von hoch gedämmten Gebäuden sind planbar und regelbar. >>

Erneuerbare Energien

Charakteristikum für eine effiziente Nutzung erneuerbarer Energien ist neben dem Erfordernis niedriger Heizmittel- und hoher Kühlmitteltemperaturen die Verwertbarkeit eines nur unregelmäßig auftretenden Energieangebots. Wie bereits ausgeführt, sind für die TBA als „Heizkörper“ aufgrund der großen Heizflächen niedrige Heizmittel- und hohe Kühlmitteltemperaturen nicht nur möglich, sondern sogar erforderlich.

Die hohe Wärmespeicherfähigkeit von Betondecken bewirkt zudem, dass große Wärmemengen aufgenommen wie auch abgegeben werden können, ohne die Temperaturverteilung in der Decke drastisch zu verändern. Damit können unregelmäßig anfallende Wärmemengen von der Decke aufgenommen, zwischengespeichert und zeitverzögert wieder abgegeben werden.

Im Heizfall bedeutet dies, dass zum einen mittels Warmwasserkollektoren erwärmtes Heizmittel direkt in die aktivierten Decken eingespeist werden kann. Zum anderen kann auch Warmwasser, das über eine nur in unregelmäßigen Zeitintervallen mittels erneuerbarer Energien angetriebene Wärmepumpe bereitgestellt wird, als Heizmittel dienen.

Im Fall der Kühlung bewirkt die hohe Wärmespeicherfähigkeit der Geschoßdecke, dass die Wärme aus den Räumen über längere Zeiträume von der Decke aufgenommen wird, ohne deren Temperatur allzu sehr zu erhöhen. Die gespeicherte Wärme kann dann mittels Durchströmung des Rohrregisters abgeführt werden, wenn erneuerbare Energie zum Betrieb von Umwälzpumpe und Kühlanlage zur Verfügung steht. Damit sind die Voraussetzungen für die Nutzung erneuerbarer Energien bei Systemen mit TBA ganzjährig in hohem Maße gegeben.

Zusammenfassend zeigt sich, dass die Anlagensteuerung für über TBA konditionierte Gebäude sehr einfach ist. Mittels zwei Temperatursensoren wird der Betrieb des Wärmeversorgers bzw. der Kühlanlage und der Umwälzpumpe gesteuert. Das System wird nach der Errichtung des Gebäudes einmal eingeregelt. Nach einigen Monaten Betriebserfahrung kann dann eine Feinjustierung auf Basis etwaig auftretender Benutzerwünsche erfolgen. Daraufhin läuft das System automatisch. Eingriffe der Benutzer sind in der Regel nicht mehr notwendig und werden sich höchstens auf kleine Veränderung von Solltemperaturen beschränken.

Das aus Gebäude, Wärmeversorger und TBA bestehende Gesamtsystem vereinigt die drei Arten des Wärmetransports auf sinnvolle Weise:

- > Der Wärmetransport vom Wärmeversorger zur TBA erfolgt rein konvektiv. Das Heiz- bzw. Kühlmittel wird durch die Umwälzpumpe in das Rohrregister gedrückt. Damit wird nicht nur die Flüssigkeit, sondern auch die in dieser enthaltene Wärme transportiert.
- > Der Wärmetransport vom Rohrregister in die Decke erfolgt mittels Wärmeleitung. Wärmeleitung ist ein automatisch ablaufender Ausgleichsprozess, wobei die Wärme immer von Orten höherer Temperatur zu Orten niedrigerer Temperatur fließt. Ist die Flüssigkeit wärmer als die Decke, so fließt Wärme in die Decke (Heizfall). Ist die Decke wärmer als die Flüssigkeit, so gibt diese Wärme an das Kühlmittel ab (Kühlfall).
- > Der Wärmetransport von der Deckenunterseite an alle anderen raumbegrenzenden Bauteile erfolgt überwiegend mittels Wärmestrahlung. Wärmestrahlung wird von allen Körpern in Abhängigkeit von deren Temperatur und deren

**Gebäude, Wärmeversorger
und TBA als Gesamtsystem**

TBA gleicht zu jeder Zeit und selbsttätig die Temperatur zwischen sämtlichen Oberflächen und der Raumluft aus. >>

Oberflächeneigenschaften ausgestrahlt. Der Strahlungsaustausch im Raum sorgt im Winter für einen Temperatúrausgleich zwischen den Oberflächen der aktivierten Deckenteile und allen anderen – meist kühleren – Bauteiloberflächen. Im Sommer wird die Wärme erhitzter Bauteile mittels Strahlung an die kühleren Teile der aktivierten Decke übertragen. Auch in diesem Fall stellt sich ein Temperatúrausgleich ein.

— operative Temperatur
— Leistung Heizung
— Außentemperatur

Die operative Temperatur ist ein Maß für die gefühlte Temperatur im Raum. >>

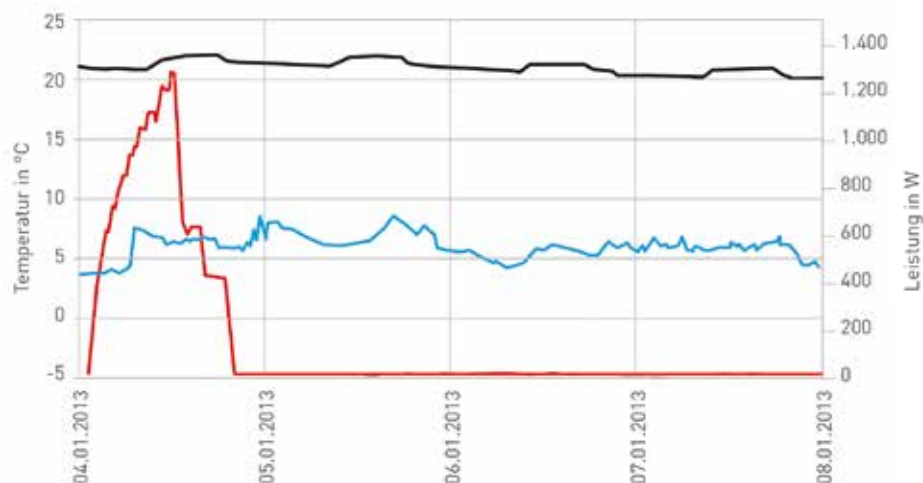


Abb. 28 | Simulationsraum in der Innovations- und Forschungsstelle Bau, Salzburg: Temperatur- und Leistungsaufzeichnungen im Forschungszeitraum. Nach Heizungsabschaltung sinkt die operative Temperatur nur minimal.

© ARGE Nachhaltige BAUTEILAktivierung

Sommerschaltung in Hitzeperioden

Die fortschreitende Erwärmung des Klimas animiert dazu, die Anlagensteuerung der TBA zur Kühlung von Gebäuden einer näheren Betrachtung zu unterziehen.

Rechtzeitige Temperaturabsenkung schafft zusätzliches Potential zur Wärmeaufnahme in Hitzeperioden. >>

Die Wärmeaufnahmefähigkeit eines Bauteiles hängt neben den materialtechnologischen Eigenschaften von der Differenz der Temperatur am Beginn und am Ende des Speichervorganges ab. Um das Speichervermögen eines Gebäudes optimal nutzen zu können, macht es durchaus Sinn, das Bauwerk bereits vor dem Eintritt von Hitzeperioden auf ein sinnvolles Maß abzukühlen. Während einer Hitzeperiode werden die Räume durch die Einlagerung der Wärme in das gesamte Bauwerk, erwartungsgemäß aber überwiegend in die Decke, gekühlt. Die Abfuhr der Wärme aus der Decke erfolgt im Idealfall durch Free-Cooling. Die Decke wird in der gesamten Dauer einer Hitzeperiode gekühlt und erwärmt sich entsprechend weniger schnell und weniger hoch. Dieser Effekt wirkt sich nicht nur für das Raumklima, sondern auch für die Wärmesenke sehr positiv aus. Die Wärmesenke wird im Gleichklang mit der aktivierten Betondecke sehr langsam aufgeladen. Das Temperaturniveau des Wärmeträgers ist wesentlich abgemindert und das verhindert bei entsprechender Dimensionierung der Wärmesenke die Überbeanspruchung derselben. Das Speichervermögen und das Speicherpotential des Systems Gebäude-Wärmesenke vergrößert sich durch diese Überlegung erheblich.

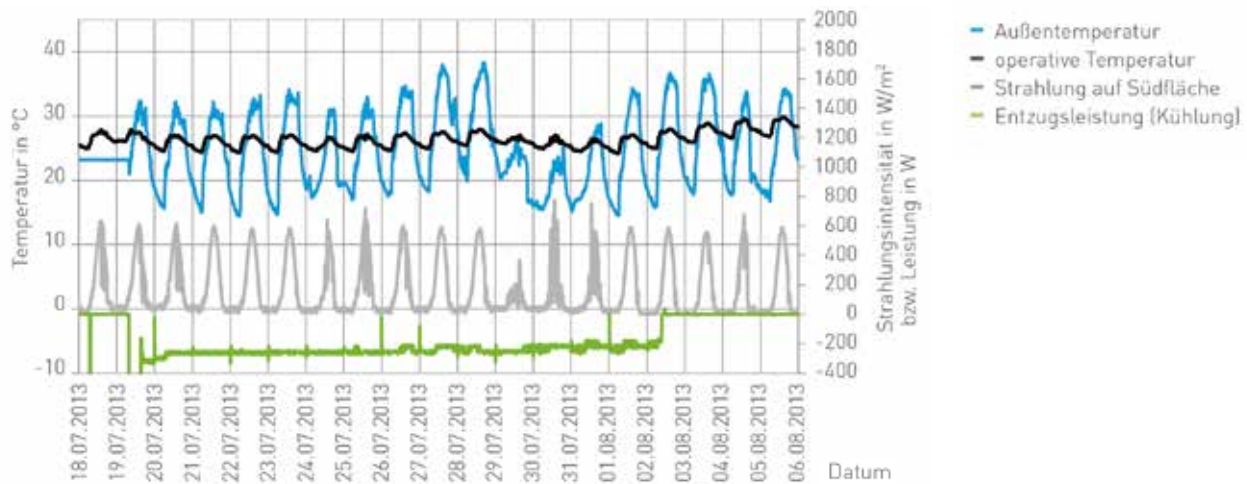


Abb. 29 | Simulationsraum in der Innovations- und Forschungsstelle Bau, Salzburg: Temperatur- und Leistungsaufzeichnungen im Forschungszeitraum. Trotz Abschaltung der Kühlung am 2. 8. 2013 mittags steigt die operative Temperatur nicht sprunghaft an.

© ARGE Nachhaltige BAUTEILaktivierung

Für die praktische Umsetzung ergibt sich die Notwendigkeit, in der Anlagensteuerung eine zusätzliche Schaltung, eine sogenannte „Sommerschaltung“, vorzusehen. Der wesentliche Unterschied zum Normalbetrieb (der „Winterschaltung“) besteht in der Festlegung eines sinnvollen Temperaturbandes der aktivierten Betondecke und in einer entsprechenden Programmierung der Anlagensteuerung für die Ein- und Ausschaltvorgänge der Umwälzpumpen. Die Steuerung der Raumtemperatur erfolgt bei der Sommerschaltung allein durch die Signale der Fühler in der aktivierten Decke. Das Temperaturband in der aktivierten Decke wird verengt. Die Untergrenze wird leicht angehoben und z. B. mit 23 °C festgelegt, die Obergrenze wird nach unten gedrückt und z. B. mit 24 °C festgelegt. Die Anlagensteuerung wird so programmiert, dass die Umwälzpumpen bei Erreichen der 24 °C aktiviert werden und sich bei Erreichen der Untergrenze von 23 °C wieder abschalten. Wird mehr Wärme in das Gebäude eingetragen als durch die Decken abgeführt werden kann, erwärmt sich das Gebäude langsam. In lange andauernden Hitzeperioden kann es kurzfristig zu Überschreitungen der gewünschten Raumtemperatur kommen. Dies ist naturgemäß immer mit hohen Außentemperaturen verbunden. Die Behaglichkeitskriterien werden trotzdem eingehalten.

Neben den gut fassbaren Standard-Rahmenbedingungen sollte man die möglichen Auswirkungen von allfälligen individuellen Einflussfaktoren auf die Anlagensteuerung der TBA nicht übersehen. Davon betroffen sein können sowohl das Nutzerverhalten als auch das thermische Verhalten des Gebäudes. Es ist durchaus sinnvoll, die installierte Anlagensteuerung nach einem ausreichend langen Zeitraum hinsichtlich möglicher Optimierungen zu überprüfen.

Praktische Umsetzung der Sommerschaltung

Die Optimierung der Anlagensteuerung nach einer Einlaufzeit ist anzuraten

Planungs- grundlagen

Im Folgenden wird auf die Besonderheiten der Planung thermisch aktivierter Decken genauer eingegangen. Neben der Auflistung von Planungsempfehlungen wird auf die erforderlichen Planungsschritte chronologisch eingegangen.

Berechnung der Raumheizlast

Als Grundlage für die Auslegung der Registerflächen muss in einem ersten Schritt die Raumheizlast berechnet werden. Wie bereits angesprochen sind die Ergebnisse einer normgemäßen Heizlastberechnung nach der ÖNORM EN 12831 und der ÖNORM H7500-1 aufgrund der zu hoch angesetzten Sicherheiten und den daraus folgenden Überdimensionierungen für Niedrigenergie- und Passivhäuser nicht verwendbar. Bis zum Erscheinen einer Heizlast-Norm für thermisch hochwertige Gebäude (ÖNORM H7500-2; im Projektstadium) wird empfohlen, auf den Zweig zur Heizlastberechnung des Passivhausprojektierungspakets (PHPP) auszuweichen.

**Keine anwendbare ÖNORM,
vorerst Berechnung mithilfe
des Passivhausprojektie-
rungspakets (PHPP)**

Die wesentlichen Unterschiede zwischen der Heizlastberechnung nach PHPP und einer normgemäßen Heizlastberechnung werden im Folgenden schlagwortartig aufgezählt und begründet:

**Vier Argumente für die
Anwendung von PHPP**

1. PHPP setzt höhere Außenlufttemperaturen an

BEGRÜNDUNG:

Hoch gedämmte Gebäude reagieren nur sehr langsam auf winterliche Extremwetterlagen. Der Norm-Ansatz, wonach kurze Kälteperioden (2 Tage) als Maßstab für die Auslegungstemperatur heranzuziehen sind, ist damit für hoch gedämmte Gebäude nicht sinnvoll. Länger andauernde Kälteperioden treten aber wesentlich seltener auf. Da die Wahl der Außenlufttemperatur für eine Heizlastberechnung immer mit der Wahrscheinlichkeit des Auftretens dieser Temperatur am Gebäudestandort verknüpft ist, werden bei der Berechnung nach PHPP deutlich höhere Außentemperaturen angesetzt als in der aktuell gültigen Norm vorgegeben.

2. PHPP berücksichtigt die Auswirkung von Wärmequellen im Gebäudeinneren

BEGRÜNDUNG:

Bei hoch gedämmten Gebäuden haben bereits kleine Innenwärmen große Wirkung auf die Innentemperatur. Die (normgemäße) Vernachlässigung aller Innenwärmen führt auf zu hohe Heizlasten und damit auf Sicherheiten, die bei Niedrigenergiegebäuden unsinnig hoch sind. PHPP vernachlässigt die Innenwärmen nicht, setzt diese aber bewusst niedrig an, um immer „auf der sicheren Seite“ zu liegen.

3. PHPP setzt keine Wärmebrückenzuschläge an

BEGRÜNDUNG:

Nach der ÖNORM EN 12831 werden im Zuge einer überschlägigen Berücksichtigung von Wärmebrücken alle U-Werte um zumindest $0,05 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ erhöht. Im Fall einer Außenwand auf Passivhausniveau ($U=0,1 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) bedeutet dies, dass der Wärmebrückenzuschlag mit 50% viel zu hoch angesetzt wird. Wärmebrückenzuschläge liegen bei adäquater Detailplanung jedenfalls deutlich unter 10%. Für Passivhäuser wird verlangt, dass der Wärmebrückenzuschlag kleiner oder gleich null ist (0% Zuschlag). In diesem Zusammenhang wird gerne von „wärmebrückenfreiem Bauen“ gesprochen.

4. PHPP rechnet mit kleineren Luftwechselzahlen

BEGRÜNDUNG:

Nach der ÖNORM EN 12831 ist die Heizlastberechnung grundsätzlich unter der Annahme eines 0,5-fachen Luftwechsels durchzuführen. Im PHPP wird die Frischluftzufuhr hingegen aus der Nutzung – und dabei insbesondere der Personenbelegung – abgeleitet. Dies führt bei normal genutzten Räumen zu einer erheblich kleineren Luftwechselzahl. Zu beachten ist in diesem Zusammenhang, dass ein zu hoher Luftwechsel im Tiefwinter zu sehr trockener Luft führt. Die Reduktion der Luftwechselzahl bei der Heizlastberechnung nach PHPP fußt u. a. auch auf der Forderung, dass bei Passivhäusern auf sehr gute Luftdichtheit der Gebäudehülle zu achten ist. Das Erreichen dieses Ziels ist durch einen sog. Blower-Door-Test zu belegen. Solche Messungen sind wenig aufwändig und können aufgrund ihres Potentials zum frühzeitigen Auffinden von Fehlstellen in der Gebäudehülle großen Nutzen bringen. Die Durchführung solcher Tests ist jedenfalls für alle heutigen Neubauten zu empfehlen.

Zu hoher Luftwechsel führt im Tiefwinter zu sehr trockener Innenluft. >>

Heizlastberechnung für einen Musterraum

Eckdaten des Musterraums gemäß Pkt. III.1 der Studie „Energiespeicher Beton“ (siehe Literaturverzeichnis Seite 117) am Gebäudestandort Eisenstadt

Eckdaten des Musterraums

Nettofläche:	35,0 m ²
Lichte Raumhöhe:	2,90 m / Nettovolumen: 101,5 m ³
Geschoßhöhe:	3,35 m
Gebäudestandort:	Eisenstadt



Abb. 30 | 3D-Darstellung des Musterraums. © Z+B

Bauteilliste (Außenbauteile)

		U-Wert [Wm ⁻² K ⁻¹]
Außenwand	20 cm STB-Scheibe mit 20 cm WDVS außen	0,15
Fenstertür west	3-fach Wärmeschutzglas mit Holzrahmen	0,87
Fenster nord	3-fach Wärmeschutzglas mit Holzrahmen	0,87

Flächenermittlung für die Außenbauteile

Für die Heizlastberechnungen sind zur Flächenermittlung Außenabmessungen zu verwenden!

Bei der Berechnung der Wandfläche des Musterraums ist jeweils eine halbe Dicke der Zwischenwand (0,125 m) mit zu rechnen:

Geschoßhöhe 3,35 m · (Breite 5,00 + 0,42 + 0,125/2 m + Länge 7,00 + 0,42 + 0,125/2 m) = 3,35 · 12,965 = 43,43 m²

	Fläche [m ²]
Außenwandfläche	35,77 m ²
Fenstertür west	5,77 m ²
Fenster nord	1,89 m ²
Summe der Fassadenflächen	43,43 m ²

Berechnung des Transmissionsleitwerts | L_T

L_T
Transmissionsleitwert

Es sind die Teilleitwerte als Produkt aus U-Wert und zugehöriger Bauteilfläche zu bilden und aufzusummieren.

Fläche [m²] · U-Wert [Wm⁻²K⁻¹] = Leitwert [WK⁻¹]

	Fläche [m ²]	U-Wert [Wm ⁻² K ⁻¹]	Leitwert [WK ⁻¹]
Außenwand	35,77	0,15	5,366
Fenstertür west	5,77	0,87	5,020
Fenster nord	1,89	0,87	1,644
			12,030

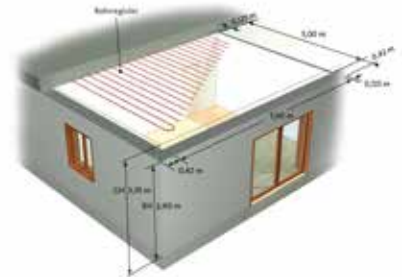
Die Leitwerte der Wandöffnungen sind in Summe größer als jener für die Außenwand! Damit sind die Transmissionswärmeverluste durch die Außenwand niedriger als jene durch Fenster und Fenstertür – und das, obwohl für diese Bauteile Passivhausqualität angenommen wurde! >>

Die Berücksichtigung von Wärmebrücken ist in frühen Planungsphasen nur überschlagsmäßig möglich. Hier wird von einer hochwertigen Detailplanung auch in Hinblick auf die Vermeidung zu hoher Wärmeverluste in Bereichen von Bauteilanschlüssen ausgegangen. Der Transmissionsleitwert wird damit nur um 5% erhöht, d. h.

$$L_T = 1,05 \cdot 12,030 = \mathbf{12,63 \text{ WK}^{-1}}$$

Heizlastberechnung nach PHPP

Nach PHPP wird die Heizlast sowohl für einen kälteren Tag mit hoher Sonneneinstrahlung als auch für einen etwas wärmeren, aber trüben Tag berechnet. Als Heizlast wird der jeweils höhere Wert angesehen. Im gegenständlichen Fall bezieht sich die Heizlast auf den trüben Tag.



Klimadaten für die Heizlastberechnung

Die Klimadaten für die Heizlastberechnung werden PHPP für den Standort Eisenstadt wie folgt entnommen

Norm-Außentemperatur:	-4,4 °C (gemäß PHPP)
Solltemperatur innen:	22,0 °C (Annahme bzw. Nutzerwunsch)

1. Berechnung der Transmissionswärmeverluste | Φ_T

Die **Wärmeverluste** ergeben sich zu

$$\Phi_T = L_T \cdot (\text{Solltemperatur} - \text{Außentemperatur})$$

$$\Phi_T = 12,63 \cdot (22 - (-4,4)) = \mathbf{333,4 \text{ W}}$$

$$\Phi_T$$

Transmissionswärmeverlust

$$L_T$$

Transmissionsleitwert

2. Berechnung der Lüftungswärmeverluste | Φ_V

a) Raumvolumen

Das für den Luftwechsel maßgebliche **Volumen** ergibt sich als Produkt von **Wohnnutzfläche und lichter Raumhöhe** zu

$$V = \text{Wohnnutzfläche} \cdot \text{lichte Raumhöhe} = 35,0 \cdot 2,90 = \mathbf{101,5 \text{ m}^3}$$

$$\Phi_V$$

Lüftungswärmeverlust

$$V$$

Raumvolumen

$$L_V$$

Lüftungsleitwert

b) Lüftungsleitwert

Annahme: 0,3-facher Luftwechsel

Luftvolumenstrom = $101,5 \cdot 0,3 = 30,45 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ (Mindestwert lt. PHPP)

$$\text{Lüftungsleitwert: } L_V = 0,34 \cdot 30,45 = \mathbf{10,35 \text{ WK}^{-1}}$$

ANMERKUNG:

Das Vorliegen einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung wird hier nicht angenommen. Der Faktor 0,34 ist die volumenbezogene spezifische Wärmekapazität der Luft und wurde der ÖNORM B8110-6 entnommen.

Φ_V
Lüftungswärmeverlust

L_V
Lüftungsleitwert

Θ_i
Solltemperatur des Raums

Θ_e
Außenluft Temperatur

Φ_l
Gesamtwärmeverlust

Φ_T
Transmissionswärmeverlust

Φ_V
Lüftungswärmeverlust

c) Lüftungswärmeverlust

Der Lüftungswärmeverlust ergibt sich zu

$$\Phi_V = L_V \cdot (\Theta_i - \Theta_e) = 10,35 \cdot (22 - (-4,4)) = \mathbf{273,2 \text{ W}}$$

3. Berechnung des Gesamtwärmeverlusts | Φ_l

Die Wärmeverluste des Gebäudes unter Auslegungsbedingungen ergeben sich als Summe der Transmissions- und der Lüftungswärmeverluste zu

$$\Phi_l = \Phi_T \text{ Transmissionswärmeverlust} + \Phi_V \text{ Lüftungswärmeverlust}$$

$$\Phi_l = \Phi_T + \Phi_V = 333,4 + 273,2 = \mathbf{606,6 \text{ W}}$$

4. Berechnung des Wärmeeintrags in den Raum | Φ_g

Wärmeeinträge im Inneren des Gebäudes stellen sich aufgrund der Gebäudenutzung und der Sonneneinstrahlung durch die Fenster ein. Im Gegensatz zur normgemäßen Heizlastberechnung wird die Auswirkung des Wärmeeintrags hier nicht vernachlässigt.

Φ_g
Gesamtwärmeeintrag

Φ_i
Nutzungsbedingter
Wärmeeintrag

Φ_S
Solarer Wärmeeintrag

I
Solare Bestrahlungsstärke

A_w
Fläche der Fenster
und verglasten Türen
(inklusive Rahmen)

g
Gesamtenergiedurchlassgrad
(„g-Wert“) des Glases

r
Reduktionsfaktor

a) Nutzungsbedingter Wärmeeintrag | Φ_i

Es wird eine auf die Wohnnutzfläche bezogene Wärmeabgabeleistung von $1,9 \text{ W/m}^2$ (gemäß PHPP) angesetzt. Mit dieser sind alle durch die Personenbelegung, die Beleuchtung und den Betrieb von Geräten verursachten Wärmeabgaben erfasst.

Die nutzungsbedingte Wärmeabgabeleistung ergibt sich zu

$$\Phi_i = 1,9 \cdot \text{Wohnnutzfläche}$$

$$\Phi_i = 1,9 \cdot 35 = \mathbf{66,5 \text{ W}}$$

b) Wärmeeintrag aufgrund von Sonneneinstrahlung | Φ_S

Solare Bestrahlungsstärke: $I = 10 \text{ W/m}^2$ (sowohl für die West- als auch für die Nordfassade; gemäß PHPP für trübes Wetter am Standort Eisenstadt)

	$A_w [\text{m}^2]$	g	r	$I [\text{Wm}^{-2}]$	Wärmeeintrag [W]
Fenstertür west	5,77	0,45	0,48	10,0	12,46
Fenster nord	1,89	0,45	0,65	10,0	5,53

$$\Phi_S = \mathbf{17,99 \text{ W}}$$

HINWEIS:

Der **solare Wärmeeintrag** wird gemäß

$\Phi_S = A_W \cdot g \cdot r \cdot I$ berechnet.

Gesamtenergiedurchlassgrad („g-Wert“):

Neben dem U-Wert Ug des Glases ist der g-Wert die zweite wesentliche Kenngröße des verglasten Teils eines Fensters oder einer Fenstertür. Der g-Wert gibt an, wie groß jener Anteil der auf der Außenseite des Glases auftreffenden Sonnenstrahlung ist, der nach dem Durchgang durch das Glas im Rauminnen als Heizleistung wirksam wird. Der Gesamtenergiedurchlassgrad ist Teil der Produktdeklaration eines Glases.

Der **Reduktionsfaktor** r liegt zwischen 0 und 1 und reduziert den g-Wert des Glases. Nach PHPP werden durch diesen folgende Einflüsse berücksichtigt:

- da A_W die gesamte Fensterfläche ist, ist diese mit dem Glasanteil des Fensters zu multiplizieren
- die Verschmutzung des Glases im eingebauten Zustand reduziert den Strahlungsdurchgang
- bei schräg auf das Glas auftreffender Sonnenstrahlung wird weniger Strahlung durchgelassen
- etwaige Verschattungseffekte werden pauschal berücksichtigt

Der Reduktionsfaktor r wird durch PHPP aufgrund der Fenstereingaben und der Fensterorientierung automatisch berechnet.

c) Wärmeeintrag gesamt | Φ_g

Der **gesamte Wärmeeintrag** in den Raum beträgt:

$$\Phi_g = \Phi_i + \Phi_S = 66,5 + 17,99 = \mathbf{84,5 \text{ W}}$$

Φ_g
Gesamtwärmeeintrag

Φ_i
Nutzungsbedingter
Wärmeeintrag

Φ_S
Solarer Wärmeeintrag

5. Berechnung der Raumheizlast | Φ_{HL} **Raumheizlast:**

$$\Phi_{HL} = \Phi_l - \Phi_g = 606,6 - 84,5 = \mathbf{522 \text{ W}}$$

Die auf die Nettofläche des Raums bezogene Heizlast liegt damit bei

$$\frac{522}{35} = \mathbf{14,9 \text{ Wm}^{-2}}$$

Φ_{HL}
Raumheizlast

Φ_l
Gesamtwärmeverlust

Φ_g
Gesamtwärmeeintrag

Berechnung der Registerflächen | A_R

**Flächenbezogene
Wärmeabgabeleistung q
nicht höher als 25 W/m^2**

A_R
Registerfläche

$A_{R,\min}$
mindest erforderliche
Registerfläche

Φ_{HL}
Raumheizlast

q
flächenbezogene
Wärmeabgabeleistung

$q_{\max}$
maximale flächenbezogene
Wärmeabgabeleistung

Aus der **Raumheizlast** Φ_{HL} (in Watt) kann die zur Deckung dieser Heizlast **mindest erforderliche Registerfläche** $A_{R,\min}$ (in m^2) leicht errechnet werden, wenn die **maximale flächenbezogene Wärmeabgabeleistung** der **thermisch aktivierten Decke** $q_{\max}$ (in W/m^2) bekannt ist:

$$(4) \quad A_{R,\min} \approx \frac{\Phi_{HL}}{q_{\max}}$$

Wie bereits angesprochen sollte $q_{\max}$ nicht größer als 25 W/m^2 angesetzt werden, um einen sehr hohen thermischen Komfort im Raum auch unter widrigsten außenklimatischen Bedingungen sicherstellen zu können.

Eine erste Grobabschätzung kann unter Berücksichtigung von Gleichung (4) bereits in sehr frühen Planungsphasen stattfinden. Ein Vergleich der erforderlichen Registerfläche $A_{R,\min}$ mit der für die thermische Aktivierung zur Verfügung stehenden Deckenfläche zeigt sofort, ob die Beheizung des Raums über die thermische Aktivierung der Decke allein möglich ist oder nicht.

Mit der Raumheizlast von 522 W (aus Pkt. 5, Seite 73) ergibt sich die mindest erforderliche Registerfläche nach Gleichung (4) zu

$$A_{R,\min} = \frac{522}{25} = \mathbf{20,9 \text{ m}^2}.$$

Dies sind ca. 60% der Deckenfläche. Die alleinige Beheizung mittels thermisch aktivierter Decke ist für diesen Raum somit sehr gut möglich.

**Für TBA verfügbare
Deckenfläche festlegen**

Im Normalfall wird die für die Aktivierung verfügbare Deckenfläche mit der Nettofläche des Raums zusammenfallen. Natürlich muss aber immer mit dem Statiker abgestimmt werden, welche Teile der Deckenflächen nicht mit Registern belegt werden dürfen. Zudem ist wichtig zu wissen, dass die thermische Aktivierung der Decke nur dann sinnvoll zur Temperierung eines Raums herangezogen werden kann, wenn zwischen Rohrregister und dem unter der Decke liegenden Raum keine Schichten mit wärmedämmender Wirkung liegen. Bereiche mit abgehängten Decken, aber auch Bereiche, in denen die Deckenuntersicht mit schallabsorbierenden Materialien versehen wird, stehen für eine thermische Aktivierung somit nicht zur Verfügung.

**Abschätzung der
erforderlichen Registerfläche**

Führt die Grobabschätzung der mindestens erforderlichen Registerfläche nach Gleichung (4) zur Aussage, dass die Beheizung des Gebäudes durch die thermische Aktivierung der Decke alleine möglich ist, so besteht die Notwendigkeit, die

Registerfläche genauer festzulegen. Diese Festlegung hängt eng mit der flächenbezogenen **Wärmeabgabeleistung** q der thermisch aktivierten Decke zusammen. In sehr guter Näherung ist q proportional zur Differenz aus der **Temperatur des Heizmittels im Rohr** Θ_r und der **Solltemperatur im unter der Decke liegenden Raum** Θ_u . Es gilt somit

$$(5) \quad q = \Lambda_{r,u} \cdot (\Theta_r - \Theta_u).$$

Ein thermischer Leitwert dient der Berechnung des Wärmestroms durch einen Bauteil zwischen zwei Räumen und hat die Dimension WK^{-1} . Der Wärmestrom ergibt sich hierbei immer durch Multiplikation des thermischen Leitwerts mit der zwischen den beiden Räumen anliegenden Temperaturdifferenz.

Als Räume werden in diesem Zusammenhang nicht nur die Innenräume eines Gebäudes bezeichnet, sondern auch alle jene Bereiche, deren Temperatur ein fixer Wert zugeordnet werden kann. Auch die äußere Umgebung eines Gebäudes kann somit als Raum (Außenraum) bezeichnet werden. Bei der Heizlastberechnung wird für die Innenräume des Gebäudes die jeweilige Solltemperatur angesetzt. Für den Außenraum wird die Auslegungstemperatur festgelegt. Im Fall der TBA wird auch das Innere der Rohre als „Raum“ eingeführt, dem eine mittlere Heiz- oder Kühlmitteltemperatur zugeordnet wird.

Ein flächenbezogener Leitwert liegt vor, wenn der Leitwert durch den Flächeninhalt einer Bezugsfläche dividiert wird. Dessen Dimension ist demnach $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Bekanntestes Beispiel für solch einen flächenbezogenen Leitwert ist wohl der Wärmedurchgangskoeffizient („U-Wert“) eines plattenförmigen Bauteils.

Im Spezialfall der TBA interessiert der thermische Leitwert zwischen Rohrregister und dem zu beheizenden Raum. Dieser Leitwert kann durch mehrdimensionale Berechnung des Wärmeflusses ermittelt werden und wird in Form des flächenbezogenen Leitwerts angegeben. Als Bezugsfläche tritt hierbei die Registerfläche auf. Bei Kenntnis des **flächenbezogenen thermischen Leitwerts** $\Lambda_{r,u}$ kann damit die **flächenbezogene Wärmeabgabeleistung** der thermisch aktivierten Decke q für beliebige Kombinationen aus Solltemperatur und der Temperatur des Heizmittels im Rohr per Hand berechnet werden.

Die Größe des Faktors $\Lambda_{r,u}$ hängt von mehreren Parametern, wie z. B. dem Abstand zwischen Deckenuntersicht und Rohrregister, dem Achsabstand der Rohre im Register, dem Rohrdurchmesser etc. ab.

ANNAHME:

Rohrregister hat 5 cm Betonüberdeckung

Im Normalfall liegt das Rohrregister auf der unteren Bewehrung der Decke und hat einen Abstand von ca. 5 cm von der Deckenuntersicht; die „Betonüberdeckung“ des Rohrregisters ist somit 5 cm. Allein dieser Fall soll im Folgenden behandelt werden. Der Durchmesser der Rohre hat nur einen vergleichsweise kleinen Einfluss auf $\Lambda_{r,u}$ und wird hier mit 17 mm (Außendurchmesser) festgelegt.

Flächenbezogener thermischer Leitwert | $\Lambda_{r,u}$

Ein thermischer Leitwert dient der Berechnung des Wärmestroms zwischen zwei Räumen und hat die Dimension WK^{-1} . <<

q
flächenbezogene
Wärmeabgabeleistung

$\Lambda_{r,u}$
flächenbezogener
thermischer Leitwert

Θ_r
Temperatur des
Heizmittels im Rohr

Θ_u
Solltemperatur im unter
der Decke liegenden Raum

Die Abhängigkeit des flächenbezogenen Leitwerts vom Achsabstand der Rohre **d** wurde mit numerischen Methoden ermittelt und führt auf folgendes Ergebnis.

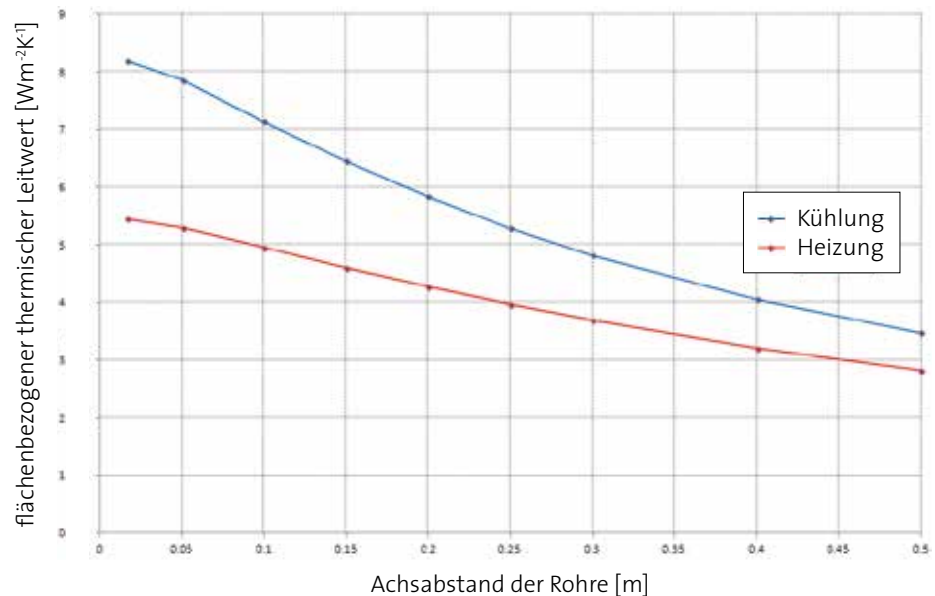


Abb. 31 | Abhängigkeit des flächenbezogenen thermischen Leitwerts $\Lambda_{r,u}$ vom Achsabstand der Rohre. © Klaus Kreč

$\Lambda_{r,u}$
flächenbezogener
thermischer Leitwert

d
Achsabstand der Rohre

Die beiden in Abbildung 31 gezeigten Kurven können in sehr guter Näherung mit dem Ansatz

$$(6) \quad \Lambda_{r,u} = a \cdot d^2 + b \cdot d + c$$

beschrieben werden. Dies hat den Vorteil, dass $\Lambda_{r,u}$ relativ einfach per Hand errechnet werden kann.

Die für diese Berechnung erforderlichen Parameter **a**, **b** und **c** sind im Forschungsbericht „Energiespeicher Beton“ für verschiedenste bautechnische Lösungen aufgelistet. Für 5 cm Betonüberdeckung und ein Rohr der Dimension 17 x 2 mm ergeben sich diese Parameter im Fall einer unverputzten Deckenuntersicht z. B. wie folgt:

Tabelle 3 | Koeffizienten in Gleichung (6) zur Berechnung von $\Lambda_{r,u}$.
Rohr 17 x 2 mm; Betonüberdeckung 5 cm; unverputzte Deckenuntersicht

	a	b	c
Heizung	4,53	-8,04	5,70
Kühlung	12,20	-16,43	8,64

Parameter a, b, c aus dem Forschungsbericht „Energiespeicher Beton“ entnommen.

Vertiefende Informationen zur Funktionsweise aktivierter Betondecken bis hin zu den erforderlichen Parametern liefert die Publikation:

Kreč Klaus;
Forschungsprojekt
Energiespeicher Beton
Endbericht.
Vereinigung der Österr.
Zementindustrie, Wien, 2016
Download:
[www.zement.at/
services/publikationen/
energiespeicher-beton](http://www.zement.at/services/publikationen/energiespeicher-beton) >>

Mit Kenntnis von $\Lambda_{r,u}$ können sowohl die flächenbezogene Wärmeabgabeleistung q gemäß Gleichung (4) als auch die Registerfläche gemäß

$$(7) \quad A_R = \frac{\Phi_{HL}}{q}$$

für verschiedene Kombinationen der Temperaturen Θ_u und Θ_r per Hand berechnet werden.

Auch die **mittlere Oberflächentemperatur Θ_s der Deckenuntersicht** einer thermisch aktivierten Decke ist über die Beziehung

$$(8) \quad \Theta_s = \Theta_u + \frac{q}{\alpha}$$

per Hand leicht berechenbar. α ist hierbei der Wärmeübergangskoeffizient für die Deckenuntersicht. Im Fall der Heizung gilt $\alpha = 6,5 \text{ W/m}^2\text{K}^{-1}$. Im Fall der Kühlung ist α auf $10,8 \text{ W/m}^2\text{K}^{-1}$ zu setzen und die flächenbezogene Wärmeaufnahmeleistung q mit negativem Vorzeichen in Gleichung (8) einzusetzen.

A_R
Registerfläche

Φ_{HL}
Raumheizlast

q
flächenbezogene
Wärmeabgabeleistung

Θ_r
Temperatur des
Heizmittels im Rohr

Θ_u
Solltemperatur im unter
der Decke liegenden Raum

Θ_s
mittlere Oberflächentemperatur
der Deckenuntersicht

α
Wärmeübergangskoeffizient

Wird vorerst ein gebräuchlicher Standard mit einer Rohrdimension von 17 x 2 mm, einem Rohrabstand von 15 cm und einer Betonüberdeckung von 5 cm angenommen, so ergibt sich der flächenbezogene Leitwert gemäß Gleichung (6) zu

$$\Lambda_{r,u} = a \cdot d^2 + b \cdot d + c = 4,53 \cdot 0,15^2 - 8,04 \cdot 0,15 + 5,7 = \mathbf{4,6 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}}$$

Bei einer Solltemperatur im beheizten Raum von $\Theta_u = 22 \text{ °C}$ und einer vorerst angenommenen Temperatur des Heizmittels im Rohr von $\Theta_r = 27 \text{ °C}$ ergibt sich die flächenbezogene Heizleistung gemäß Gleichung (5) zu

$$q = \Lambda_{r,u} \cdot (\Theta_r - \Theta_u) = 4,6 \cdot (27 - 22) = \mathbf{23 \text{ W/m}^2}$$

Die flächenbezogene Heizleistung liegt damit unterhalb der Obergrenze von 25 W/m^2 . Dies bedeutet, dass es im Auslegungsfall - also im Fall widrigster außenklimatischer Bedingungen - genügt, das Register mit Heizmittelttemperaturen im Bereich von ca. 27 °C zu versorgen.

Die Registerfläche ist in diesem Fall gemäß Gleichung (7) mit

$$A_R = \frac{\Phi_{HL}}{q} = \frac{522}{23} = \mathbf{22,7 \text{ m}^2}$$

etwas größer als die mindesterforderliche Registerfläche $A_{R,min}$. Die mittlere Oberflächentemperatur der Deckenuntersicht liegt im Auslegungsfall dabei mit

$$\Theta_s = \Theta_u + \frac{q}{\alpha} = 22 + \frac{23}{6,5} = \mathbf{25,5 \text{ °C}}$$
 nur 3,5 K über der Solltemperatur.

Damit ist hoher thermischer Komfort auch im Auslegungsfall gesichert.

Berechnung der Registerfläche für den Musterraum

$\Lambda_{r,u}$
flächenbezogener
thermischer Leitwert

d
Achsabstand der Rohre

A_R
Registerfläche

$A_{R,min}$
mindesterforderliche
Registerfläche

ANMERKUNG:

Bei „normalen“ winterlichen Bedingungen liegt die für die Raumheizung erforderliche Wärmeabgabeleistung der thermisch aktivierten Decke deutlich niedriger, was zu Oberflächentemperaturen führt, die nur knapp über der Solltemperatur liegen.

Große Registerflächen erhöhen den Raumkomfort

Eine Überdimensionierung der thermisch aktivierten Flächen ist nicht nur unbedenklich, sondern erhöht über die Senkung der Oberflächentemperatur der Deckenuntersicht den thermischen Komfort im Raum. >>

Steht aufgrund der baulichen Gegebenheiten die gesamte Deckenfläche von 35 qm für eine thermische Aktivierung zur Verfügung ($A_R = 35 \text{ m}^2$), so errechnet sich die unter Auslegungsbedingungen zu erbringende flächenbezogene Wärmeabgabeleistung gemäß

$$q = \frac{\Phi_{HL}}{A_R} = \frac{522}{35} = 14,9 \text{ W/m}^2.$$

Diese Wärmeabgabeleistung stellt sich bei unveränderten Annahmen in Hinblick auf Art und Lage des Rohrregisters gemäß der (umgeformten) Gleichung (5) bei einer Temperatur im Rohr von

$$\Theta_r = \Theta_u + \frac{q}{\Lambda_{r,u}} = 22 + \frac{14,9}{4,6} = 22 + 3,2 = 25,2 \text{ °C ein.}$$

Die mittlere Oberflächentemperatur der Deckenuntersicht unter Auslegungsbedingungen sinkt gleichzeitig auf

$$\Theta_s = \Theta_u + \frac{q}{\alpha} = 22 + \frac{14,9}{6,5} = 24,3 \text{ °C.}$$

Einfluss des Rohrabstandes

Auch die Frage, ob bei einer Registerfläche von $A_R = 35 \text{ m}^2$ die Rohrabstände vergrößert und damit Kosten gespart werden können, lässt sich per Handrechnung schnell beantworten:

Bei einer flächenbezogenen Wärmeabgabeleistung von $q = 14,9 \text{ Wm}^{-2}$ und der angenommenen Temperatur des Heizmittels im Rohr von z. B. $\Theta_r = 26 \text{ °C}$ errechnet sich der erforderliche flächenbezogene Leitwert zu

$$\Lambda_{r,u} = \frac{q}{\Theta_r - \Theta_u} = \frac{14,9}{26 - 22} = 3,7 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}.$$

Ein Blick auf Abbildung 31 zeigt, dass dieser Wert erreicht wird, wenn der Achsabstand der Rohre mit ca. 30 cm festgesetzt wird. Eine Kontrollrechnung unter Anwendung von Gleichung (6) bestätigt, dass der Rohrabstand (**d**) auf 30 cm erhöht werden kann ($\Lambda_{r,u} = 3,696 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ bei **d** = 0,30 m).

Anforderungen an die Gebäudehülle

Soll ein Gebäude ausschließlich mittels thermischer Aktivierung der Geschoßdecken beheizt werden, so muss – wie gezeigt – sichergestellt sein, dass die für eine Aktivierung zur Verfügung stehenden Deckenanteile in Summe größer sind als die zur Beheizung des Gebäudes mindestens erforderlichen Registerflächen. Ist dies nicht der Fall, so müssen gemäß Gleichung (4) die Raumheizlasten – und damit auch die Gebäudeheizlast – reduziert werden. Das Finden von Ansatzpunkten zur Erreichung dieses Ziels ergibt sich unmittelbar aus der Heizlastberechnung (siehe Seite 71 und 101).

Die vom Planer beeinflussbaren, in die Heizlastberechnung eingehenden Größen sind der Transmissionsleitwert, der Lüftungsleitwert und die solaren Wärmegewinne. Eine Verkleinerung der Transmissions- und/oder Lüftungsleitwerte sowie eine Vergrößerung der solaren Wärmegewinne führen zur angestrebten Reduktion der Heizlast.

**Einflüsse auf die
Gebäudeheizlast**

> Maßnahmen zur Verkleinerung des Transmissionsleitwerts

Wie gezeigt gehen in die Berechnung des Transmissionsleitwerts L_T die Flächen der Einzelbestandteile der Gebäudehülle und deren Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) sowie Zuschläge zur Berücksichtigung des vermehrten Wärmeabflusses im Bereich von Bauteilanschlüssen („Wärmebrücken“) ein. Die angestrebte Verkleinerung von L_T ist durch verbesserte Wärmedämmung und der damit verbundenen Reduktion der U-Werte der Komponenten der Gebäudehülle, aber auch durch die Verkleinerung von Bauteilflächen durch Übergang zu kompakteren Gebäudeformen möglich. Zudem trägt eine sorgsame Detailplanung in Hinblick auf die Reduktion vermehrter Wärmeverluste im Bereich von Wärmebrücken zur Verkleinerung des Transmissionsleitwerts bei.

Im Zuge der Anhebung der thermischen Qualität der Gebäudehülle mittels Verbesserung der Wärmedämmung ist es effektiv, die Tabelle der Teilleitwerte (siehe Beispiele Seite 70 und 100) in Hinblick auf deren Größe zu analysieren. Natürlich ist in einem solchen Fall – im Gegensatz zum Beispiel „Musterraum“ – immer das ganze Gebäude bzw. die gesamte Gebäudehülle zu betrachten. Ein großer Effekt wird nur dann erzielt, wenn jene Bauteile thermisch verbessert werden, deren Teilleitwerte zu einem großen Prozentsatz zum Gesamtleitwert beitragen. Oft sind dies Türen und Fenster.

> Sonderfall Fundamentplatte

Ein Sonderfall ist in diesem Zusammenhang die (nicht aktivierte) unterste Geschoßdecke. Ist das Gebäude nicht unterkellert, so handelt es sich um eine Fundamentplatte, die aufgrund des thermischen Widerstands des Erdreichs weniger stark gedämmt werden muss als die luftberührten Bauteile. Die Dämmung sollte tunlichst unter der Fundamentplatte verlaufen und über die Stirnseiten der Platte hinaufgezogen werden. Bei Verwendung von geschäumten Materia-

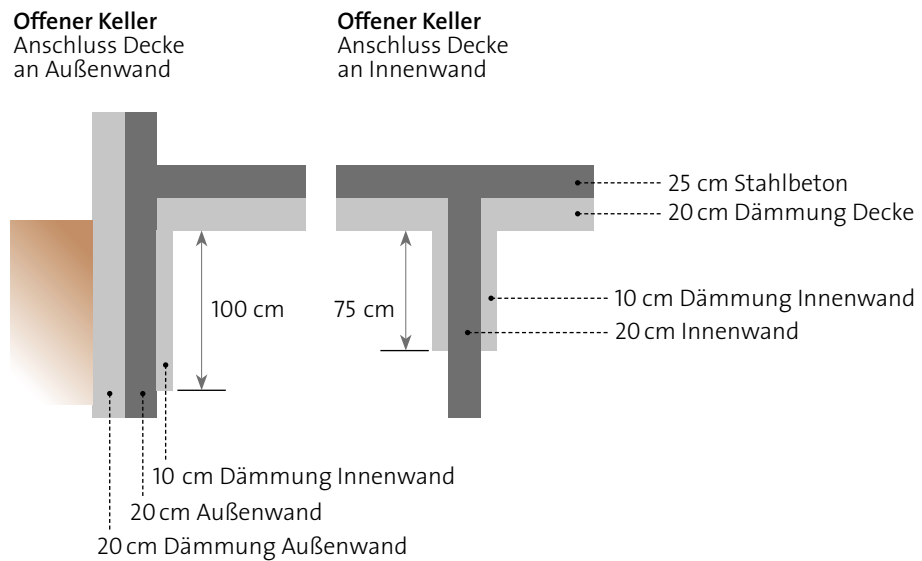


Abb. 32 | Ausführungsvorschlag offener Keller, Dämmung in Passivhausqualität, Dämmstoff EPS mit $\lambda = 0,031 \text{ W/mK}$, Dämmung an der Deckenuntersicht 20 cm. © Z + B

lien liegt die Dämmstoffdicke im Bereich von 15 cm bis 20 cm und muss natürlich auf die thermische Qualität der gesamten Gebäudehülle abgestimmt werden. In diesem Zusammenhang wichtig ist die Auswahl alterungsbeständiger Materialien. Liegt die Dämmschicht im Grundwasser, sind die Schichten jedenfalls zu verkleben.

> Sonderfall Kellerdecke

Ist das Gebäude unterkellert und der Keller nicht beheizt, so ist darauf zu achten, dass in diesem Fall bei Dämmung der Deckenuntersicht ein nicht unerheblicher Teil der Wärmeverluste durch die Wärmebrücken im Bereich der Anschlüsse von Innen- und Außenwänden an die Kellerdecke zustande kommt. Um dies zu vermeiden, muss die Dämmung von der Decke auch an den Wänden herabgezogen werden. Parameterstudien haben gezeigt, dass es möglich ist, diese Dämmung nach ca. einem Meter von der Deckenuntersicht enden zu lassen, wenn die Dämmstoffdicke im Gegenzug erhöht wird. Dieses Ergebnis ist in Hinblick auf die Nutzbarkeit des Kellers – z. B. bei der Nutzung als Tiefgarage – von Bedeutung. Siehe Abbildungen 32 und 33.

Hinweis: Details zu den Parameterstudien und den Ergebnissen sind im Forschungsprojekt Energiespeicher Beton Endbericht, Klaus Kreč, Vereinigung der Österr. Zementindustrie, Wien, 2016 nachzulesen. Siehe Hinweis Seite 76.

> Maßnahmen zur Verkleinerung des Lüftungsleitwerts

Ob sich Maßnahmen zur Verkleinerung des Lüftungsleitwerts effektiv auf die Heizlast auswirken, zeigt in einem ersten Schritt ein Vergleich von Transmissions- und Lüftungsleitwert. Ist z. B. der Lüftungsleitwert nur etwa halb so groß wie der Transmissionsleitwert, so wird eine Verkleinerung des Lüftungsleitwerts mit womöglich großem Aufwand nur wenig Wirkung haben.

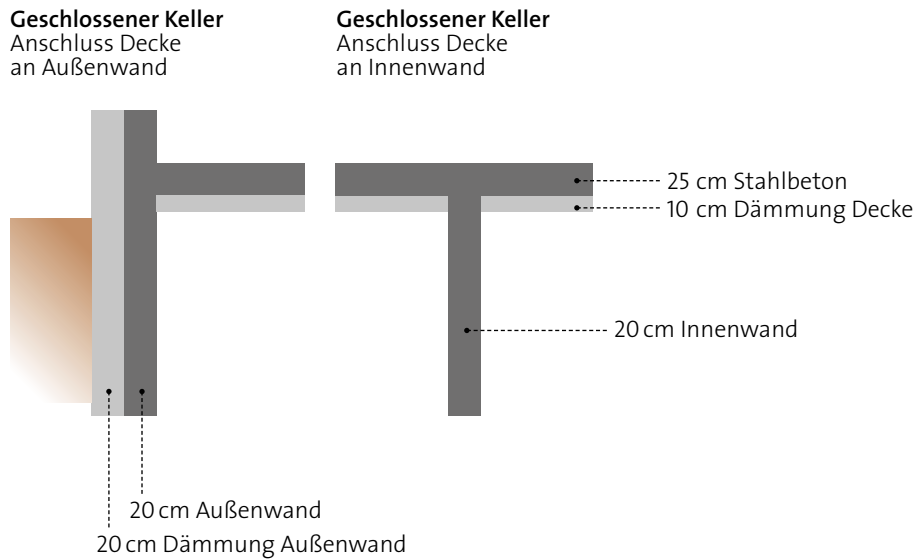


Abb. 33 | Ausführungsvorschlag geschlossener Keller, Dämmung in Passivhausqualität, Dämmstoff EPS mit $\lambda = 0,031 \text{ W/mK}$, Dämmung an der Deckenuntersicht 10 cm. © Z + B

Bei hoch gedämmten Gebäuden wird der Lüftungsleitwert annähernd gleich groß oder sogar größer als der Transmissionsleitwert. In diesem Fall kann das Vorsehen einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung wesentlich mehr zur Senkung der Heizlast beitragen als eine eher aufwändige, weitere Verbesserung der thermischen Qualität der Gebäudehülle. Mit einer Wärmerückgewinnungsanlage für kleinvolumige Wohnhäuser kann der Lüftungsleitwert auf zumindest 20% seines ursprünglichen Werts herabgesenkt werden.

Die Verkleinerung des Lüftungsleitwerts bei hoch gedämmten Gebäuden ist sehr wirkungsvoll. <<

> Maßnahmen zur Vergrößerung der solaren Gewinne

In den Ansätzen für die Heizlastberechnung nach PHPP werden – um auf der sicheren Seite zu bleiben – nur sehr niedrige solare Bestrahlungsstärken angesetzt. Aus diesem Grund wird sich die Optimierung der solaren Gewinne nur wenig auf die Reduktion der Heizlast auswirken. In diesem Zusammenhang darf aber nicht übersehen werden, dass die Vergrößerung der solaren Gewinne nicht nur den Heizwärmebedarf – und damit die Betriebskosten – deutlich zu senken vermag, sondern auch wesentlich zu einer Erhöhung der Wohnqualität beiträgt.

Die solaren Gewinne werden durch die Fenstergrößen, die Orientierung der Fenster, den Gesamtenergiedurchlassgrad der Gläser und etwaige Verschattungseffekte beeinflusst. Bei der Variation von Fenstergrößen ist zu beachten, dass bei Vergrößerung der Fenster nicht nur der solare Gewinn, sondern auch die Transmissionswärmeverluste steigen. Lediglich südorientierte Fenster heutiger Bauart bilanzieren positiv in dem Sinne, dass der solare Gewinn größer ist als der Transmissionswärmeverlust. Ost- und westorientierte Fenster bilanzieren im Allgemeinen ausgeglichen, während die Vergrößerung nordorientierter Fenster verlässlich zu einer Erhöhung von Heizlast und Heizwärmebedarf führt, also kontraproduktiv ist.

Optimierung der solaren Gewinne erfordert intelligente Planung. <<



Positionierung des Rohrregisters

Fällt aufgrund des Ergebnisses der Auslegungsberechnungen für die Registerflächen, aufgrund der Forderungen des Statikers oder aufgrund haustechnischer Überlegungen die Entscheidung, nur Teilflächen der Decke eines Raums thermisch zu aktivieren, so stellt sich sofort die Frage, wo die beheizten Deckenteile am besten zu positionieren sind.

Die Antwort auf diese Frage hängt eng mit dem Umstand zusammen, dass es sich bei der aktivierten Decke um eine reine Strahlungsheizung handelt. Bereits diese Überlegung führt auf folgende Planungsempfehlungen:

- > Da der Wärmetransport durch Strahlung erfolgt, ergibt sich bereits aus einfachen geometrischen Überlegungen die Aussage, dass beheizte Deckenflächen in der Nähe zu den Kanten zwischen Wänden und Decke weniger Wärme abgeben werden als solche in der Deckenmitte.
- > Der Strahlungsaustausch zwischen beheizter Decke und allen anderen inneren Oberflächen der raumbegrenzenden Bauteile führt zu einem Temperaturnausgleich. Es ist günstig, diesen Effekt auszunutzen und beheizte Deckenflächen derart zu positionieren, dass potentiell kühlere Flächen – dies sind fast immer die Fensterflächen – durch den Strahlungsaustausch erwärmt werden. Der Strahlungsaustausch wird dann sehr wirksam, wenn die beheizte und die kühle Fläche in einem günstigen Winkel zueinander stehen. Salopp ausgedrückt ist der Strahlungsaustausch hoch, wenn sich warme und kühle Fläche „gut sehen“.
- > Der Strahlungsaustausch findet natürlich nicht nur zwischen der Decke und den anderen raumbegrenzenden Bauteilen statt, sondern betrifft auch alle im Raum befindlichen Gegenstände – wie z. B. die Möblierung – aber natürlich auch die im Raum befindlichen Personen. Es ist daher naheliegend, die Position der beheizten Deckenflächen auch von der Raumnutzung abhängig zu machen. Die Positionierung von thermisch aktivierten Deckenflächen über Bereichen wie Esstisch oder Sitzecken erhöht den thermischen Komfort im Raum.

Natürlich werden die oben skizzierten Planungsempfehlungen oft nicht alle gänzlich eingehalten werden können. Auch der Statiker wird mit seinen Ansprüchen die Positionierung des oder der Rohrregister wesentlich mitbestimmen. Wie so oft ist es daher die Aufgabe des Bauplaners, Kompromisse zu finden, die alle Aspekte adäquat berücksichtigen.

Registerflächen in gutem „Sichtkontakt“ zu kühlen Flächen positionieren. <<

Abb. 34 | links

Die Belegung der zu aktivierenden Decke erfolgt nach einem Verlegungsplan üblicherweise auf der unteren Bewehrungslage einer Ortbetondecke oder aus montage-technischen Gründen auf einer leichten Baustahlgittermatte direkt auf einer Elementdecke.

© Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH

Aufbau der thermisch aktivierten Decke

Wärmestrom durch Dämmung „steuerbar“

Der Wärmefluss innerhalb der Baukonstruktion nimmt immer den Weg des geringsten Widerstandes. >>

Wärme fließt immer von Orten höherer Temperatur zu Orten niedrigerer Temperatur. >>

Eine wesentliche Anforderung an die thermisch aktivierte Decke besteht darin, dass der überwiegende Teil der im Heizbetrieb von der Decke abgegebenen Wärme dem unter der Decke liegenden Raum zukommen muss. Analog ist für den Kühlbetrieb zu fordern, dass hauptsächlich dem unterhalb der Decke liegenden Raum Wärme entzogen wird. Aus diesen beiden Anforderungen ergeben sich aus bauphysikalischer Sicht unmittelbar folgende Planungshinweise:

- > Schichten oder Aufbauten mit hohem thermischen Widerstand an der Deckenuntersicht sind unbedingt zu vermeiden, da sie die Wärmeabgabeleistung der thermisch aktivierten Decke drastisch verringern können. Ideal ist es, wenn die Deckenuntersicht im Bereich der thermisch aktivierten Flächen aus Sichtbeton ausgeführt oder nur dünn verspachtelt wird. Wird die Deckenuntersicht verputzt, so sollte ein Verputz mit hoher Wärmeleitfähigkeit verwendet werden. Akustikputze, die aufgrund ihrer schallabsorbierenden Wirkung relativ niedrige Wärmeleitfähigkeit aufweisen, sollten daher vermieden werden. Wie bereits angesprochen sind auch abgehängte Decken aufgrund der Abschirmung der Wärmestrahlung gegen den Raum mit dem Konzept der Thermischen Bauteilaktivierung nicht verträglich und daher unter thermisch aktivierten Flächen nicht zulässig.
- > Das Einbetten der Heizregister in die Stahlbetondecke bewirkt, dass die Wärme vom Register sowohl nach unten als auch nach oben abgegeben wird. Wie groß der Anteil des nach oben – also in die „falsche“ Richtung – abfließenden Wärmestroms am gesamten vom Register abgegebenen Wärmestrom ist, hängt vom thermischen Widerstand der über der Stahlbetondecke liegenden Konstruktion ab. Natürlich muss hierbei zwischen verschiedenen Arten von Geschoßdecken unterschieden werden:

1. Decke zwischen Regelgeschoßen

Der Fußbodenaufbau sollte neben der Trittschalldämmung weitere wärmedämmende Schichten aufweisen. Damit wird der thermische Widerstand erhöht und der vom Heizregister nach oben abfließende Wärmestrom stark verkleinert. Bei Einbau einer 10 cm dicken Dämmschüttung lässt sich z. B. der nach oben abfließende Wärmestrom auf wenige Prozente des Gesamtwärmestroms reduzieren.

2. Oberste Geschoßdecke

Die oberste Geschoßdecke grenzt entweder an einen unbeheizten Dachraum oder ist als Flachdach ausgebildet. In beiden Fällen muss die Decke sehr gut gedämmt sein, da ansonsten aufgrund der oberhalb der Decke im Winter auftretenden tiefen Temperaturen der vom Heizregister nach oben abfließende Wärmestrom zu groß wird. In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, dass bei der Planung der Attika besonderes Augenmerk auf die Vermeidung von zu großen Wärmeverlusten zu legen, also die Wärmebrückenwirkung klein zu halten ist.

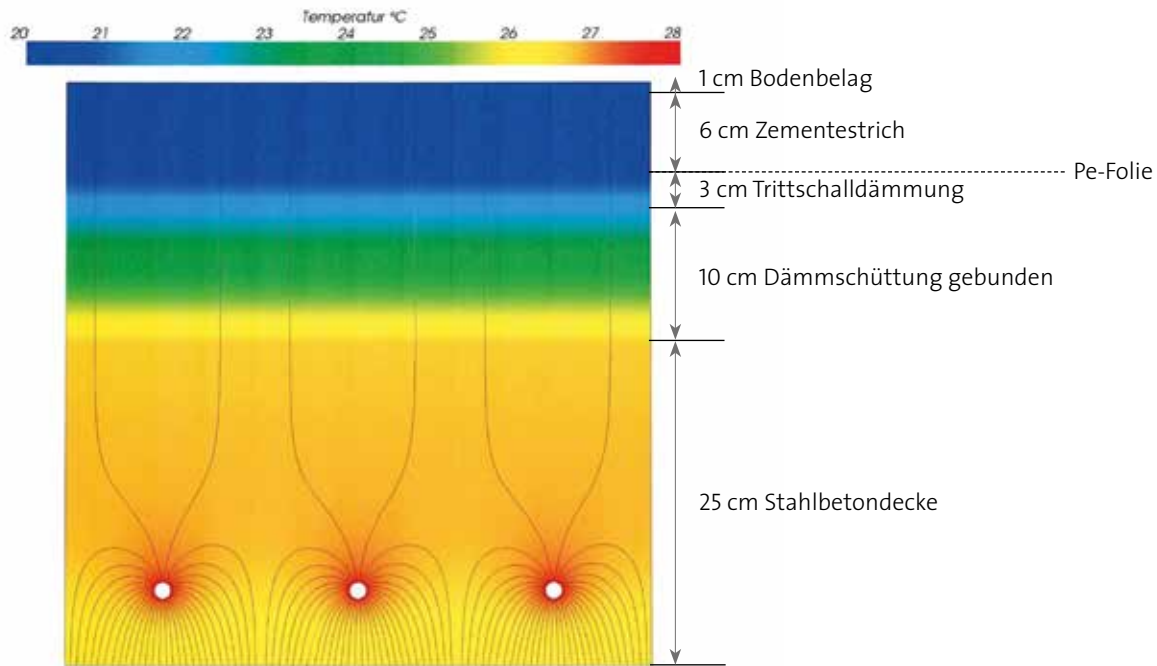


Abb. 35 | Darstellung der Temperaturverteilung und der Wärmestromlinien;
Deckenaufbau; Heizfall: Heizmitteltemperatur 28 °C; Raumlufttemperatur 20 °C. © Klaus Kreč

3. Flachdach

Im Fall des Flachdachs ist zu berücksichtigen, dass die Sonneneinstrahlung auf eine horizontale oder nur schwach geneigte Fläche im Sommer extrem hoch ist. Durch diese Sonneneinstrahlung erhitzt sich die Dachhaut, was in der Folge zu einem Wärmeeintrag in den unter dem Dach liegenden Raum führt und zu einer Überwärmung bzw. zu einem erhöhten Kühlbedarf führen kann. Wie groß dieser im Sommer unerwünschte Effekt ist, hängt eng mit der Farbgebung des Dachs zusammen. Bei dunkler Dachoberfläche können bis zu ca. 90% der auftreffenden Sonnenstrahlung absorbiert werden, was zu sehr hohen Oberflächentemperaturen und großem Wärmeeintrag führt. Ist die Dachoberfläche hingegen hell, so wird ein Großteil der Sonneneinstrahlung reflektiert und nur noch ca. 30% der Strahlung werden absorbiert. Es ist daher aus Gründen des Wärmeeintrags im Sommer zu empfehlen, die Haut eines Flachdachs möglichst hell zu gestalten.

Aus- führungs- beispiel

Österreichweit wurde in den vergangenen Jahren bereits eine Vielzahl von Gebäuden mit Bauteilaktivierung errichtet. In vielen Fällen wird die Bauteilaktivierung allerdings lediglich als Wärmeabgabe- bzw. Wärmeentzugssystem eingesetzt.

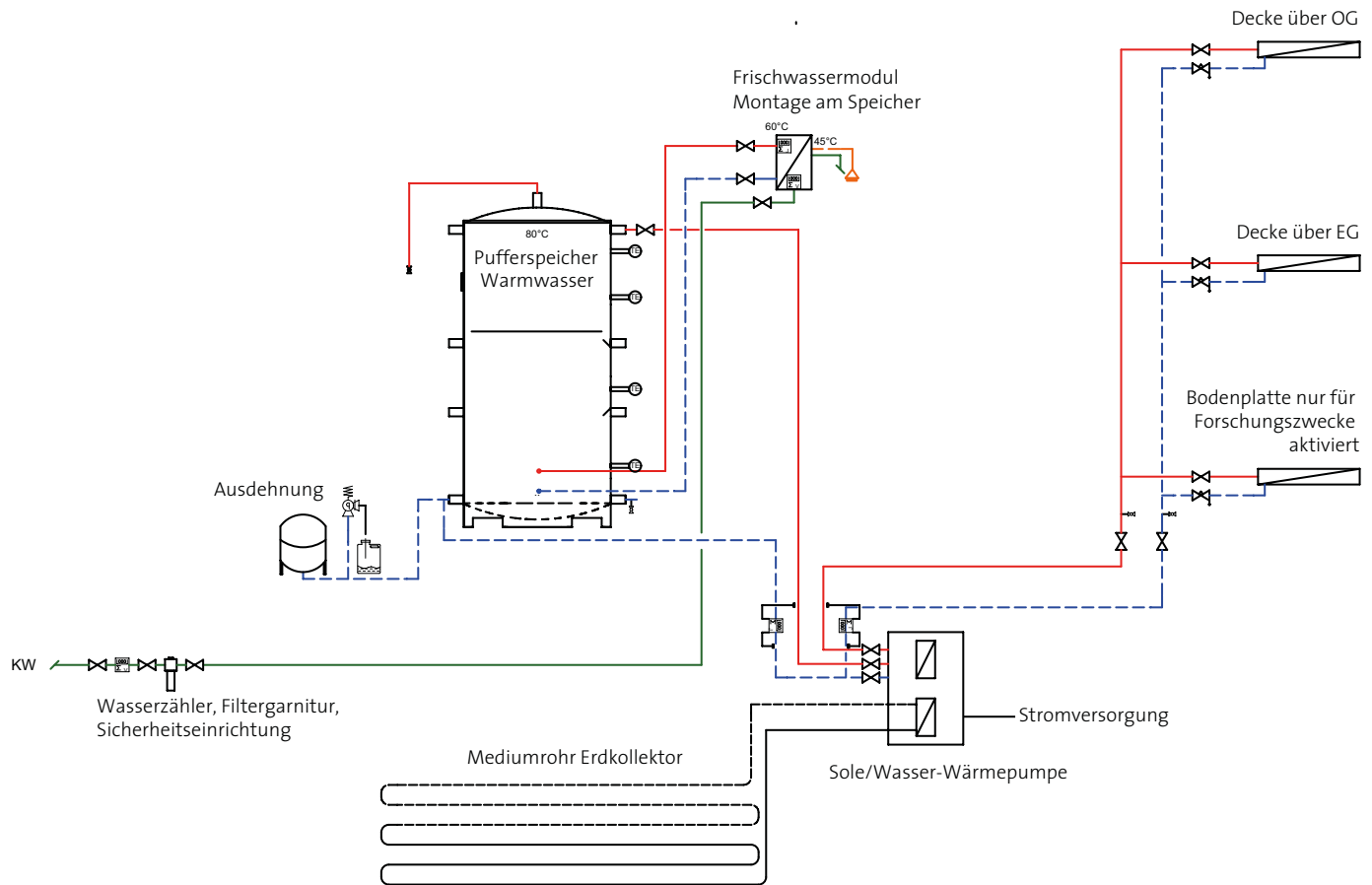


Abb. 36 | Prinzipdarstellung Musterhaus, Schema – Heizung, Entwurf.

© FIN – Future Is Now, Kuster Energielösungen GmbH

Ausgeführte Systemvariante 3

Um das Potential der TBA bestmöglich ausschöpfen zu können, wird die hohe Wärmespeicherkapazität des Betons genutzt, um den Anteil der erneuerbaren Energien am gesamten Energieverbrauch eines Gebäudes zu steigern. Die bisher umgesetzten Projekte stützen sich meist auf die Kombination PV-Wärmepumpe-TBA oder Solarthermie-TBA.

Für die Erläuterung der wesentlichen Schritte bei der Herstellung einer aktivierten Geschoßdecke wird ein jüngst erbautes Einfamilienhaus herangezogen. Eine Besonderheit ist, dass die Wärmepumpe mit Überschussstrom aus der Produktion eines Windparks über das öffentliche Stromnetz versorgt wird. Als Überschuss wird jener Anteil der Produktion definiert, welcher über 30% der Nennleistung des Windparks anfällt. Der Überschussstrom steht dann zur Verfügung, wenn

Versorgung der Wärmepumpe mit Überschussstrom aus der Produktion eines Windparks

seitens des Windparkbetreibers die Freigabe für die Nutzung vorliegt. Das nachfolgend beschriebene Gebäude wurde im Jahr 2016 in Niederösterreich erbaut. Die Gebäudehülle ist in Passivhaus-Qualität ausgeführt. Darüber hinaus ist der Wärmebedarf durch den Einbau einer Lüftungsanlage mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung weiter reduziert. Außer einem Anschluss an das öffentliche Stromnetz sind keine weiteren Anschlüsse zur Energieversorgung vorhanden. Die Wärmebereitstellung erfolgt über eine Sole-Wasser-Wärmepumpe. Der benötigte Erdkollektor ist in einer Tiefe von 1,2 m verlegt und hat eine Länge von 2x100 m bei einem Verlegeabstand von 0,6 m. Die resultierende Kollektorfläche beträgt somit 120 m².



Abb. 37 | Ausführungsbeispiele von Erdkollektoren.

© FIN – Future Is Now, Kuster Energielösungen GmbH

Die Nennwärmeleistung der Wärmepumpe wurde mit 6 kW gewählt und damit bewusst überdimensioniert, um in kurzen Windfreigabezeiten möglichst viel Energie im Gebäude speichern zu können. Die Wärmepumpe wird zur Warmwasserbereitung und zur Raumheizung herangezogen. Ein wasserbasierter Wärmespeicher für die Raumheizung ist nicht vorgesehen. Die Wärmepumpe ist direkt an die aktivierten Betonbauteile angeschlossen. Als Wärmespeicher für die Warmwasserbereitung wird ein Pufferspeicher herangezogen. Über eine Frischwasserstation wird das benötigte Warmwasser im Durchlaufprinzip erwärmt. Das Pufferspeichervolumen wird mit 1000 l angesetzt, um ausreichend Energie zur Deckung des Warmwasserwärmebedarfs mehrerer Tage speichern zu können. Die thermische Aktivierung der Decke zwischen EG und OG erfolgt über drei Heizkreise, welche auf einer Fertigteil-Elementdecke verlegt werden. In der obersten Geschoßdecke kommen vier Heizkreise zur Ausführung. Der Verlegeabstand der Rohrleitungen beträgt einheitlich 25 cm. Um im Bereich der Nassräume höhere Temperaturen als im übrigen Gebäude erreichen zu können, werden kleinere Abstände gewählt. Für dieses Ausführungsbeispiel ist keine Kühlung vorgesehen.



Abb. 38 | oben

Die Verlegeabstände in Nassräumen werden kleiner gewählt als im Wohnraum.

© Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH

Abb. 39 | rechts

Der Temperaturfühler wird in der Ebene des Rohrregisters montiert.

© Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH



Im dargestellten Beispiel ist auch die Fundamentplatte mit einer TBA ausgestattet. Diese in der Regel nicht notwendige Mehrausstattung ist für Forschungszwecke eingebaut.

Die Steuerung der Wärmepumpe erfolgt über Temperaturfühler (siehe Abbildung 39). Fühler in den Bauteilen aus Beton verhindern eine Überwärmung der Speichermassen bei den Beladevorgängen. Fühler in den Räumen melden an die Anlagensteuerung der TBA die aktuellen Werte der Raumtemperaturen.

Die Antriebsenergie für die Wärmepumpe soll weitestgehend aus Überschüssen der Windstromproduktion stammen. Die Windfreigabephase werden der Gebäuderegelung mit einem Fernsignal vom Energieversorger angezeigt. Die Anlagensteuerung der TBA ist so programmiert, dass elektrische Energie aus der regulären Stromproduktion nur im absolut notwendigen Ausmaß bezogen wird. Während der Freigabezeiten wird das Gebäude auf einem leicht erhöhten Temperaturniveau gehalten. Die dadurch gespeicherte Energie wird genutzt, um längere Zeiträume ohne Windfreigabe überbrücken zu können.

Interdisziplinäre Zusammenarbeit

Die Nutzung von Bauteilen als Speichermedium für die haustechnische Anlage erfordert ein optimiertes Zusammenspiel von Bautechnik und Haustechnik. Sowohl in der Planung als auch in der Ausführung ist die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Baumeistern und Installateuren unumgänglich. Während Bauteilaufbauten im Normalfall durch die Bautechnik festgelegt werden und die Haustechnik die fertigen Bauteilaufbauten lediglich als Grundlage für die Dimensionierung ihrer Anlagen heranzieht, werden die Haustechniker bei der Planung aktivierter Gebäude in die Festlegung der Aufbauten einbezogen. Schließlich handelt es sich bei den Bauteilen um das Speichermedium der technischen Gebäudeausrüstung.

Beim gezeigten Ausführungsbeispiel kommt eine sogenannte Elementdecke zur Ausführung. Nach Abschluss aller Verlege- und Einbauarbeiten wird eine Lage Ortbeton aufgebracht.

Der erste Schritt bei der Deckenherstellung ist die plangemäße Verlegung der bewehrten Fertigteile. Diese werden mit einem Kran auf dem zuvor hergestellten Mauerwerk bzw. einer tragsicheren Unterstellung nach den Vorgaben des Tragwerksplaners positioniert.

Die Rohrleitungen für die TBA werden nach den Vorgaben in den Verlegeplänen auf dem Betonbrett verlegt. Für die lagerichtige Fixierung der Rohrleitungen werden schmale Streifen aus Baustahlgittermatten zwischen den Gitterträgern aufgelegt. Diese erfüllen keine statische, sondern eine rein baupraktische Aufgabe. Auf den zugeschnittenen Stahlmatten werden die Rohrleitungen der Bauteilaktivierung am einfachsten mit Kabelbindern befestigt. Diese Befestigung ist notwendig, um eine ungewollte Lageänderung während der Betonierarbeiten zu verhindern.

Ein Mindestmaß an Verständnis für das jeweils andere Gewerk ist Voraussetzung für einen geordneten Projektablauf von der Konzeptentwicklung bis zur Fertigstellung. >>

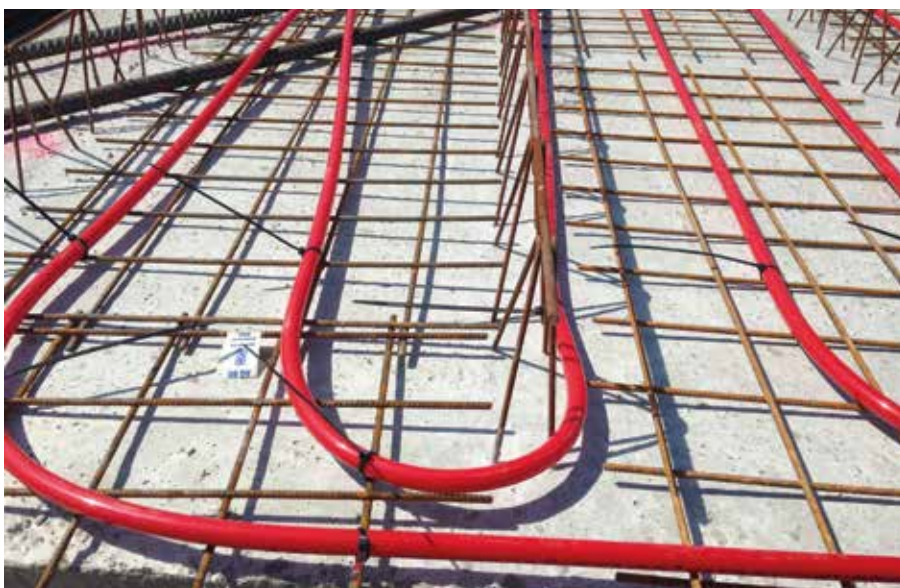


Abb. 40 | oben

Ausführung Ortbetondecke:
Die Rohrleitungen werden in der
Regel auf die unterste
Bewehrungslage montiert.

© Thomas Schönichler/CL

Abb. 41 | links

Ausführung Elementdecke:
Die Rohrleitungen werden auf
einem Baustahlgitter direkt auf
der Elementdecke befestigt.

© Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH

Handelt es sich bei der auszuführenden Decke nicht um eine Elementdecke, sondern um eine Ortbetondecke, werden die Rohrleitungen in der Regel auf der unteren Bewehrungslage mit Kabelbindern befestigt. Die Festlegung der Lage der Rohre erfolgt in Absprache mit dem Statiker.

Die Verlegeabstände und die Führung von Rohrleitungen werden im Zuge der Planung ermittelt und in einem Verlegeplan festgehalten. Dieser enthält alle Angaben, die für die ordnungsgemäße Verlegung der Rohrleitungen samt allen Anschlüssen und Einbauten notwendig sind. Die Rohrleitungen werden in der Regel vor Ort aus Endlosschläuchen abgelängt. Die Stückelung von Rohrleitungen im Verlauf eines Heizkreises ist zu vermeiden. Die notwendigen Verteiler und sonstigen Sonderteile sind an gut zugänglichen Bereichen zu platzieren und vor Beschädigung dauerhaft zu schützen. Für die Anbindung von Leitungen an Verteiler o. ä. sind vom Rohrhersteller freigegebene Verbindungsmittel zu verwenden. Die Arbeitsdurchführung erfolgt ausschließlich mit den auf die Verbindungsmittel abgestimmten Werkzeugen.



Abb. 42 | Bei Stückelungen der Rohrleitungen wird mit einer Presse eine Hülse auf die Kupplung aufgeschoben und nachträglich geschützt. © Rehau

Als Rohrmaterial nur qualitätsgesichertes Material verwenden. >>

Für die Anwendung der Bauteilaktivierung können sowohl Kunststoffrohre als auch Kupferrohre mit Kunststoffmantel eingesetzt werden. Die Wahl des eingesetzten Rohrsystems erfolgt auf Grundlage der technischen Anforderungen sowie der wirtschaftlichen Umsetzbarkeit im Hinblick auf Investitions- und Betriebskosten und sollte für jedes Projekt individuell entschieden werden.

Nach Abschluss aller Verlege- und Anschlussarbeiten der Leitungen (an Verteiler etc.) ist für das Wärmeversorgungssystem eine Dichtheitsprüfung durchzuführen. Wird mit Druckluft geprüft, so wird ein Prüfdruck von 2,5 bis 3 bar empfohlen. Bei Verwendung von Wasser als Prüfmedium ist der Druck auf 4 bis 6 bar zu erhöhen. Nach zwei Stunden ist der Druck zu kontrollieren und gegebenenfalls nachzubessern. Die Prüfdauer ist mit 12 Stunden festgelegt. Die Dichtheit ist gegeben, wenn an keiner Stelle der Rohrleitungen Flüssigkeit austritt und der Prüf-



Abb. 43 | oben

Das Wärmeversorgungssystem wird mit Druckluft beaufschlagt.

© Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH

Abb. 44 | unten links u. rechts

Die Druckprüfung erfolgt vor, während und nach den Betonierarbeiten.

© Thomas Schönichler/CL;

© Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH



druck nicht mehr als 1,5 bar abfällt. Die Durchführung der Prüfung und das Prüfergebnis sind zu protokollieren.

In allen Bereichen, in denen durch Bewegung der Schläuche Beschädigungen während der Ausführung oder auch danach auftreten können, sind geeignete Maßnahmen zum Schutz der Leitungen vorzusehen. Im Bereich von Durchführungen, von Aus- oder Einleitungen der Rohre in Bauteilen aus Beton kann dies beispielsweise durch übergestülpte Schutzummantelungen sichergestellt werden.

Um die fertig verlegten Schläuche vor Beschädigungen zu schützen, sollte die obere Bewehrungslage möglichst rasch nach der Verlegung der Rohrleitungen eingebaut werden.

Rechtzeitig vor dem Beginn der Betonierarbeiten ist das Wärmeverteilungssystem mit Druck (in Höhe der während der oder nach den Verlegearbeiten durchgeführten Druckprüfung) zu beaufschlagen. Der Druck in den Rohrleitungen ist während der gesamten Betonierarbeiten laufend zu kontrollieren und aufrechtzuerhalten. Eventuelle Beschädigungen können so frühzeitig erkannt und noch vor dem Erhärten des Betons behoben werden.

Die Betonierarbeiten für aktivierte Bauteile unterscheiden sich grundsätzlich nicht von jenen bei anderen Bauteilen. Auch hinsichtlich der Qualität des eingebauten Betons besteht kein Unterschied. Es ist lediglich zu beachten, dass die mit Kabelbindern fixierten Leitungen während der Arbeiten ihre ursprüngliche Lage nicht verändern. Der Einbau von zu steifem Beton ist ebenso zu vermeiden wie das zu schnelle Entleeren von Transportkübeln aus großer Höhe. Durch sorgsames Rütteln des Betons sind die Rohrleitungen vollständig von Beton umgeben. Mit dem innigen Kontakt ist eine gute Wärmeleitfähigkeit sichergestellt. Im Bereich der Verteiler (hier laufen sämtliche Heizkreise zusammen) ist erhöhte Sorgfalt bei der Verdichtung des Betons geboten. Das Finalisieren der Oberfläche der Rohdecke erfolgt gleich wie bei jeder sonstigen Stahlbetondecke.

Bei aktivierten Deckenflächen mit der Wirkungsweise der TBA in Richtung der darunter liegenden Räume sind die Verteilerbalken an der Deckenuntersicht zu positionieren. Dabei ist zu beachten, dass der Verteiler mit der Entlüftungseinrichtung nicht an der höchsten Stelle des hydraulischen Systems positioniert ist. Es muss sichergestellt werden, dass es am höchsten Punkt des Systems nicht zu ungewollten Luftansammlungen kommt. Der Einbau von Luftabscheidern ist in jedem Fall zu empfehlen.



Abb. 45 | oben

Einbringen und Verdichten des Frischbetons sowie Höhenkontrolle der zukünftigen Deckenoberkante.

© Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH

Abb. 46 | rechts

An einer Deckenuntersicht angeordneter Verteilerbalken für die darüberliegenden Heizkreise.

© Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH



Berechnungs- beispiel

Für jedes Gebäude ist im ersten Schritt eine Heizlastberechnung durchzuführen. Aufgrund der Passivhausqualität der Gebäudehülle scheiden normgemäße Heizlastberechnungen aus.

Daher wird die Heizlastberechnung unter Verwendung des Passivhausprojektierungspakets (PHPP) durchgeführt. Um die Berechnungsschritte durchschaubarer zu machen, wird in der Folge die Heizlastberechnung gemäß PHPP in Form einer Handrechnung dargestellt.



Abb. 47 | Rendering des Berechnungsbeispiels. © Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH

Überbaute Fläche:	87,45 m ²
Bruttogrundfläche (BGF):	$2 \cdot 87,45 = 174,90 \text{ m}^2$
Bruttohöhe:	7,07 m
Bruttovolumen:	618,30 m ³
Perimeter (Umfang):	37,70 m
Fassadenfläche:	266,54 m ²
Hüllfläche:	441,44 m ²
Wohnnutzfläche (lt. Einreichplan):	123,75 m ²
Lichte Raumhöhe (EG und OG):	2,65 m

Eckdaten des Gebäudes

- > Das Gebäude ist nicht unterkellert, besteht aus EG und OG und hat die Form eines Quaders.
- > Die Grundfläche dieses Quaders (überbaute Fläche) hat einen Flächeninhalt von $8,25 \cdot 10,60 = 87,45 \text{ m}^2$.
- > Die Höhe des Quaders ergibt sich zu $2 \cdot 2,65 + 0,63 + 0,40 + 0,74 = 7,07 \text{ m}$.
- > Zu den lichten Raumhöhen von EG und OG (jeweils 2,65 m) ist die Dicke der obersten Geschoßdecke von 0,63 m, die Dicke der Zwischendecke von 0,40 m

und die Dicke der Fundamentplatte von 0,74 m aufzuaddieren, um auf die Bruttohöhe zu kommen. Gemäß PHPP ist die Bruttohöhe von der Oberkante der obersten Geschoßdecke bis zur Unterkante der Dämmung unter der Fundamentplatte zu messen; die Sauberkeitsschicht und die Rollierung werden somit nicht in die Rechnung miteinbezogen.

Bauteilliste (Außenbauteile)

In der Bauteilliste werden sämtliche Bauteile der Gebäudehülle erfasst. Die Schichtaufbauten für die U-Wert-Berechnung werden dem Energieausweis entnommen.

		U-Wert [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]
Oberste Decke	22 cm STB-Platte / 40 cm EPS W2o Plus	0,08
Außenwand	52 cm zweischalige, kerngedämmte, verputzte Blähtonwand	0,10
Fundamentplatte	Fußbodenaufbau / 25 cm STB-Platte / 30 cm Dämmung*	0,08**
Fenster	3-fach Wärmeschutzglas mit Passivhausrahmen	0,69
Fenstertüren	3-fach Wärmeschutzglas mit Passivhausrahmen	0,65
Eingangstür	Passivhaustür	0,80

*Die Dämmstoffstärke von 30 cm wurde gewählt, um die Förderung für eine Ausführung in Passivhausqualität zu erhalten.

**Mit dem angegebenen U-Wert ist der thermische Widerstand für den Wärmedurchgang durch das Erdreich gemäß ÖNORM EN ISO 13370 bereits berücksichtigt.

Flächenermittlung für die Außenbauteile

Die Flächenermittlung wird für alle Komponenten der Gebäudehülle unter Verwendung von Außenabmessungen durchgeführt. Grundlage dieser Berechnungen ist der Einreichplan.

Für die **Fenster- und Türflächen** werden die Rohbaumaße der Fensteröffnungen angesetzt. Da in der Heizlastberechnung nach PHPP auch der solare Energieeintrag berücksichtigt wird, sind die Fenster- und Türöffnungen getrennt nach den Fassadenorientierungen zu erheben.

Fassade	Fenster- bzw. Türfläche [m ²]	
NO	1,44	2 Fenster (F)
SO	6,58	4 Fenster (F)
SO	2,33	1 Fenstertür (FT)
SW	8,01	4 Fenster (F)
SW	4,19	1 Fenstertür (FT)
NW	6,01	4 Fenster (F)
NW	2,70	Eingangstür (EGT)
	31,26	Gesamtfläche Fenster und Türen

Für die **Bauteile der Gebäudehülle** ergeben sich somit folgende (Brutto-) Flächen:

	Fläche [m ²]
Oberste Decke	87,45
Außenwand	235,28
Fundamentplatte	87,45
Fenster (F)	22,04
Fenstertüren (FT)	6,52
Eingangstür (EGT)	2,70
Hüllfläche	441,44

Berechnung der Transmissionsleitwerte | L_e L_b

Es sind die Teilleitwerte als Produkt aus U-Wert und zugehöriger Bauteilfläche zu bilden und aufzusummieren, wobei zwischen luftberührten und erdbodenberührten Bauteilen zu unterscheiden ist.

$$\text{Fläche [m}^2\text{]} \cdot \text{U-Wert [Wm}^{-2}\text{K}^{-1}\text{]} = \text{Leitwert [WK}^{-1}\text{]}$$

a) Luftberührte Bauteile:

	Fläche [m ²]	U-Wert [Wm ⁻² K ⁻¹]	Leitwert [WK ⁻¹]
Oberste Decke	87,45	0,08	6,996
Außenwand	235,28	0,10	23,528
Fenster	22,04	0,69	15,208
Fenstertüren	6,52	0,65	4,238
Eingangstür	2,70	0,80	2,160
L_e luftberührte Bauteile			52,130

L_e
Leitwert der
luftberührten Bauteile

b) Erdbodenberührte Bauteile:

	Fläche [m ²]	U-Wert [Wm ⁻² K ⁻¹]	Leitwert [WK ⁻¹]
Fundamentplatte	87,45	0,08	6,996
L_b erdbodenberührte Bauteile			6,996

L_b
Leitwert der
erdbodenberührten Bauteile

Aufgrund der Anforderung an die Detailplanung der Bauteilanschlüsse von Passivhaushüllen, wonach die Auswirkung von Wärmebrücken auf den Gesamtleitwert derart klein bleiben muss, dass der gesamte Leitwert-Zuschlag null oder negativ wird, ist bei Passivhäusern kein Wärmebrückenzuschlag in Rechnung zu stellen. Für das Gebäude wurde ein Wärmebrückennachweis vorgelegt, der in Summe auf einen negativen Zuschlag (-2,0 WK⁻¹) führt. Mit dem Nullsetzen dieses Zuschlags wird somit im Zuge dieser überschlägigen Heizlastberechnung eine gewisse Sicherheit eingeführt.

Heizlastberechnung nach PHPP für das gesamte Haus

Nach PHPP wird die Heizlast sowohl für einen kälteren Tag mit hoher Sonneneinstrahlung als auch für einen etwas wärmeren, aber trüben Tag berechnet. Als Heizlast wird der jeweils größere Wert angesehen.

Klimadaten für die Heizlastberechnung

Die Klimadaten für die Heizlastberechnung werden nach PHPP für den Standort Stockerau wie folgt entnommen:

Klima 1 | klarer, kalter Tag

Klima 2 | bedeckter, wärmerer Tag

	Klima 1	Klima 2
Außenlufttemperatur	-9,0 °C	-7,4 °C
Erdbodentemperatur	7,5 °C	7,5 °C
Bestrahlungsstärke NO	12 Wm ⁻²	11 Wm ⁻²
Bestrahlungsstärke SO	51 Wm ⁻²	19 Wm ⁻²
Bestrahlungsstärke SW	51 Wm ⁻²	19 Wm ⁻²
Bestrahlungsstärke NW	12 Wm ⁻²	11 Wm ⁻²

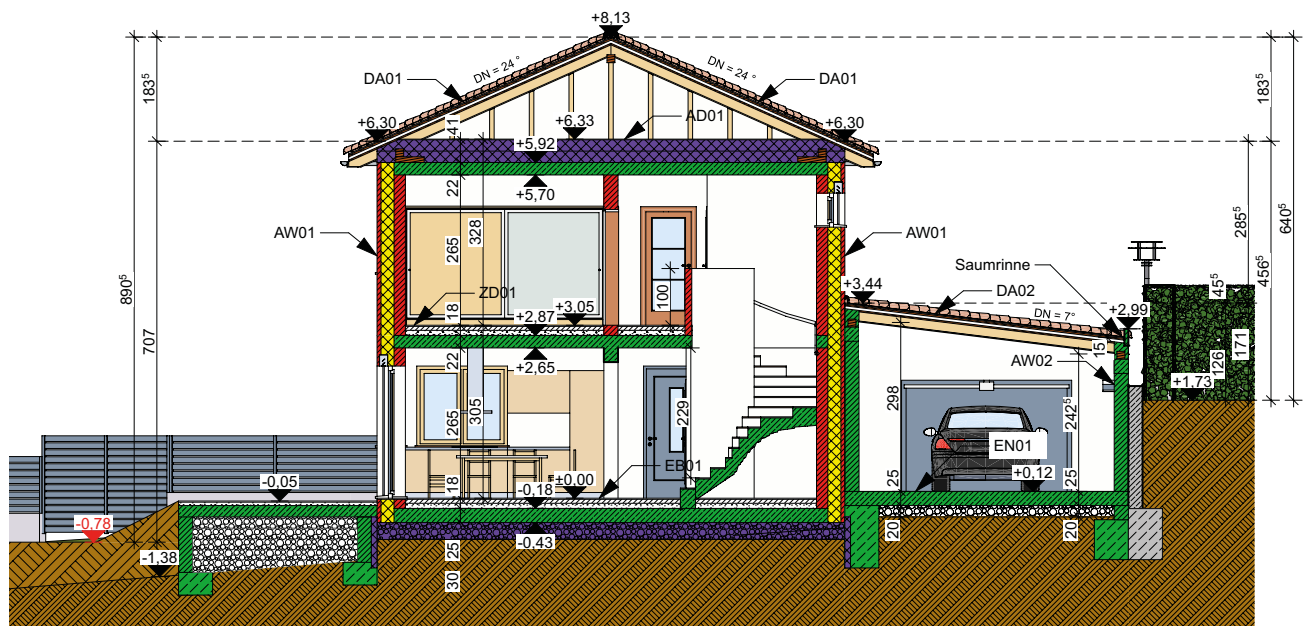


Abb. 48 | Schnitt durch den Hausentwurf des Berechnungsbeispiels.

© Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH

1. Berechnung der Transmissionswärmeverluste | Φ_T

a) Die **Wärmeverluste über die Fundamentplatte** sind gemäß PHPP von den klimatischen Annahmen unabhängig und ergeben sich zu

$$\Phi_b = L_b \text{ erdbodenberührte Bauteile} \cdot (\text{Solltemperatur} - \text{Erdbodentemperatur})$$

$$\Phi_b = 6,996 \cdot (20 - 7,5) = \mathbf{87,5 \text{ W}}$$

Die Solltemperatur im Gebäude wird gemäß Norm mit 20 °C angenommen.

b) Die **Wärmeverluste über die luftberührten Bauteile** ergeben sich für den klaren, kalten Tag (**Klima 1**) zu

$$\Phi_e = L_e \text{ luftberührte Bauteile} \cdot (\text{Solltemperatur} - \text{Außentemperatur})$$

$$\Phi_e = 52,13 \cdot (20 - (-9)) = \mathbf{1511,77 \text{ W}}$$

Für den bedeckten Wintertag (**Klima 2**) fallen sie mit

$$\Phi_e = 52,13 \cdot (20 - (-7,4)) = \mathbf{1428,36 \text{ W}}$$

etwas kleiner aus.

c) Transmissionswärmeverlust gesamt | Φ_T

Die Transmissionswärmeverluste des Gebäudes ergeben sich als Summe der Wärmeverluste der erdbodenberührten Bauteile und der Wärmeverluste der luftberührten Bauteile zu

$$\Phi_T = \Phi_b + \Phi_e = 87,5 + 1511,77 = 1599,3 \text{ W (Klima 1)}$$

$$= 87,5 + 1428,36 = 1515,9 \text{ W (Klima 2)}$$

Die Transmissionswärmeverluste ergeben sich somit wie folgt:

Klima 1 | **1599,3 W**

Klima 2 | **1515,9 W**

Φ_b
Wärmeverluste über
erdbodenberührte Bauteile

Φ_e
Wärmeverluste über
luftberührte Bauteile

Φ_T
Gesamtwärmeverlust

2. Berechnung der Lüftungswärmeverluste | Φ_V

Das Gebäude ist mit einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ausgestattet. Gemäß Energieausweis kann der Wärmebereitstellungsgrad der Anlage mit mindestens 80% ($\eta_{WRG} = 0,8$) angesetzt werden.

Für die aus hygienischen Gründen erforderliche Frischluftzufuhr wird mit einem 0,3-fachen Luftwechsel ($n_L = 0,3 \text{ h}^{-1}$) der Mindestwert gemäß PHPP angesetzt. Der hygienischen Lüftung überlagert ist ein Luftwechsel, der sich aufgrund von Undichtigkeiten in der Gebäudehülle („Infiltration“) einstellt. Gemäß PHPP ist die Luftwechselzahl für die Infiltration im Fall der Heizlastberechnung auf $n_X = 0,12 \text{ h}^{-1}$ zu setzen, wenn mit dem Blower-Door-Test $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$ nachgewiesen wurde.

a) Raumvolumen

Das für den Luftwechsel maßgebliche **Volumen** ergibt sich als Produkt von **Wohnnutzfläche und lichter Raumhöhe** zu

$$V = \text{Wohnnutzfläche} \cdot \text{lichte Raumhöhe} = 123,75 \cdot 2,65 = 327,94 \text{ m}^3.$$

b) Lüftungsleitwert

Bei der Berechnung des **Lüftungsleitwerts** ist zu berücksichtigen, dass nur die Wärmeverluste aufgrund der hygienisch erforderlichen Lüftung durch die Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage reduziert werden. Die Verluste aufgrund der Infiltration schlagen hingegen zu 100% zu Buche. Demnach errechnet sich der Lüftungsleitwert zu

$$L_V = 0,34 \cdot V \cdot [(n_L \cdot (1 - \eta_{WRG}) + n_X)] = 0,34 \cdot 327,94 \cdot [(0,3 \cdot (1 - 0,8) + 0,12)] = 20,07 \text{ WK}^{-1}.$$

Der Faktor 0,34 ist die volumenbezogene Wärmekapazität der Luft in $\text{Whm}^{-3}\text{K}^{-1}$.

c) Lüftungswärmeverlust

Die Lüftungswärmeverluste ergeben sich zu

$$\begin{aligned} \Phi_V &= L_V \cdot (\Theta_i - \Theta_e) = 20,07 \cdot (20 - (-9)) = 20,07 \cdot 29 = 582,0 \text{ W (Klima 1)} \\ &= 20,07 \cdot (20 - (-7,4)) = 20,07 \cdot 27,4 = 549,9 \text{ W (Klima 2)}. \end{aligned}$$

Klima 1 | 582,0 W

Klima 2 | 549,9 W

Φ_V

Lüftungswärmeverlust

η_{WRG}

Wärmebereitstellungsgrad

n_L

Luftwechselzahl

n_X

Luftwechselzahl für die Infiltration

V

Raumvolumen

L_V

Lüftungsleitwert

Θ_i

Solltemperatur des Raums

Θ_e

Außenluft Temperatur

3. Berechnung des Gesamtwärmeverlusts | Φ_I

Die Wärmeverluste des Gebäudes unter Auslegungsbedingungen ergeben sich als Summe der Transmissions- und der Lüftungswärmeverluste zu

$$\Phi_I = \Phi_T \text{ Transmissionswärmeverlust} + \Phi_V \text{ Lüftungswärmeverlust}$$

$$\begin{aligned} \Phi_I &= \Phi_T + \Phi_V = 1599,3 + 582,0 = 2181,3 \text{ W (Klima 1)} \\ &= 1515,9 + 549,9 = 2065,8 \text{ W (Klima 2)} \end{aligned}$$

$$\text{Klima 1} \quad | \quad 2181,3 \text{ W}$$

$$\text{Klima 2} \quad | \quad 2065,8 \text{ W}$$

 Φ_I

Gesamtwärmeverlust

 Φ_T

Transmissionswärmeverlust

 Φ_V

Lüftungswärmeverlust

4. Berechnung des Wärmeeintrags | Φ_g

Wärmeeinträge im Inneren des Gebäudes stellen sich aufgrund der Gebäudenutzung und der Sonneneinstrahlung durch die Fenster ein. Im Gegensatz zur normgemäßen Heizlastberechnung wird die Auswirkung der Wärmegewinne hier nicht vernachlässigt.

a) Nutzungsbedingter Wärmeeintrag | Φ_i

Es wird eine auf die Wohnnutzfläche bezogene Wärmeabgabeleistung von $1,9 \text{ W/m}^2$ (gemäß PHPP) angesetzt. Mit dieser sind alle durch die Personenbelegung, die Beleuchtung und den Betrieb von Geräten verursachten Wärmeabgaben erfasst.

Die nutzungsbedingte Wärmeabgabeleistung ergibt sich zu

$$\Phi_i = 1,9 \cdot \text{Wohnnutzfläche}$$

$$\Phi_i = 1,9 \cdot 123,75 = 235,1 \text{ W}$$

 Φ_g

Gesamtwärmeeintrag

 Φ_i

Nutzungsbedingter Wärmeeintrag

b) Wärmeeintrag aufgrund von Sonneneinstrahlung | Φ_S

Für den kalten, klaren Tag errechnet sich der Wärmeeintrag aufgrund von Sonneneinstrahlung durch die transparenten Teile der Gebäudehülle wie folgt:

$$\Phi_S = A_W \cdot g \cdot r \cdot I$$

	$A_W [\text{m}^2]$	g	r	$I [\text{Wm}^{-2}]$	Wärmeeintrag [W]
Fenster NO	1,44	0,51	0,27	12,0	2,38
Fenster SO	6,58	0,51	0,39	51,0	66,75
Fenstertür SO	2,33	0,51	0,41	51,0	24,85
Fenster SW	8,01	0,51	0,40	51,0	83,34
Fenstertür SW	4,19	0,51	0,44	51,0	47,95
Fenster NW	6,01	0,51	0,37	12,0	13,61

$$\text{Klima 1} \quad \Phi_S = 238,88$$

 Φ_S

Solarer Wärmeeintrag

 A_W

Fläche der Fenster und verglasten Türen (inkl. Rahmen)

 g

Gesamtenergiedurchlassgrad („g-Wert“) des Glases

 r

Reduktionsfaktor

 I

Solare Bestrahlungsstärke

HINWEIS:

Die Unterschiede in den Reduktionsfaktoren ergeben sich aufgrund der unterschiedlichen Glasanteile für die verschiedenen Fenster.

Die Berechnung für den bedeckten Tag unterscheidet sich nur durch die solaren Bestrahlungsstärken und führt auf folgendes Ergebnis:

	A_w [m ²]	g	r	I [Wm ⁻²]	Wärmeeintrag [W]
Fenster NO	1,44	0,51	0,27	11,0	2,18
Fenster SO	6,58	0,51	0,39	19,0	24,87
Fenstertür SO	2,33	0,51	0,41	19,0	9,26
Fenster SW	8,01	0,51	0,40	19,0	31,05
Fenstertür SW	4,19	0,51	0,44	19,0	17,86
Fenster NW	6,01	0,51	0,37	11,0	12,48

Klima 2 $\Phi_s = 97,70$

A_w
Fläche der Fenster und verglasten Türen (inkl. Rahmen)

g
Gesamtenergiedurchlassgrad („g-Wert“) des Glases

r
Reduktionsfaktor

I
Solare Bestrahlungsstärke

c) Wärmeeintrag gesamt | Φ_g

$$\begin{aligned}\Phi_g &= \Phi_i + \Phi_s = 235,1 + 238,88 = 474,0 \text{ W (Klima 1)} \\ &= 235,1 + 97,70 = 332,8 \text{ W (Klima 2)}\end{aligned}$$

Die im Inneren des Gebäudes unter Auslegungsbedingungen auftretenden Wärmegewinne ergeben sich als Summe der nutzungsbedingten und der solaren Wärmegewinne wie folgt:

Klima 1 | 474,0 W

Klima 2 | 332,8 W

Φ_g
Gesamtwärmeeintrag

Φ_i
Nutzungsbedingter Wärmeeintrag

Φ_s
Solarer Wärmeeintrag

5. Berechnung der Gebäudeheizlast | $\Phi_{HL,Geb}$

Die gesuchte Gebäudeheizlast ist die Differenz aus Wärmeverlust- und Wärmeeintragleistung und wird für beide außenklimatischen Annahmen errechnet:

$$\Phi_l \text{ Wärmeverlustleistung} - \Phi_g \text{ Wärmeeintragleistung} = \text{Gebäudeheizlast}$$

	Wärmeverluste [W]	Wärmeeintrag [W]	Heizlast [W]
Klima 1	2181,3	474,0	1707,3
Klima 2	2065,8	332,8	1733,0

Es zeigt sich, dass für das untersuchte Gebäude die Heizlast für beide Annahmen in Hinblick auf die außenklimatischen Verhältnisse annähernd gleich groß ist. Als Heizlast ist der größere Wert – also **1733 W** – zu nehmen.

Auf die Wohnnutzfläche bezogen ergibt sich mit

$$\frac{1733}{123,75} = \mathbf{14,0 \text{ Wm}^{-2}}$$

ein Wert, der **deutlich unter der Obergrenze von 25 Wm⁻²** liegt.

Als Ergebnis der Gebäudeheizlastberechnung stellt sich somit heraus, dass das Gebäude für eine alleinige Beheizung mittels thermisch aktivierter Geschoßdecken bestens geeignet ist.

Heizlastberechnung nach PHPP für die Wohnküche

Im Zuge der Auslegungsberechnungen muss die Heizlastberechnung für jeden Raum des beheizten Teils des Gebäudes wiederholt werden. Hier soll ein solcher Berechnungsgang exemplarisch für die Wohnküche im EG skizziert werden. Für diesen Raum ist die höchste flächenbezogene Heizlast zu erwarten, da der Fensteranteil im Vergleich zu den anderen Räumen deutlich am größten ist.

Die Heizlastberechnung wird nur für den trüben Tag – also Klima 2 – durchgeführt.



Bruttofläche:	$10,6 \cdot 4,125 = 43,73 \text{ m}^2$
Bruttohöhe:	$0,74 + 2,65 + 0,20 = 3,59 \text{ m}$
Fassadenfläche:	$67,67 \text{ m}^2$
Wohnnutzfläche (lt. Einreichplan):	$34,23 \text{ m}^2$
Lichte Raumhöhe:	$2,65 \text{ m}$

Eckdaten der Wohnküche

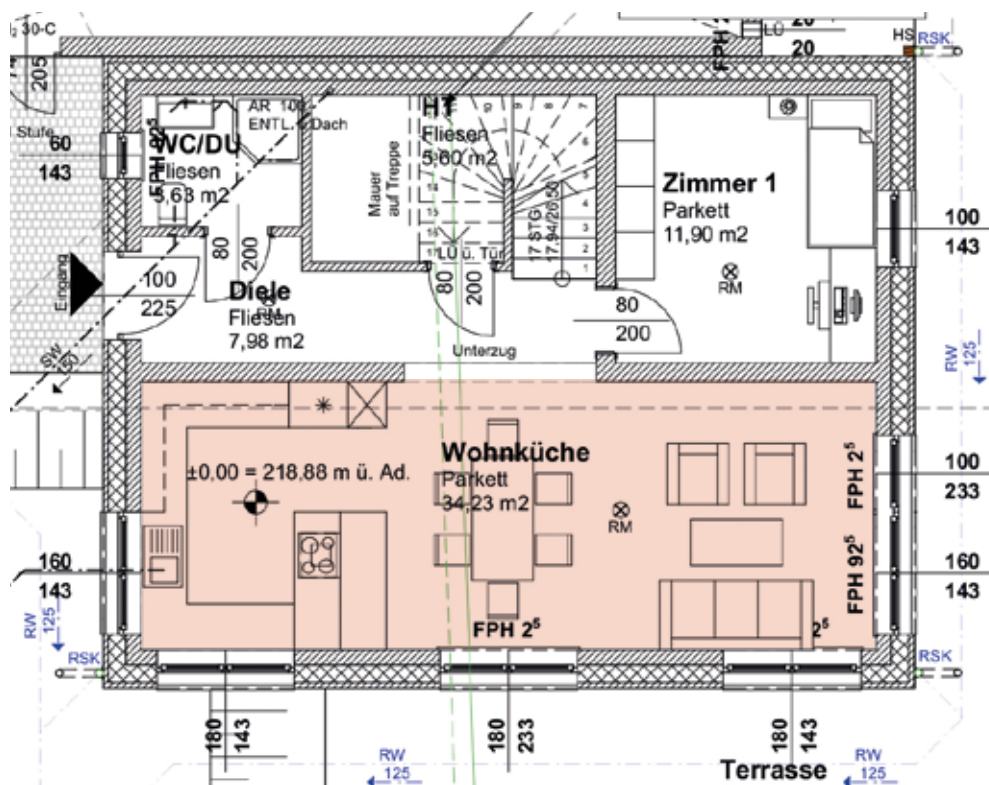


Abb. 49 | Lageplan Erdgeschoss des Berechnungsbeispiels. © Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH

Flächenermittlung für die Außenbauteile

Fenster- und Türflächen:

Fassade	Fenster- bzw. Türfläche [m ²]	
SO	2,29	1 Fenster (F)
SO	2,33	1 Fenstertür (FT)
SW	5,15	2 Fenster (F)
SW	4,19	1 Fenstertür (FT)
NW	2,29	1 Fenster (F)
	16,25	Gesamtfläche Fenster und Türen

Für die **Bauteile der Wohnküche** ergeben sich somit folgende (Brutto-) Flächen:

	Fläche [m ²]
Außenwand	51,42
Fundamentplatte	43,73
Fenster (F)	9,73
Fenstertüren (FT)	6,52

Berechnung der Transmissionsleitwerte | L_e L_b

a) Luftberührte Bauteile:

	Fläche [m ²]	U-Wert [Wm ⁻² K ⁻¹]	Leitwert [WK ⁻¹]
Außenwand	51,42	0,10	5,142
Fenster (F)	9,73	0,69	6,714
Fenstertüren (FT)	6,52	0,65	4,238
L_e luftberührte Bauteile			16,094

b) Erdbodenberührte Bauteile:

	Fläche [m ²]	U-Wert [Wm ⁻² K ⁻¹]	Leitwert [WK ⁻¹]
Fundamentplatte	43,73	0,08	3,498
L_b erdbodenberührte Bauteile			3,498

1. Berechnung der Transmissionswärmeverluste | $\Phi_b \Phi_e$

a) Fundamentplatte:

$\Phi_b = L_b$ erdbodenberührte Bauteile · (Solltemperatur – Erdbodentemperatur)

$$\Phi_b = 3,498 \cdot (20 - 7,5) = \mathbf{43,7 \text{ W}}$$

b) Luftberührte Bauteile:

$\Phi_e = L_e$ luftberührte Bauteile · (Solltemperatur – Außentemperatur)

$$\Phi_e = 16,094 \cdot (20 - (-7,4)) = \mathbf{441,0 \text{ W}}$$

2. Berechnung der Lüftungswärmeverluste | Φ_V

a) Raumvolumen:

$$V = \text{Wohnnutzfläche} \cdot \text{lichte Raumhöhe} = 34,23 \cdot 2,65 = \mathbf{90,71 \text{ m}^3}$$

b) Lüftungsleitwert:

$$L_V = 0,34 \cdot V \cdot [(n_L \cdot (1 - \eta_{WRG}) + n_X)] =$$

$$0,34 \cdot 90,71 \cdot [(0,3 \cdot (1 - 0,8) + 0,12)] = \mathbf{5,55 \text{ WK}^{-1}}$$

c) Lüftungswärmeverlust

$$\Phi_V = L_V \cdot (\Theta_i - \Theta_e) = 5,55 \cdot 27,4 = \mathbf{152,1 \text{ W}}$$

3. Berechnung des Gesamtwärmeverlusts | Φ_I

$\Phi_I = \text{Transmissionswärmeverlust} + \text{Lüftungswärmeverlust}$

$$\Phi_I = \Phi_b + \Phi_e + \Phi_V = 43,7 + 441,0 + 152,1 = \mathbf{636,8 \text{ W}}$$

4. Berechnung des Wärmeeintrags in den Raum | Φ_g

a) Nutzungsbedingter Wärmeeintrag | Φ_i

$$\Phi_i = 1,9 \cdot \text{Wohnnutzfläche}$$

$$\Phi_i = 1,9 \cdot 34,23 = \mathbf{65,0 \text{ W}}$$

b) Wärmeeintrag aufgrund von Sonneneinstrahlung | Φ_s

$$\Phi_s = A_w \cdot g \cdot r \cdot I$$

A_w
Fläche der Fenster und
verglasten Türen (inkl. Rahmen)

g
Gesamtenergiedurchlassgrad
(„g-Wert“) des Glases

r
Reduktionsfaktor

I
Solare Bestrahlungsstärke

	$A_w [\text{m}^2]$	g	r	$I [\text{Wm}^{-2}]$	Wärmeeintrag [W]
Fenster SO	2,29	0,51	0,39	19,0	8,65
Fenstertür SO	2,33	0,51	0,41	19,0	9,26
Fenster SW	5,15	0,51	0,40	19,0	19,96
Fenstertür SW	4,19	0,51	0,44	19,0	17,86
Fenster NW	2,29	0,51	0,37	11,0	4,75
$\Phi_s =$					$\mathbf{60,48}$

c) Wärmeeintrag gesamt | Φ_g

$$\Phi_g = \Phi_i + \Phi_s = 65 + 60,48 = \mathbf{125,5 \text{ W}}$$

5. Berechnung der Raumheizlast | Φ_{HL}

Die Heizlast ergibt sich als Differenz zwischen Wärmeverlusten und Wärmeeintrag zu

$$\Phi_{HL} = \Phi_l - \Phi_g = 636,8 - 125,5 = \mathbf{511 \text{ W}}$$

Auf die Wohnnutzfläche bezogen ergibt sich mit

$$\frac{511}{34,23} = \mathbf{14,9 \text{ Wm}^{-2}}$$

ein Wert, der etwas über der Gebäudeheizlast, aber noch immer deutlich unter der Obergrenze von 25 Wm^{-2} liegt.

Φ_{HL}
Raumheizlast

Φ_l
Wärmeverluste

Φ_g
Wärmegewinne

Auslegung der Registerfläche

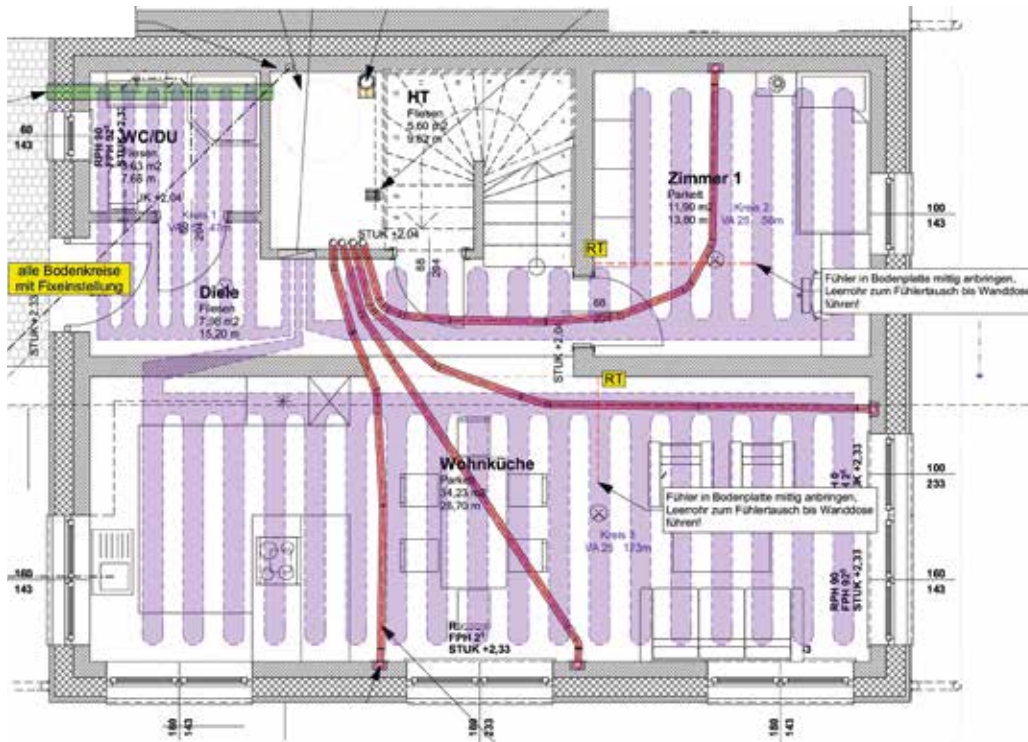


Abb. 50 | Verlegungsplan des Rohrregisters in der Geschoßdecke EG.

© FIN – Future Is Now, Kuster Energielösungen GmbH

Die Rohre des Registers werden mit einem Achsabstand von 25 cm verlegt. Der Abstand des Rohrregisters von der Deckenuntersicht entspricht mit 5 cm der Dicke der Betondecke.

Der flächenbezogene Leitwert zwischen Rohrregister und Wohnküche errechnet sich unter Verwendung der Parameter aus Tabelle 3 (Seite 76) zu

$$\Lambda_{ru} = a \cdot d^2 + b \cdot d + c = 4,53 \cdot 0,25^2 - 8,04 \cdot 0,25 + 5,7 = \mathbf{4,0 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}}.$$

Bei einer angenommenen Temperaturdifferenz von $\Delta\Theta = 5,0 \text{ K}$ zwischen Heizmitteltemperatur und Solltemperatur in der Wohnküche errechnet sich die erforderliche Registerfläche zu

$$A_R = \frac{\Phi_{HL}}{q} = \frac{\Phi_{HL}}{\Lambda_{ru} \cdot \Delta\Theta} = \frac{511}{4,0 \cdot 5,0} = \mathbf{25,6 \text{ m}^2}.$$

Verlegt wurde ein Rohrregister mit ca. 28 m² Fläche. Thermisch nicht aktiviert wurden die Randbereiche der Geschoßdecke und die Fläche über der Küchenzeile. Im unmittelbaren Bereich der Kante zwischen Wand und Decke ist die Wirkung

$\Lambda_{r,u}$
flächenbezogener
thermischer Leitwert

d
Achsabstand der Rohre

Φ_{HL}
Raumheizlast

q
flächenbezogene
Wärmeabgabeleistung

$\Delta\Theta$
Temperaturdifferenz

einer thermischen Aktivierung aufgrund des verminderten Strahlungsaustauschs reduziert. Über dem Wandverbau der Küchenzeile wäre die thermische Aktivierung nahezu unwirksam.

Unter Auslegungsbedingungen liegt die Oberflächentemperatur unter den getroffenen Annahmen gemäß Gleichung (5) (siehe Seite 77) um

$$\frac{q}{\alpha} = \frac{\Lambda_{ru} \cdot \Delta\Theta}{\alpha} = \frac{4,0 \cdot 5,0}{6,5} = 3,1 \text{ K}$$

über der Solltemperatur im Raum.

Damit ist sehr hoher Komfort gewährleistet. Die sehr niedrigen Heizmitteltemperaturen sorgen zudem für eine hohe Effizienz beim Betrieb der Wärmepumpe.

Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1** | Bei der Bauteilaktivierung wird ein System von wasserführenden Rohrleitungen in Bauteile aus Beton verlegt. Das ist überzeugend einfach zu bewerkstelligen.
© Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH
- Abb. 2** | Schemaskizze Bauteilaktivierung einer Geschoßdecke.
© Z + B
- Abb. 3** | Der Einbau von Heiz- und Kühlregistern in die Decke ist rasch, unkompliziert und damit kostengünstig möglich.
© Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH
- Abb. 4** | Schemaskizze Wärmestrahlung: Jeder Punkt der aktivierten Decke (und auch der anderen raumumschließenden Bauteile) strahlt genauso wie die in der Grafik zufällig ausgewählten Punkte halbkugelförmig Wärme in den Raum ab.
© Z + B
- Abb. 5** | Vertikalschnitt durch einen Musterraum mit Isothermen im Heizfall/ Winterbetrieb bei aktivierter Decke. Auffällig sind die gleichmäßige Temperaturverteilung und die geringen Temperaturunterschiede im Raum.
© Z + B
- Abb. 6** | Behaglichkeitsbereich Oberflächentemperatur zu Lufttemperatur. Quelle: www.thermische-behaglichkeit.de/thermische-behaglichkeit. Die Behaglichkeitskriterien sind bei der TBA leicht einzuhalten.
© Z + B
- Abb. 7** | Erneuerbare Energien, wie z. B. Windkraft (© W.E.B.-Windkraftanlage/eric krügl) und Sonnenenergie über eine Photovoltaikanlage (© F. Huber) oder über eine thermische Solaranlage (© GASOKOL), sind für die Nutzung mittels TBA prädestiniert.
- Abb. 8** | Errechneter Tagesverlauf der mittleren Oberflächentemperatur an der Deckenunterseite bei einer auf den Zeitraum zwischen 22⁰⁰ und 6⁰⁰ Uhr beschränkten Wärmezufuhr (Nutzung von Nachtstrom); Solltemperatur des Raums: 22 °C.
© Klaus Kreč
- Abb. 9** | Abnahme der flächenbezogenen Wärmeabgabeleistung einer thermisch aktivierten Decke nach Abschaltung der Umwälzpumpe.
© Klaus Kreč
- Abb. 10** | Messgerätschaft für den Blower-Door-Test.
© VÖZ
- Abb. 11** | Energieernte aus Windkraft. Leistungsverlauf über den Zeitraum eines Jahres. (Datenquelle: [WEB15])
- Abb. 12** | Beispiele des Einsatzes von Photovoltaik-Modulen zur Stromgewinnung. Griffen © Energetica Industries GmbH; Dünnschicht Module © Prefa
- Abb. 13** | Solarthermische Anlage auf der Kletterhalle Saalfelden und auf dem Bürogebäude Hörfarter.
© Z + B/Wild & Team; © Wolfgang Hörfarter/Hans Osterauer
- Abb. 14** | Beladung des Speichers mit Wärme aus Umweltenergien. Aus verschiedenen Energiequellen erzeugte Wärme kann innerhalb des Gebäudes gespeichert werden.
© Simon Handler

Abb. 14 | 2 *Deckung der Wärmeverluste durch gespeicherte Energie (keine Umweltenergie nutzbar). Ist keine externe Wärmequelle verfügbar, wird die eingelagerte Wärme zur Deckung von Wärmeverlusten des Gebäudes genutzt.*

© Simon Handler

Abb. 14 | 3 *Einspeisung von vor Ort erzeugter Energie in öffentliche Netze (Speicher vollständig beladen). Besteht kein Wärmebedarf oder keine Möglichkeit zur weiteren Speicherung von Wärme innerhalb des Gebäudes, kann die erzeugte Energie in (öffentliche) Netze eingespeist werden.*

© Simon Handler

Abb. 14 | 4 *Bezug von Energie aus öffentlichen Netzen (keine Umweltenergie nutzbar). Ist der Wärmespeicher „Gebäude“ erschöpft und steht keine Umweltenergie zur Verfügung, wird das Gebäude bis zur erneuten Möglichkeit der „Versorgung aus Umweltenergie“ mit Wärme bzw. elektrischer Energie aus den vorhandenen Netzen versorgt.*

© Simon Handler

Abb. 14 | 5 *Passive Kühlung (Betrieb einer Umwälzpumpe). Der Energiebedarf für den Antrieb der Umwälzpumpe für den Free-Cooling-Betrieb ist minimal.*

© Simon Handler

Abb. 14 | 6 *Nutzung von Umweltenergien zur aktiven Kühlung über eine reversibel arbeitende Wärmepumpe. Die Antriebsenergie für die Wärmepumpe stammt zum überwiegenden Teil aus erneuerbaren Energiequellen (PV-Anlage, Windstrom).*

© Simon Handler

Abb. 15 | *Grundprinzip der Regelstrategie zur Speicherung von thermischer Energie aus Umweltenergien innerhalb der Gebäudestruktur.*

© Simon Handler

Abb. 16 | *Abhängigkeit der Effizienz von Wärmepumpen und Solarkollektoren in Abhängigkeit der Systemtemperaturen.*

© Simon Handler

Abb. 17 | *Verlegte Heizkreise in der Decke eines Einfamilienhauses in Niederösterreich.*

© Thomas Schönbichler/CL

Abb. 18 | *Beispiel zur Systemvariante 1 – Energieversorgung über Solarthermie, Gemeindezentrum Hallwang.*

© Adrian Kuster, Millstatt

Abb. 19 | *Prinzipskizze zur Systemvariante 1 – Energieversorgung über Solarthermie.*

© Simon Handler

Abb. 20 | *Beispiel zur Systemvariante 2 – PV-Wärmepumpe-Bauteilaktivierung, Mehrfamilienwohnhäuser Elsbethen Austraße, Salzburg.*

© Michael Harrer

Abb. 21 | *Prinzipskizze zur Systemvariante 2 – PV-Wärmepumpe-Bauteilaktivierung.*

© Simon Handler

Abb. 22 | *Beispiel zur Systemvariante 3 – Wind-Wärmepumpe-Bauteilaktivierung, Einfamilienhaus NÖ.*

© Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH

- Abb. 23** | *Prinzipskizze zur Systemvariante 3 – Energieversorgung der TBA mittels Windenergie und Wärmepumpe.*
© Simon Handler
- Abb. 24** | *Die Energiezentrale mit Wärmepumpe, Warmwasserspeicher, Umwälzpumpe und Verteilerleitungen etc. ist übersichtlich auf kleinstem Raum zusammengestellt.*
© FIN – Future Is Now, Kuster Energielösungen GmbH
- Abb. 25** | *Behaglichkeitsbereich Oberflächentemperatur zu Lufttemperatur. Quelle: www.thermische-behaglichkeit.de/thermische-behaglichkeit. Die Behaglichkeitskriterien sind bei der TBA leicht einzuhalten.*
© Z + B
- Abb. 26** | *Einbau eines Temperaturfühlers im Bereich des Heizregisters, um die „Kerntemperatur“ zu messen.*
© Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH
- Abb. 27** | *Rohrdurchmesser und Rohrlänge und damit der Strömungswiderstand sind Kriterien zur Dimensionierung der Umwälzpumpe.*
© FIN – Future Is Now, Kuster Energielösungen GmbH
- Abb. 28** | *Simulationsraum in der Innovations- und Forschungsstelle Bau, Salzburg: Temperatur- und Leistungsaufzeichnungen im Forschungszeitraum. Nach Heizungsabschaltung sinkt die operative Temperatur nur minimal.*
© ARGE Nachhaltige BAUTEILaktivierung
- Abb. 29** | *Simulationsraum in der Innovations- und Forschungsstelle Bau, Salzburg: Temperatur- und Leistungsaufzeichnungen im Forschungszeitraum. Trotz Abschaltung der Kühlung am 2. 8. 2013 mittags steigt die operative Temperatur nicht sprunghaft an.*
© ARGE Nachhaltige BAUTEILaktivierung
- Abb. 30** | *3D-Darstellung des Musterraums.*
© Z + B
- Abb. 31** | *Abhängigkeit des flächenbezogenen thermischen Leitwerts $\Lambda_{r,u}$ vom Achsabstand der Rohre.*
© Klaus Kreč
- Abb. 32** | *Ausführungsvorschlag offener Keller, Dämmung in Passivhausqualität, Dämmstoff EPS mit $\lambda = 0,031 \text{ W/mK}$, Dämmung an der Deckenuntersicht 20 cm.*
© Z + B
- Abb. 33** | *Ausführungsvorschlag geschlossener Keller, Dämmung in Passivhausqualität, Dämmstoff EPS mit $\lambda = 0,031 \text{ W/mK}$, Dämmung an der Deckenuntersicht 10 cm.*
© Z + B
- Abb. 34** | *Die Belegung der zu aktivierenden Decke erfolgt nach einem Verlegungsplan üblicherweise auf der unteren Bewehrungslage einer Ortbetondecke oder aus montage-technischen Gründen auf einer leichten Baustahlgittermatte direkt auf einer Elementdecke.*
© Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH
- Abb. 35** | *Darstellung der Temperaturverteilung und der Wärmestromlinien; Deckenaufbau; Heizfall: Heizmitteltemperatur 28°C ; Raumlufttemperatur 20°C .*
© Klaus Kreč

- Abb. 36** | *Prinzipdarstellung Musterhaus, Schema – Heizung, Entwurf.*
© FIN – Future Is Now, Kuster Energielösungen GmbH
- Abb. 37** | *Ausführungsbeispiele von Erdkollektoren.*
© FIN – Future Is Now, Kuster Energielösungen GmbH
- Abb. 38** | *Die Verlegeabstände in Nassräumen werden kleiner gewählt als im Wohnraum.*
© Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH
- Abb. 39** | *Der Temperaturfühler wird in der Ebene des Rohrregisters montiert.*
© Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH
- Abb. 40** | *Ausführung Ortbetondecke: Die Rohrleitungen werden in der Regel auf die unterste Bewehrungslage montiert.*
© Thomas Schönbichler/CL
- Abb. 41** | *Ausführung Elementdecke: Die Rohrleitungen werden auf einem Baustahlgitter direkt auf der Elementdecke befestigt.*
© Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH
- Abb. 42** | *Bei Stückelungen der Rohrleitungen wird mit einer Presse eine Hülse auf die Kupplung aufgeschoben und nachträglich geschützt.*
© Rehau
- Abb. 43** | *Das Wärmeversorgungssystem wird mit Druckluft beaufschlagt.*
© Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH
- Abb. 44** | *Die Druckprüfung erfolgt vor, während und nach den Betonierarbeiten.*
© Thomas Schönbichler/CL; © Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH
- Abb. 45** | *Einbringen und Verdichten des Frischbetons sowie Höhenkontrolle der zukünftigen Deckenoberkante.*
© Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH
- Abb. 46** | *An einer Deckenuntersicht angeordneter Verteilerbalken für die darüberliegenden Heizkreise.*
© Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH
- Abb. 47** | *Rendering des Berechnungsbeispiels.* © Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH
- Abb. 48** | *Schnitt durch den Hausentwurf des Berechnungsbeispiels.*
© Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH
- Abb. 49** | *Lageplan Erdgeschoß des Berechnungsbeispiels.*
© Aichinger Hoch- u. Tiefbau GmbH
- Abb. 50** | *Verlegungsplan des Rohrregisters in der Geschoßdecke EG.*
© FIN – Future Is Now, Kuster Energielösungen GmbH

Tabelle 1 | Entwicklung des Stromverbrauches für Klimaanlage und Ventilatoren in der Stadt Wien (Quelle: Berechnungen EEG (TU Wien); Energiebericht der Stadt Wien 2014)

Tabelle 2 | In der Bauphysik und in den Normen gebräuchliche Bezeichnungen aus dem griechischen Alphabet.

Tabelle 3 | Koeffizienten in Gleichung (6) zur Berechnung von $\Lambda_{r,u}$.
Rohr 17 x 2 mm; Betonüberdeckung 5 cm; unverputzte Deckenuntersicht

Tabellenverzeichnis

Ecker Johann, Friembichler Felix, Huber Frank, Kreč Klaus:

Wissensbasis Energiespeicher Beton, Wissensbasis für den Praktiker.

Betonmarketing Österreich, Wien, Auflage 2, 2014

Kreč Klaus:

Forschungsprojekt Energiespeicher Beton Endbericht.

Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, Wien, 2016

www.zement.at/services/publikationen/energiespeicher-beton

Handler Simon:

Konditionierung von massiven Einfamilienhäusern mit Wärmepumpe unter Nutzung der Leistungsspitzen im öffentlichen Stromnetz.

Zement + Beton Handels- und Werbeges.m.b.H., Wien, 2015

OIB-Richtlinie 6, NAT Excel: EXCEL-Tool zur Berechnung der Normaußentemperatur.

<http://www.oib.or.at/en/node/150030>, Wien, September 2008

Austrian Standards:

Hygienerelevante Planung, Ausführung, Betrieb, Überwachung und Sanierung von zentralen Trinkwasser-Erwärmungsanlagen, ÖNORM B 5019: 2011 05 01.

<https://shop.austrian-standards.at/action/de/public/details/390214/>

OENORM_B_5019_2011_05_01

Literaturverzeichnis

Impressum

**Medieninhaber &
Herausgeber**

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
www.nachhaltigwirtschaften.at

Hersteller

Zement + Beton Handels- u. Werbeges.m.b.H
Reisnerstraße 53, 1030 Wien
T: +43 1 714 66 85 - 0
www.zement.at

Herstellungs- und Verlagsort

Wien

**Projektinitiative
und Projektleitung**

Felix Friembichler, VÖZ

Redaktion

Felix Friembichler, VÖZ
Frank Huber, Zement + Beton

Autoren

Felix Friembichler, VÖZ
Simon Handler, hbo-Service GmbH
Klaus Kreč, Büro für Bauphysik
Harald Kuster, Kuster Energielösungen GmbH

Projektpartner

WEB Windenergie AG: Datenbereitstellung aus der Windstromproduktion

Lektorat

Cathérine Stuzka, Zement + Beton

Layout

Susanne Teschner, Zement + Beton

Bildmaterial

Mit freundlicher Unterstützung durch Aichinger Bautechnik GmbH
und mit freundlicher Genehmigung durch die Hauseigentümer.

Druck

Samson Druck, 5581 St. Margarethen 171

1. Ausgabe, Juni 2016

Sämtliche Angaben in diesem Planungsleitfaden erfolgen trotz größtmöglicher sorgfältiger Bearbeitung und Kontrolle ohne Gewähr. Eine Haftung der Autoren sowie des Medieninhabers und Herausgebers aus dem Inhalt dieses Werks, insbesondere für die Richtigkeit und Anwendbarkeit auf konkrete Anwendungsfälle, ist ausgeschlossen.

Haftungsausschluss

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird bei geschlechtsspezifischen Begriffen die maskuline Form verwendet und auf gender-gerechte Formulierungen verzichtet. Dies soll jedoch keinesfalls eine Geschlechterdiskriminierung oder eine Verletzung des Gleichheitsgrundsatzes zum Ausdruck bringen.

Die Ergebnisse dieses Projektes sollen auch in der Ausbildung eingesetzt werden. Daher stimmen Autoren und Rechteinhaber der Abbildungen und Fotos einer Verwendung von Texten und Bildmaterial für Ausbildungszwecke unter der Creative Commons Lizenz by-nc-sa (d. h. Namensnennung - Nicht-kommerziell - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International) zu.



Ein Projektbericht
im Rahmen des Programms



im Auftrag des Bundesministeriums
für Verkehr, Innovation und Technologie



