

SüdSan

Sozialverträgliche und klimazielkompatible Sanierung
zweier Mehrfamilienhäuser als Modell für die Sanierung
der Südtiroler-Siedlung Bludenz

Themendokumentation

Flächenheizsysteme in der Gebäudesanierung

Flächenheizsysteme in der Gebäudesanierung

Darmstadt, April 2024

Marc Großklos, Institut Wohnen und Umwelt (IWU)

Stefan Swiderek, Institut Wohnen und Umwelt (IWU)

Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU)

Rheinstraße 65, 64295 Darmstadt

Herausgeber:

Energieinstitut Vorarlberg, Fachbereich Energieeffizientes Bauen

CAMPUS V, Stadtstraße 33

6850 Dornbirn, Österreich

Tel. +43 (0)5572 / 31 202-0

info@energieinstitut.at

Zusammenfassung

Die regenerative Wärmeversorgung von Gebäuden erfordert in der Regel niedrige Temperaturen im Heizkreis, um eine hohe Effizienz zu erreichen. Gerade Wärmepumpen profitieren sehr stark von der Absenkung der Vorlauftemperaturen. Um die Vorlauftemperaturen abzusenken, müssen die Heizlasten reduziert und die Heizflächen vergrößert werden. Fußbodenheizungen sind im Neubau weit verbreitet, jedoch in bestehenden Gebäuden aufgrund der notwendigen umfangreichen Eingriffe und der temporären Unterbringung der Bewohnerschaft schwierig nachzurüsten. Einfacher gestaltet sich die Nachrüstung von Wand- oder Deckenheizungen, bei denen der Eingriff in die Wohnung teilweise begrenzt werden kann.

Im Folgenden werden unterschiedliche Lösungen für Wand- und Deckenheizungen sowie die bauphysikalischen und technischen Randbedingungen vorgestellt. Am Markt sind diverse Lösungen verfügbar, von Nasssystemen über Trockenbaulösungen bis hin zu vorgefertigten Wandelementen, die schnell installiert werden können. (Eine separate Themendokumentation erläutert das Konzept der Bauteilaktivierung durch eine Flächenheizung auf der Außenseite der Außenwand, das an einem der SüdSan-Gebäude umgesetzt wurde.)

Wichtig ist die energetische Modernisierung der Gebäude, um die Vorlauftemperaturen zu senken und die benötigten Heizflächen minimieren zu können. Dies ist besonders in kleinen Wohnungen relevant, wo die verfügbaren Flächen begrenzt sind.

Inhalt

Zusammenfassung	3
1 Hintergrund	5
2 Technische Randbedingungen beim Einsatz von Wand- und Deckenheizungen	7
2.1 Bauphysikalische Randbedingungen	7
2.2 Kühlung/Temperierung	10
2.3 Regelung und Betrieb von Flächenheizungen.....	10
3 Marktübersicht	11
3.1 Wandheizung.....	12
3.2 Deckenheizungen	15
3.3 Sonderformen von Heizflächen für niedrige Vorlauftemperaturen	20
3.3.1 Heizleisten	21
3.3.2 Niedertemperatur-Heizkörper.....	23
3.4 Bewertungskriterien für Flächenheizsysteme	25
4 Planung und Umsetzung von Wand- und Deckenheizungen in Bestandsgebäuden.....	26
4.1 Bestandsaufnahme	26
4.2 Planung	26
4.3 Umsetzung	27
4.4 Heizflächenabschätzung für eine Wohnung.....	28
4.4.1 Wandheizung.....	29
4.4.2 Deckenheizung.....	31
Abkürzungen	32
Abbildungen.....	32
Tabellen.....	33
Literatur.....	33

1 Hintergrund

Die Herausforderungen beim Klimaschutz im Gebäudebereich liegen bei den Bestandsgebäuden. Ziel muss auch hier eine Minimierung des Energieverbrauchs und die Dekarbonisierung der verbleibenden Wärmeversorgung sein. Eine der Aufgaben ist es dabei, Lösungen für die vielfältigen unterschiedlichen Gebäudearten und Konstruktionen zu entwickeln und in der Breite auch bei einer großen Zahl von Gebäuden umzusetzen. Eine besondere Herausforderung ist es, bei Bestandsgebäuden die notwendigen Anpassungen und Umbauten im bewohnten Zustand umzusetzen.

Wärmepumpen bieten die Möglichkeit, regenerative Energien wie Wasserkraft, Wind- und Sonnenenergie für die Beheizung von Gebäuden nutzen zu können. Damit Wärmepumpen effizient betrieben werden können, sind neben hohen Quellentemperaturen vor allem auch niedrige Senkentemperaturen wichtig. Auch in Bestandsgebäuden sollten aus diesem Grund die Vorlauftemperaturen so weit wie möglich abgesenkt werden – als Zielwert wird eine maximale Vorlauftemperatur von 55 °C angestrebt [1]. Auch das österreichische Bundes-Förderprogramm „Raus aus Öl und Gas 2023/24“ nennt seit 2024 als Fördervoraussetzung 55 °C als Begrenzung der Vorlauftemperatur [2].

Um diese Temperaturen zu erreichen, muss entweder die Gebäudehülle weitgehend energetisch modernisiert werden oder es sind große Heizflächen erforderlich, wie sie Flächenheizungen bieten. Die am weitesten verbreitete Form der Flächenheizung ist die Fußbodenheizung, die in Bestandsgebäuden jedoch kaum vorhanden ist und besonders in bewohntem Zustand nur mit hohem organisatorischem Aufwand und großen Unannehmlichkeiten für die Bewohner nachträglich eingebaut werden können. Möbel und Fußbodenbeläge müssen entfernt werden, falls in die Decke gefräst wird, entsteht zusätzlich Schmutz und Lärm. Am Ende muss wieder ein neuer Fußbodenbelag inkl. Fußleisten verlegt und gegebenenfalls Türrahmen und Türblätter an die geänderten Fußbodenaufbauhöhe angepasst werden. Die Wohnung ist einige Tage nicht nutzbar, so dass viele Eigentümer und Vermieter den Aufwand scheuen.

Eine Alternative können Wand oder Deckenheizungen darstellen, die mit ihren großen Flächen ebenfalls die Beheizung der Räume ganz oder teilweise auf niedrigem Temperaturniveau ermöglichen. Sie können auch bestehende Heizkörper unterstützen, wenn diese nicht ausreichend dimensioniert sind. Auch hier sind Eingriffe in die Wohnräume erforderlich, jedoch ist besonders bei Systemen mit einem hohen Vorfertigungsgrad und bei Trockensystemen eine Umsetzung innerhalb weniger Tage möglich, so dass Bewohner weniger stark belastet werden. Mit einer gut geplanten Flächenheizung lässt sich außerdem die thermische Behaglichkeit in den Räumen verbessern.

Auch bei Gebäuden, die bisher über Einzelöfen beheizt wurden und auf eine Zentralheizung umgerüstet werden sollen, können Wand- oder Deckenheizungen eine geeignete Option zur Wärmeabgabe darstellen.

Ein weiteres Argument für den Einsatz von Flächenheizungen an Stelle von Heizkörpern ist neben den niedrigeren Systemtemperaturen auch die gleichmäßigere, flächige Wärmeabgabe und der höhere Strahlungsanteil an der Wärmebereitstellung, wodurch ggf. auch das Raumtemperaturniveau gesenkt werden kann. Eine Übersicht der Vor- und Nachteile von Wand- und Deckenheizungen ist in Tabelle 1 dargestellt.

Als Entscheidungskriterien für oder gegen Flächenheizungen sind zusätzlich die Beschaffenheit und Tragfähigkeit des Untergrundes, vorhandene Installationen sowie freie, verfügbare Wandfläche bzw. verfügbare Raumhöhen zu berücksichtigen.

Tabelle 1: Vor- und Nachteile von Wand- und Deckenheizungen

Wandheizung	
Vorteile	Nachteile
Große Flexibilität bei den Oberflächentemperaturen	Nutzung der Wand eingeschränkt (Möbel, Bilder)
bei Verlegung direkt in Putz reaktionsschnell	
Geringe Strahlungsasymmetrie bei Montage auf Außenwänden	Höhere Wärmeverluste bei Montage auf Außenwänden
Höherer Strahlungsanteil als bei Fußbodenheizung	
Raumgewinn durch wegfallende Heizkörper und Öfen	Bei manchen Systemen ist eine (geringe) Reduktion der Wohnfläche möglich
Deckenheizung	
Vorteile	Nachteile
freie Nutzbarkeit der Wände	Geringere zulässige Oberflächentemperaturen als bei Wandheizung
bei Verlegung direkt in Putz reaktionsschnell	hydraulische Anbindung gegebenenfalls aufwändiger
höchster Strahlungsanteil unter den Flächenheizungen	
Raumgewinn durch wegfallende Heizkörper und Öfen	Mindestraumhöhe erforderlich

2 Technische Randbedingungen beim Einsatz von Wand- und Deckenheizungen

Bei der Planung von Flächenheizungen sind eine Reihe von Randbedingungen zu berücksichtigen, damit das System später tatsächlich zum energieeffizienten Betrieb des Heizsystems beiträgt.

2.1 Bauphysikalische Randbedingungen

Im Vorhaben der Mustersanierungen im Projekt „SüdSan“ wurden hohe energetische Standards mit einer sehr guten Wärmedämmung geplant. Bei anderen Vorhaben muss auf die Einhaltung des Mindestwärmeschutzes nach EN 1264-4 geachtet werden [3]. Die Vorgaben der Norm in Abhängigkeit von den angrenzenden Nachbarräumen und dem U-Wert der Wand sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Wird der Mindestwärmeschutz nicht eingehalten, fließt ein zu großer Anteil der Heizleistung durch Außenwand oder Decke nach außen oder in Nachbarräume ab und die verfügbare Heizleistung im Raum reicht nicht mehr aus. Generell ist zu empfehlen, diesen Mindestwärmeschutz möglichst zu überschreiten (höherer R-Wert), um die Wärmeverluste zu minimieren. Weiterhin verbessert ein hoher R-Wert zwischen Heizfläche und Wand/Decke die Regelbarkeit des Heizsystems.

Tabelle 2: Mindestwärmeschutz für Flächenheizungen (in Anlehnung Tabelle 1 in [3])

	Auslegungs- außentemperatur	Wärmeleit- widerstand $R_{\lambda,ins}$ [(m ² *K)/W]
Raum unterhalb beheizt		0,75
Raum unterhalb nicht oder teilweise beheizt		1,25
Außenlufttemperatur im darunter befindlichen oder benachbarten Bereich	$\vartheta_d \geq 0 \text{ °C}$	1,25
	$0 \text{ °C} > \vartheta_d \geq -5 \text{ °C}$	1,50
	$-5 \text{ °C} > \vartheta_d \geq -15 \text{ °C}$	2,00

Die OIB-Richtlinie 6 schreibt für den Mindestwärmeschutz bei Flächenheizungen für Neubauten und Bestandsgebäude einen Mindest-R-Wert von 4,0 m²K/W (entspricht einem U-Wert von 0,24 W/(m²K)) bei Flächen gegen Außenluft und 3,5 m²K/W (entspricht einem U-Wert von 0,28 W/(m²K)) bei Flächen gegen Erdreich vor [4], so dass die Anforderungen in Österreich strenger sind als auf europäischer Ebene.

Für die Auswahl von Flächenheizungen müssen ebenfalls die maximalen Oberflächentemperaturen beachtet werden (Tabelle 3). Während bei Fußboden- und Deckenheizungen an der Oberfläche Temperaturen von höchstens 29 °C vorzusehen sind, so dass die maximalen Vorlauftemperaturen bei ca. 35 °C liegen, können bei Wandheizungen 40 °C an der Oberfläche und ca. 45 °C im Vorlauf eingeplant werden, wodurch sich höhere flächenbezogene Heizleistungen ergeben¹. Diese liegen bei der Wandheizung mit bis zu 160 W/m² deutlich höher als bei Decken- (ca. 60 W/m²) oder Fußbodenheizungen (ca. 100 W/m²).

Tabelle 3: Maximale Oberflächentemperaturen, Wärmeübergangskoeffizienten und Heizleistungen für die Wärmeübergabe auf unterschiedlichen Flächen (eigene Darstellung nach [6])

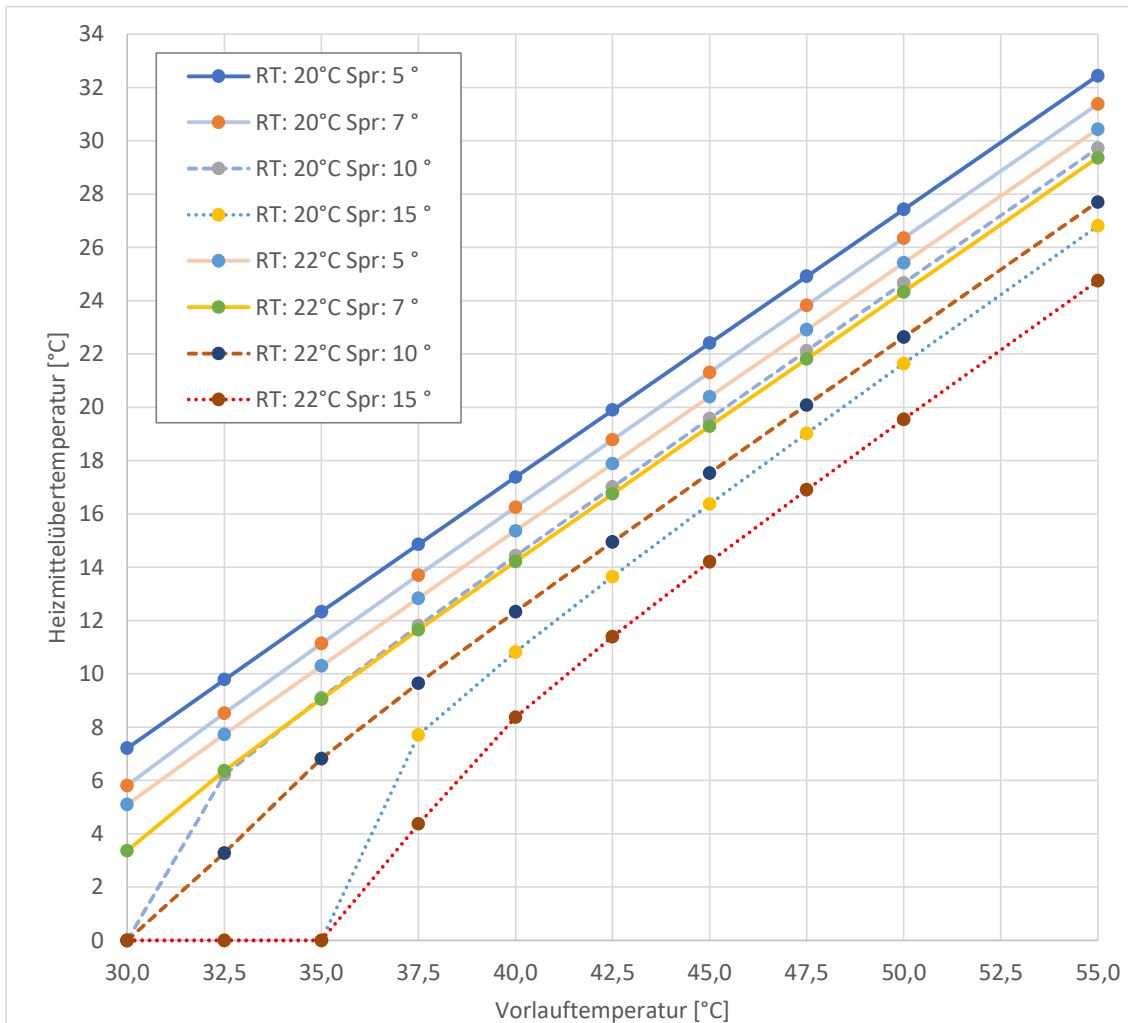
	Oberflächentemperatur ϑ_F am Bauteil in °C		Wärmeübergangskoeffizient α am Bauteil in W/(m ² K)		Maximale spezifische Leistung q_H in W/m ²	
	Maximum beim Heizen	Minimum beim Kühlen	Heizung	Kühlung	Heizung bei ϑ_i 20 °C	Kühlung bei ϑ_i 26 °C
Boden	29	19	10,8	6,5	ca. 100	ca. 45
Wand	40	18	8	8	ca. 160	ca. 65
Decke	29	18	6,5	10,8	ca. 60	ca. 85

Grundsätzlich ist die maximale Heizleistung vom Verlegeabstand der Rohre, dem Wärmeübergang von Rohr zu Raum und der Heizmittelübertemperatur abhängig. Letztere ist die Temperaturdifferenz zwischen der mittleren Temperatur im Heizkreis und der Raumtemperatur. Je nach Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf sowie der Raumtemperatur wird diese Übertemperatur entweder als arithmetischer oder logarithmischer Mittelwert berechnet.

Abbildung 1 zeigt für unterschiedliche Vorlauf- und Raumtemperaturen sowie Temperaturspreizungen die mittleren Heizmittelübertemperatur. Diese Temperatur wird für die Bestimmung flächenspezifischen Heizleistung in den Herstellerunterlagen benötigt.

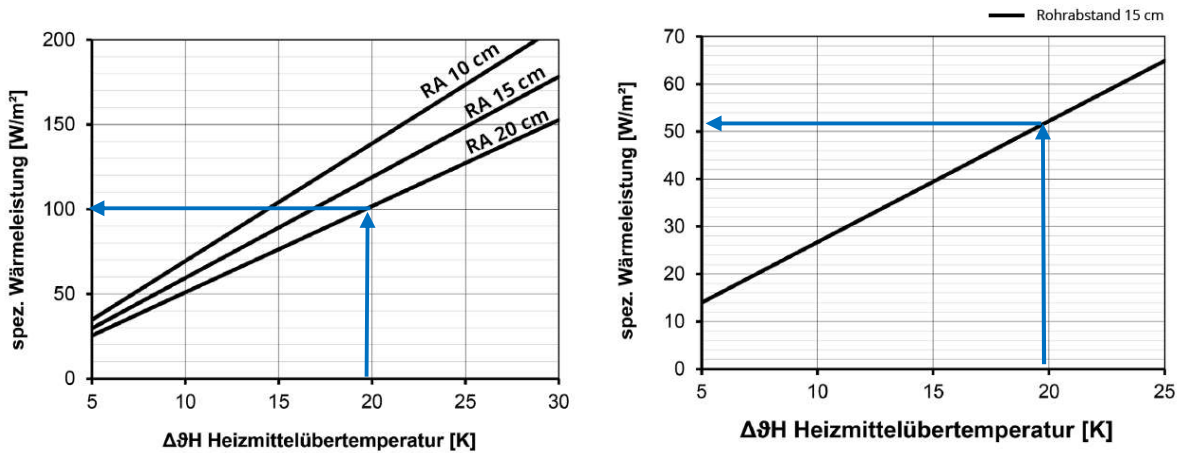
¹ Je nach Material des Putzes bei Nasssystemen kann es eine Beschränkung für die maximale Vorlauf-temperatur von z. B. 50 °C bei gipsgebundenen Wandputzen geben [5].

Abbildung 1: Heizmittelübertemperatur für verschiedene Vorlauf- und Raumtemperaturen sowie Heizmittelspreizungen



In Abbildung 2 ist beispielhaft die Heizleistung für ein Nass- und ein Trockensystem bei 20 °C Raumtemperatur, 45 °C Vorlauf-temperatur und einer Spreizung von 10 K dargestellt. Als Über-temperatur ergibt sich ein Wert von 19,6 °C. Beim Nasssystem wird mit einem Rohrabstand (RA) von 20 cm eine Heizleistung von 100 W/m² erreicht, durch eine Verringerung des Rohrabstandes auf 10 cm könnte die Heizleistung bis auf 140 W/m² gesteigert werden. Beim Trockensystem liegt die Heizleistung bei einem Rohrabstand von 15 cm bei 52 W/m².

Abbildung 2: Beispielhafte Bestimmung der Wärmeabgabe für ein Nass- (links) und ein Trockenverlegesystem (rechts) [7]



2.2 Kühlung/Temperierung

Auch wenn das Thema Kühlung an dieser Stelle nicht im Vordergrund steht, sollen noch ein paar Aspekte hierzu ergänzt werden. Bei Kühlung oder Temperierung mit einer Wand- oder Deckenheizung muss auf die Kondenswasserbildung geachtet werden, die abhängig von Oberflächentemperatur und Raumlufffeuchte entstehen kann. Um eine Kondensatbildung zu verhindern, muss entweder regelungstechnisch eine Taupunktunterschreitung verhindert werden oder es müssen Mindesttemperaturen im Kühlkreislauf eingehalten werden. Im Badezimmer oder der Küche mit hoher Raumlufffeuchte ist der Betrieb der Kühlung kritisch zu prüfen. Für die Umschaltung von Heiz- in Kühlbetrieb müssen die Stellorgane entweder ganz geöffnet werden (hiermit kann nur eine moderate Temperierung der Räume erreicht werden) oder die Raumthermostate werden über ein Steuersignal in ihrer Regelcharakteristik umgeschaltet. Dazu ist ein Steuersignal in jedem Raum erforderlich.

Die oben genannten Aspekte müssen auch berücksichtigt werden, wenn die Heizflächen zur Regeneration von Erdsonden oder -kollektoren eingesetzt werden sollen. Dabei ist außerdem auf die maximal zulässige Erwärmung des Erdreichs zu achten.

2.3 Regelung und Betrieb von Flächenheizungen

Damit die Flächenheizung entsprechend der benötigten Heizlasten geregelt werden kann, ist ein hydraulischer Abgleich die Grundvoraussetzung. Druckunabhängige Regelventile für jeden Raum oder Teilstränge erlauben dabei auch eine dynamische Anpassung an die Heizlast.

Der Regelung von Flächenheizungen kommt grundsätzlich ein Selbstregeleffekt zugute, wenn die Heizkreismitteltemperaturen gering sind. Dennoch wird in den EN 1264-4 [3] eine raumweise Regelung gefordert. Dazu können stromlose Thermostatventile, elektronische 2-Punkt-

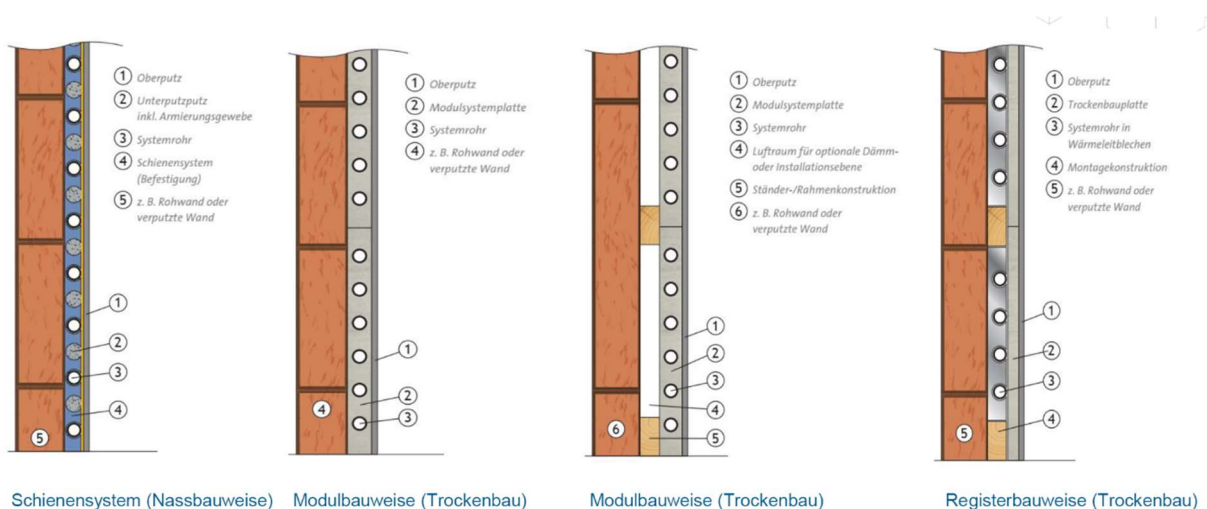
Regler oder stetige Temperaturregler eingesetzt werden. Elektronische Regler benötigen eine Elektroverkabelung oder können per Funk angesteuert werden. Soll über die Flächenheizung auch gekühlt bzw. temperiert werden, so müssen die Regler über ein Stellsignal in den entsprechenden Modus geschaltet werden.

Anbindeleitungen sollten gedämmt werden, um die unkontrollierte Wärmeabgabe zu begrenzen und damit Überhitzung z. B. in unbeheizten Fluren zu vermeiden [5]. Werden Kapillarrohrmatten für die Flächenheizung verwendet, so ist auf schwebstofffreies Heizungswasser zu achten, da Partikel im Heizkreislauf die Lebensdauer der Matten reduzieren können. Je nach Material der Matten kann es weitere Anforderungen an die Beschaffenheit des Heizungswassers geben.

3 Marktübersicht

Bei den Wand- oder Deckenheizungen werden folgende Systeme unterschieden (Abbildung 3), die besonders in der Modernisierung eingesetzt werden können (siehe auch [8]):

Abbildung 3: Grundsätzliche Systemübersicht bei Wand- oder Deckenheizungen [9]



Bei **Nasssystemen** werden die Rohrleitungen oder Kapillarrohrmatten direkt auf die vorhandene Bestandwandfläche aufgebracht und anschließend verputzt. Es werden entweder Rohrleitungen oder Kapillarrohrmatten verwendet, die nach der Montage eingeputzt werden. Nasssysteme besitzen in der Regel eine hohe Flächenleistung, der Eingriff in eine (genutzte) Wohnung ist vor allem aufgrund von Trocknungszeiten größer.

Trocken(bau)systeme nutzen in der Regel (teil-)vorgefertigte Platten, die an Wand oder Decke mit Schrauben oder Schienen befestigt werden und bei denen nur noch das Schließen der

Fugen und ggf. die Beschichtung „nass“ vor Ort aufgebracht werden muss. Als Plattenmaterial werden Schaumkunststoffe, Gips(faser)-, Lehm- oder Holzfaserplatten sowie Metall-Unterkonstruktionen oder Fertigmodule als Konstruktionsgerüst verwendet. Es gibt weiterhin Systeme mit zusätzlichen Wärmeleitblechen, die den Wärmeübergang von Rohrleitung zu Putz/Deckschicht verbessern und zu einer gleichmäßigeren Wärmeverteilung in der Fläche führen. Trockensysteme können schnell ausgeführt werden, so dass der Raum nach kürzerer Zeit wieder genutzt werden kann.

Viele Systeme können sowohl für die Wand als auch an der Decke verwendet werden. Dennoch bieten nicht alle Hersteller Ihre Systeme für beide Flächen an, so dass im Folgenden die Unterscheidung zwischen Wand- und Deckenheizung beibehalten wird.

3.1 Wandheizung

Für Wandheizungen liegen die empfohlenen maximalen Oberflächentemperaturen höher als für Fußboden- oder Deckenheizungen (siehe Tabelle 3). Dadurch können mit Wandheizungen höhere flächenbezogene Leistungen erreicht werden. Allerdings kann die Wandheizung die Nutzung der Flächen einschränken, beispielsweise sollten Möbel nicht vollflächig direkt vor der Heizfläche platziert werden und es kann zu Einschränkungen bei der nachträglichen Installation von Elektroleitungen kommen.

Hier gibt es Trockensysteme, bei denen nur eine geringe Menge an Wasser in den Raum eingebracht wird und Nasssysteme, bei denen die Heizflächen verputzt werden, so dass längere Trocknungszeiten notwendig sind.

Nasssysteme werden entweder händisch direkt auf der Bestandswand mit Klemmschienen oder Profilmatten montiert (was eine Anpassung an die örtliche Situation erlaubt) oder in Profilplatten befestigt. Andere Anbieter haben komplette Matten im Programm.

Trockenbausysteme besitzen in der Regel eine Unterkonstruktion aus Metallprofilen oder Kanthölzern, zwischen die die Wandheizungselemente eingebracht werden. Anschließend werden die Flächen mit Gipskarton- oder Holzfaserplatten verkleidet oder im Fall von Fertigmodulen teilweise nur noch gespachtelt.

Eine Übersicht über verschiedenen Wandheizungssysteme zeigt Tabelle 4.

Tabelle 4: Beispiele für Wandheizungen

Verarbeitung	Befestigung/Untergrund	Beispiel
--------------	------------------------	----------

Nasssysteme verputzt

Rohrleitungen auf Wand
(Montage Rohrleitung vor Ort)



[10]

Matten auf Wand




[11]

Noppen an der Wand
(Montage Rohrleitung vor Ort)



[12]

	<p>Profilierte Lehmbauplatte (Montage Rohrleitung vor Ort) (auch im Trockenbau einsetzbar)</p>	 <p>[13]</p>
<p>Verarbeitung</p>	<p>Befestigung/Untergrund</p>	<p>Beispiel</p>
<p>Trockensysteme <i>Montageplatte mit/ohne Wärmeverteilung</i></p>	<p>Verlegeplatte EPS mit Profilplatten oder Noppenkunststoff (Montage Rohrleitung vor Ort)</p>	 <p>[14]</p>
	<p>Verlegeplatte Holzfaser-, Strohfaser, Pappwaben oder Lehmbauplatte (Montage Rohrleitung vor Ort)</p>	

		[15]
	<p>Fertigmodule (Rohrleitungen bereits integriert)</p>	 <p>[16]</p>
	<p>Metall-Profilschienen (Montage Rohrleitung vor Ort)</p>	 <p>[17]</p>



3.2 Deckenheizungen

Deckenheizungen bieten den Vorteil, dass die freie Nutzung der Wandflächen eines Raumes nicht eingeschränkt wird. Sie sind besonders bei der Industrie- und Hallenbeheizung weit verbreitet und werden dort oft als vorgefertigte Platten oder Segel eingesetzt. Bei Wohngebäuden und vor allem in der Sanierung sind einige Produkte z. B. aufgrund ihrer Längen weniger geeignet, andere wurden speziell für die Nachrüstung in Wohngebäuden entwickelt. In der folgenden Tabelle 5 werden einige Produkte vorgestellt, die dezidiert für den Einsatz in Wohngebäuden vorgesehen sind.

Die Montagesysteme sind vergleichbar mit denen der Wandheizungen, zusätzlich werden häufig auch Metallschienen abgehängter Deckensysteme angeboten. Für die Befestigung einer Deckenheizung muss der Untergrund eine ausreichende Tragkraft besitzen. Bei Lösungen,

die direkt auf die Unterkonstruktion montiert werden, muss beachtet werden, dass noch ausreichend Arbeitsraum für den Anschluss der Rohrleitung vorhanden ist (z. B. für das Ansetzen des Verpresswerkzeugs).

Tabelle 5: Beispiele für Deckenheizungen

Verarbeitung	Befestigung/Untergrund	Beispiel
Nasssysteme verputzt	Klemmschienen an der Decke (Montage Rohrleitung vor Ort)	 <p>[18]</p>
	Matten auf Decke	 <p>[19]</p>

Verarbeitung	Befestigung/Untergrund	Beispiel
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Trockensysteme</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Montageplatte mit/ohne Wärmeverteilung</p>	<p>EPS Profilplatten</p> <p>(Montage Rohrleitung vor Ort)</p>	 <p>[20]</p>
	<p>Metallprofile</p> <p>(Montage Rohrleitung vor Ort)</p>	 <p>[21]</p>
	<p>Kapillarrohrmatten</p>	 <p>[19]</p>

Klemmschienen

(Montage Rohrleitung vor Ort)



[22]

Lehmbauplatte

(Rohrleitung bereits integriert)



[23]

Holzfaserplatte

(Montage Rohrleitung vor Ort)



[24]

Pappwabenplatte

(Montage Rohrleitung vor Ort)



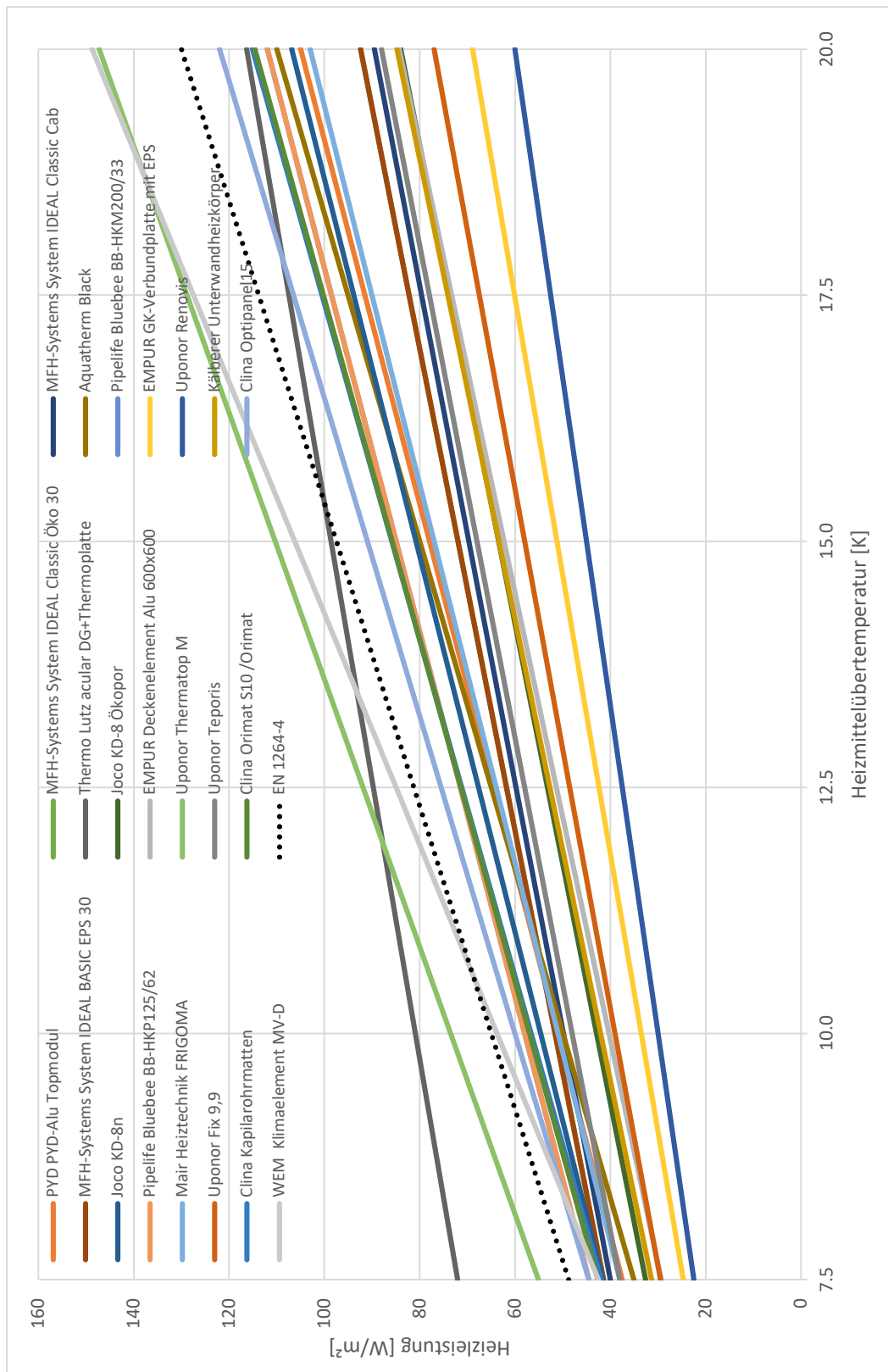
[25]



Damit eine hohe Behaglichkeit im Raum gewährleistet ist, sollte bei Deckenheizungen eine Oberflächentemperatur von 29 °C nicht überschritten werden. Daher ist die maximale Vorlauftemperatur auf ca. 35 °C begrenzt.

Die flächenbezogenen Heizleistungen in Abhängigkeit der logarithmischen Übertemperatur zwischen Heizmedium und Raumtemperatur sind in Abbildung 4 dargestellt, zusammen mit dem in DIN EN 1264-4 angegebenen Wärmeübergangskoeffizient α von 6,5 W/(m²K) (siehe Tabelle 3). Die meisten Produkte liegen zum Teil deutlich unter dem Pauschalwert der Norm, weshalb bei der Auswahl die Herstellerangaben sehr genau überprüft werden müssen.

Abbildung 4: Heizleistungen für unterschiedliche Deckenheizungen verschiedener Hersteller und Referenzwerte nach EN 1264-4 (eigene Auswertungen nach Herstellerangaben)



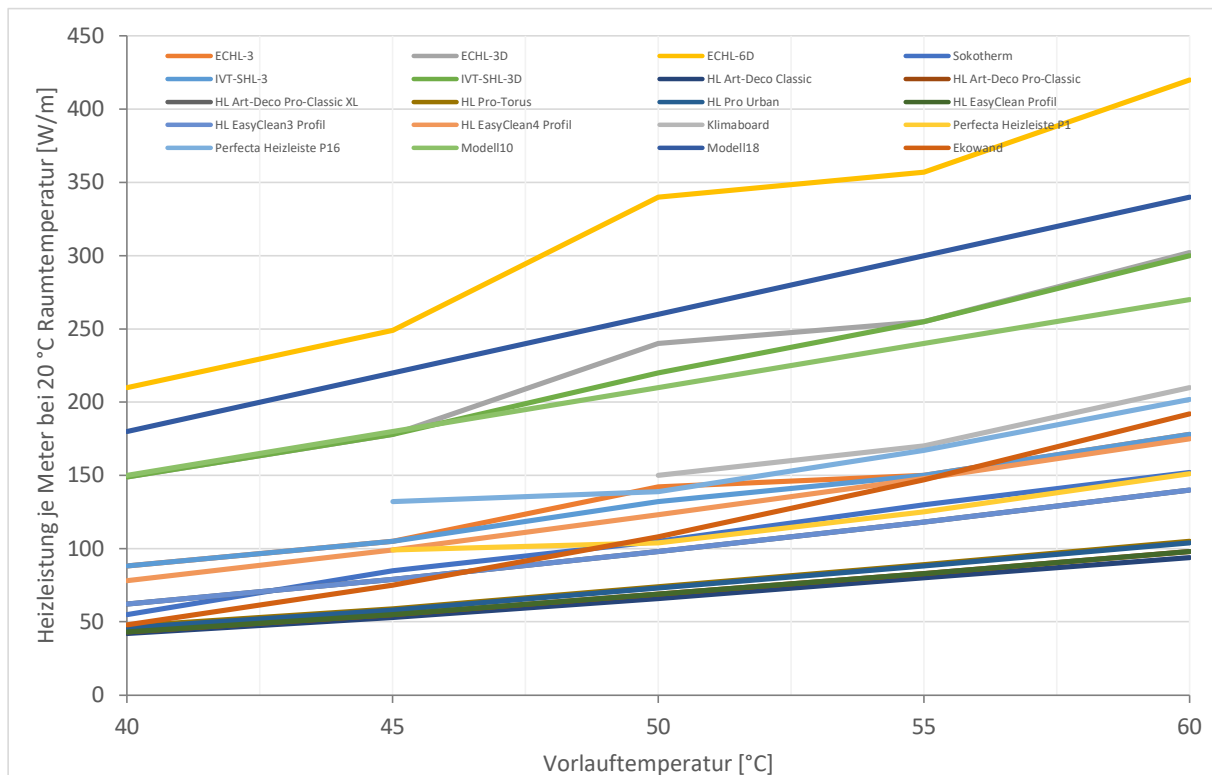
3.3 Sonderformen von Heizflächen für niedrige Vorlauftemperaturen

3.3.1 Heizleisten

Neben den „klassischen“ Flächenheizungen können auch Sockel- oder Heizleisten die Wärmeübergabe in den Raum übernehmen bzw. unterstützen. Die Systeme werden im unteren Wandbereich in der Regel als Aufputz-System montiert (es gibt auch unter Putz-Lösungen) und können als Konvektoren mit hohem Konvektionsanteil oder Platten mit höherem Strahlungsanteil ausgeführt werden. Heizleisten sind leicht zu verlegen und besonders bei Montage von Konvektoren an Außenwänden kann eine gute Kompensation von Wärmeverlusten erreicht werden. Werden die Heizleisten an mehreren Wänden verlegt ergibt sich eine geringe Strahlungsasymmetrie im Raum. Auch die vertikale Temperaturschichtung ist sehr gering ($<0,1$ K/m bei Heizleiste gegenüber mind. $1,3$ K/m bei Heizkörper [27]). Jedoch können die Leisten in geringerem Umfang auch die nutzbare Fläche einschränken, besonders wenn ein Großteil der Wände genutzt werden muss, um die erforderliche Heizleistung zu erreichen.

Die Leistungen der Heizleisten hängen von der Vorlauftemperatur ab und liegen zwischen 42 W/m und bis zu 210 W/m bei 40 °C Vorlauftemperatur (Abbildung 5). Mit steigender Vorlauftemperatur nimmt die Leistung meist linear zu. Für Niedertemperatursysteme ist jedoch nur der Bereich bis ca. 55 °C von Interesse, so dass die nutzbaren Heizleistungen in einer Spanne von 89 bis 357 W/m liegen. Systeme mit hohen Heizleistungen besitzen eine Höhe von 270 mm und eine Tiefe von 30 bis 60 mm.

Abbildung 5: Längenbezogene Heizleistungen für unterschiedliche Heizleisten verschiedener Hersteller (eigene Auswertungen nach Herstellerangaben²)



Wenn keine Wärmedämmung auf der Außenwand oder zwischen Heizleiste und Außenwand vorhanden ist, können die Wärmeverluste von Heizleisten auf Außenwänden höher sein als bei anderen Systemen, in günstigen Situationen werden aber auch Einsparungen bis zu 17 Prozent gegenüber der Wärmeübergabe mit Heizkörpern angegeben [27].

² Der nicht-lineare Verlauf der Heizleistung bei einigen Produkten wurde aus den Herstellerangaben übernommen, auch wenn zu vermuten ist, dass hier falsche Angaben in den Unterlagen enthalten sind.

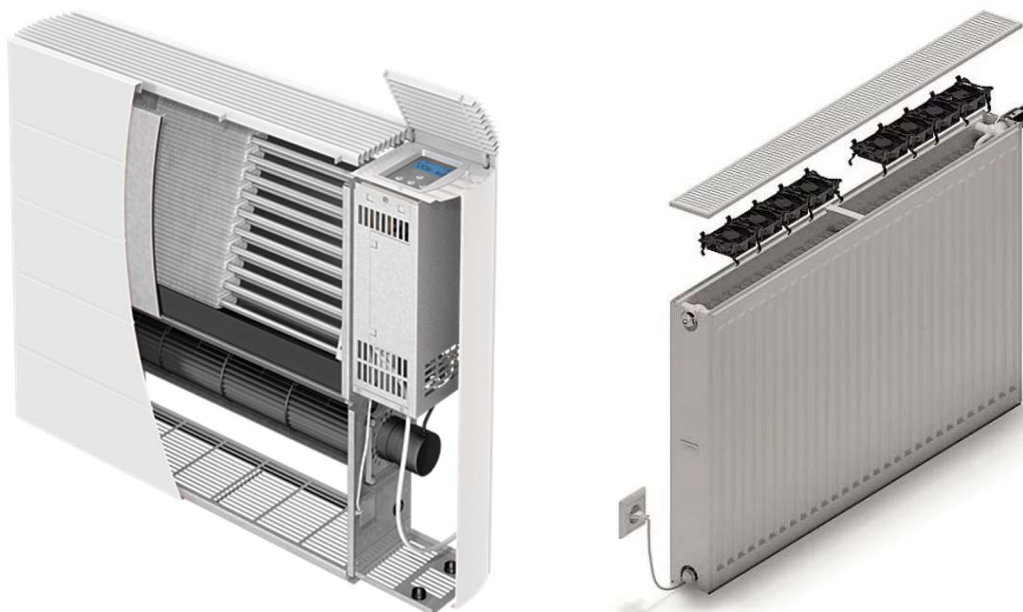
Abbildung 6: Beispiele für Heizleisten: links Konvektorleiste [28], rechts Heizleiste mit hohem Strahlungsanteil [29]



3.3.2 Niedertemperatur-Heizkörper

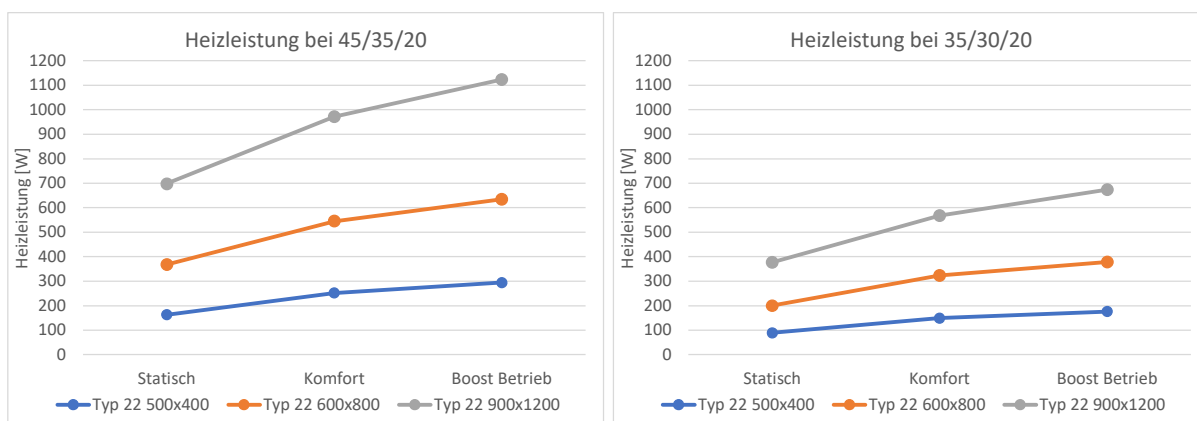
Niedertemperatur-Heizkörper sind Sonderbauformen klassischer Heizkörper, bei denen die Heizleistung entweder über eine größere Wärmeübertragungsfläche (z. B. mit Alu-Rippen) oder eine Ventilator-Unterstützung erhöht wird, um die Wärmeabgabe besonders bei niedrigen Vorlauftemperaturen zu verbessern. Eine Ventilator-Unterstützung kann auch nachträglich an eine Reihe von Heizkörpern nachgerüstet werden. Der Betrieb von Ventilatoren erfordert eine Spannungsversorgung an den Heizkörpern und kann bei maximaler Leistung zu hörbaren Geräuschen im Raum führen. Einige Systeme sind temperaturgesteuert, so dass sich die Ventilator Drehzahl an die erforderliche Leistung anpasst und die maximale Drehzahl nur relativ selten betrieben wird.

Abbildung 7: Beispiele für Niedertemperatur-Heizkörper: links Gebläsekonvektor [30], rechts Wärmepumpenheizkörper [31]



Durch die Gebläseunterstützung kann die Heizleistung – je nach Größe des Heizkörpers – zwischen 40 % bei kleinen Heizkörpern und geräuscharmem Komfortbetrieb und bis zu 100 % bei großen Heizkörpern und Boosterbetrieb erhöht werden (Abbildung 8).

Abbildung 8: Veränderung der Heizleistung von drei unterschiedlichen Baugrößen des Gebläsekonvektors [30] bei unterschiedlichen Heizkreistemperaturen: links 45 °C/ 35 °C/ 20 °C, rechts 35 °C/ 30 °C/ 20 °C (VL, RL, RT)



3.4 Bewertungskriterien für Flächenheizsysteme

Flächenheizsysteme können nach den folgenden Kriterien auf ihre Eignung in einem konkreten Bau- oder Sanierungsvorhaben bewertet werden:

- Flächenspezifische Heizleistung
- Kosten
(Materialkosten Flächenheizung, Montagekosten, zusätzliche Arbeiten)
- Eignung für die Nachrüstung im Bestand
(u. a. Verfügbarkeit von Steigsträngen, „Anfahren“ der Heizflächen durch den Raum, bisherige Nutzung der Fläche, Lärm und Schmutz in den Wohnungen während der Montage, ...)
- Anforderungen an den Untergrund
(z. B. Montage auf der Rohbauwand, Tragfähigkeit des Bestandsputzes, Auszugsfestigkeit für Befestigungsmittel, ...)
- Vorfertigungsgrad
(Module mit Steckverbindern für hydraulische Verbindung / Platten mit Anschluss vor Ort / Module, die vor Ort eingeputzt werden / händische Montage vor Ort über alle Montageschritte)
- Zeitaufwand für die Montage und Trocknung
- Materialien
(Gips- bzw. Faserplatten, Kunststoffschäume, Lehmplatten, Giptputz, ...)
- Nutzbarkeit der Räume und Flächen

Je nach Anforderungen im konkreten Projekt können sich dadurch unterschiedliche Lösungen ergeben, die besonders geeignet sind. Außerdem müssen die Anbindung der Heizflächen an die Wärmeversorgung, die Lage der Heizkreisverteiler und Entlüftungsmöglichkeiten im Betrieb mitberücksichtigt werden.

Da für die Montage der Flächenheizungen teilweise unterschiedliche Gewerke zusammenarbeiten müssen (Heizung + Sanitär, Trockenbau, Gips- und Stuckateur), kann es sinnvoll sein, auch „Standard-Produkte“ wie Niedertemperatur-Heizkörper zu prüfen, die jeder Installateur eigenständig montieren kann und bei denen gegebenenfalls die Montagekosten niedriger liegen und die Anzahl der Schnittstellen geringer ist.

4 Planung und Umsetzung von Wand- und Deckenheizungen in Bestandsgebäuden

Bei der Umsetzung einer Wand- oder Deckenheizung in Bestandsgebäuden sollten eine Reihe von Schritten beachtet werden. Das folgende Kapitel wurde in Anlehnung an [6] erstellt.

4.1 Bestandsaufnahme

Zu Beginn einer Maßnahme steht die detaillierte Bestandsaufnahme des Gebäudes und der baulichen Ist-Situation. Dazu müssen die vorhandenen Pläne zusammengetragen, überprüft (Vollständigkeit, Maße) und ggf. um nachträgliche Änderungen ergänzt werden. Weitere Aspekte, die vorab möglichst umfassend erhoben bzw. geklärt werden sollten³:

- Nutzung der Räume, Einbauten etc.
- Welche Flächen sind für eine Umrüstung grundsätzlich geeignet
- Minimal zulässige bzw. gewünschte lichte Raumhöhen
- Zustand der Oberflächen und Erneuerungsbedarf
- Festigkeit der Unterkonstruktionen
- Wo verlaufen Schächte und Leitungen, gibt es alte Kamine, die zur Versorgung genutzt werden können?
- Altes Heizungssystem und Regelung (Zustand, Verteiler, Regelorgane, ...), was kann weiterverwendet werden?
- Rohrleitungsdurchmesser und Zustand vorhandener Leitungen
- Regeleinrichtungen an vorhanden Heizflächen, Anpassung von weiter genutzten Heizkörpern
- Rückbau der alten, nicht mehr benötigten Heiztechnik
- U-Werte der Bauteile und erforderliche zusätzliche Dämmschichten (Mindestwärmeschutz)

4.2 Planung

Eine detaillierte Planung der technischen und organisatorischen Aspekte der Umsetzung ist die Voraussetzung eine zügige Umsetzung und einen bestimmungsgemäßen Betrieb. Folgende Punkte sollten geprüft bzw. abgearbeitet werden:

- Festlegung des angestrebten Temperaturniveaus in den Räumen
- Raumweise Heizlastberechnung
- Erstellung einer Matrix mit den nutzbaren Flächen

³ Das Thema Kühlung mit Flächenheizungen wird an dieser Stelle nicht betrachtet.

- Festlegung der Fläche, die genutzt werden sollen
- Vordimensionierung auf Basis der Normheizlast bzw. erforderliche Zusatzheizlast
- Systemauswahl (Materialien und Verarbeitung)
- Auslegung mit herstellereigenen Kennwerten
- Überprüfung Einhaltung Mindestwärmeschutz hinter den Heizflächen (nach EN 1264-4), besser Mindestwärmeschutz deutlich überschreiten
- Befestigungen und Montage planen (ggf. Prüfung der Untergründe auf Tragfähigkeit)
- Planung der hydraulischen Anbindung, Pumpen, Entlüftung, Druckhaltung, Regelung und der erforderlichen Füllwasserqualitäten

4.3 Umsetzung

Bei der Umsetzung müssen u. a. für folgende Punkte Konzepte entwickelt werden:

- Zeitplan und Koordinierung mit Bewohnern und Handwerkern
- Einzuhaltenen Fristen für die Benachrichtigung der Bewohner
- Baustelleneinrichtung für Handwerker, Abbruch Altanlage und Materialien Flächenheizung
- Falls erforderlich: Rückbau der Altanlage
- Montage (Heizflächen, Rohrleitungen, Regelung, Wiederherstellen der Oberflächen)
- Dichtigkeits-/Druckprüfung
- Spülen der Heizflächen und Leitungen
- Befüllung und Entlüftung
- Hydraulischer Abgleich auf Basis einer detaillierten Heizlastberechnung nach DIN EN 12831
- Funktionsprüfung (korrekte Durchströmung, gleichmäßige Wärmeverteilung)
- (Beschichtungs-)Aufheizen⁴; gegebenenfalls können erst nach dem Beschichtungs-aufheizen die Beplankungen/ Spachtelungen, Beschichtungen montiert/aufgebracht werden
- Einstellung der Regelung
- Dokumentation (Zeichnungen, Datenblätter, Protokollierung (siehe [32]) und Übergabe

Die Umsetzung sollte durch eine kontinuierliche Kontrolle der Arbeiten begleitet werden. Gerade im Altbau ergeben sich unvorhergesehene Situationen, auf die vor dem Hintergrund der

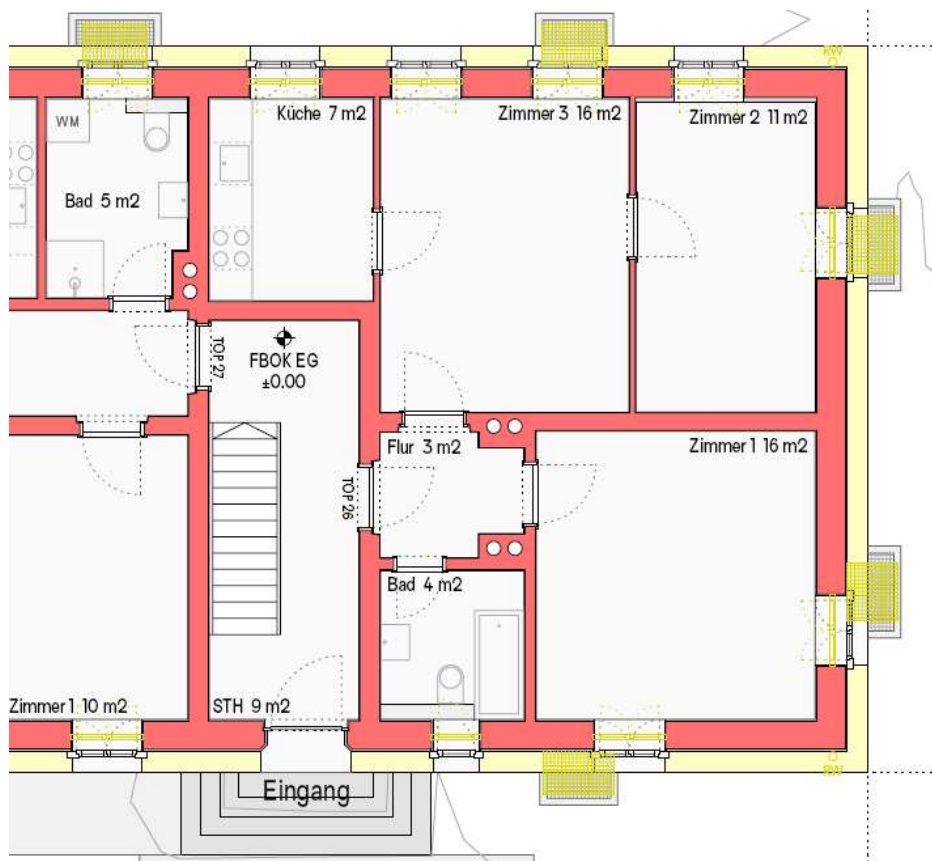
⁴ Manche Systeme müssen analog zu Fußbodenheizungen auch ein Aufheizprogramm durchlaufen

Ziele und Planungen reagiert werden muss. Eine lückenlose Bauleitung ist wichtig für die spätere korrekte Funktion, die Kostenkontrolle und eine geringe Beeinträchtigung der Bewohner.

4.4 Heizflächenabschätzung für eine Wohnung

Beispielhaft wird für eine Erdgeschosswohnung in der St. Antoniusstraße 19 in Bludenz (siehe Abbildung 9) die erforderliche Heizfläche für Wand- bzw. Deckenheizung bestimmt und den vorhandenen Flächen gegenübergestellt. Grundlage sind die Heizlastberechnungen des Planungsteam E-Plus, Egg. Als Raumheizlast wurde jeweils der maximale Wert von Heizlast nach Normauslegung bzw. aus der dynamischen Gebäudesimulation verwendet.

Abbildung 9: Grundriss der Beispielwohnung [33]



Für die Abschätzung der erforderlichen Heizflächen wurde ein Flächenheizsystem unterstellt, das sowohl für Wand- wie auch für Deckenheizung angeboten wird und auch flexible Anpassung von Teilflächen ermöglicht (besonders an der Außenwand, z. B. unter den Fenstern). Es handelt sich um Rohrleitungen ($\varnothing 9,9$ mm), die mit Klemmschienen und einem Verlegeabstand

von 8 cm befestigt und anschließend verputzt werden. Auch wenn ein Nasssystem in bewohnten Gebäuden Nachteile hat (Trocknungszeit, Feuchteintrag), wurde dieses wegen der besseren Vergleichbarkeit hier unterstellt.

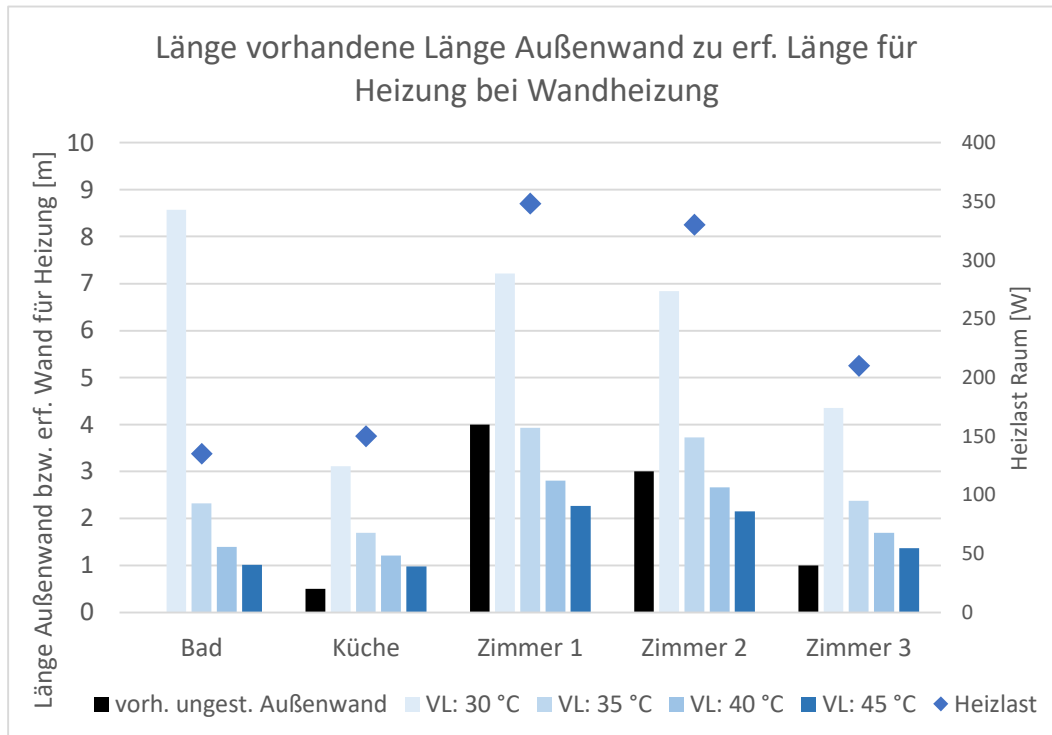
Da das Gebäude einen sehr guten Wärmeschutz erhält, sind die Anforderung an den Mindestwärmeschutz nach außen erfüllt. Für Vorlauftemperaturen von 30 bzw. 35 °C wurde eine Spreizung von 5 K unterstellt, bei 40 bzw. 45 °C Vorlauftemperatur wurden 7 K Spreizung angenommen.

4.4.1 Wandheizung

Für die Bestimmung der erforderlichen Wandfläche wurden von der lichten Raumhöhe pauschal 20 Prozent für Anschluss und erforderliche Abstände abgezogen, so dass 1,97 m für die Wandheizung zur Verfügung stehen. Anschließend wurden die „ungestörten“ Längen der Außenwand aufgenommen, für die unterstellt wurde, dass an diesen Flächen bisher (vor Sanierung) – wegen des schlechten bauphysikalischen Zustands der Gebäudehülle – zum Schimmelschutz tendenziell keine Möbel aufgestellt waren. In Abbildung 10 sind für jeden Raum der Wohnung diese ungestörten Außenwandlängen den erforderlichen Längen zur Deckung der Heizlast bei unterschiedlichen Vorlauftemperaturen gegenübergestellt. In der realen Ausführung können ggf. noch Teilflächen z. B. unter den Fenstern genutzt werden, wodurch sich die verfügbare Wandfläche noch leicht vergrößert. Entscheidende Verbesserungen sind durch diese zusätzlichen Flächen aber nicht mehr zu erwarten.

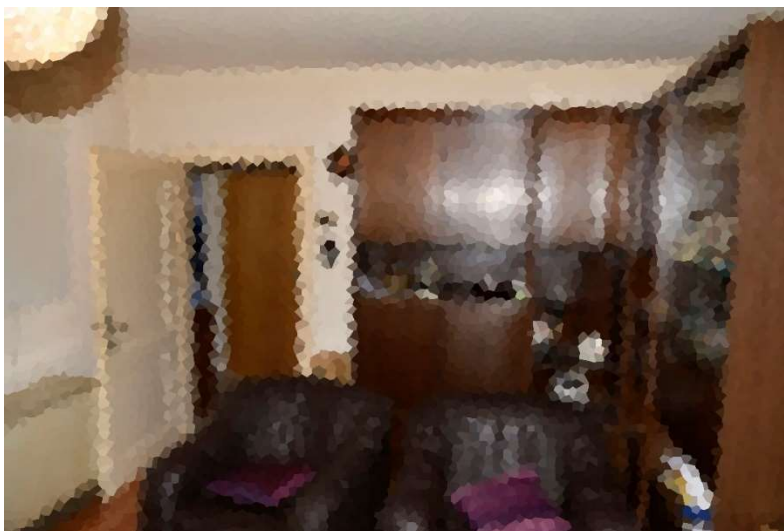
Der Vergleich zeigt, dass im Bad keine ungestörten Wandflächen (schwarze Säule = 0 m) vorhanden sind, so dass hier eine Wandheizung als alleinige Wärmeabgabe kaum zu realisieren ist. Auch in der Küche ist die verfügbare Fläche so gering, dass auch bei hohen Vorlauftemperaturen die Raumheizlast nicht vollständig gedeckt werden kann. Bei Zimmer 1 kann eine Vorlauftemperatur von 35 °C ausreichen (benötigte Länge Wandheizung ist kleiner als die vorhandene Länge), bei Zimmer 2 muss die Vorlauftemperatur bei mindestens 40 °C liegen und bei Zimmer 3 reicht auch die höchste aus Komfortgründen zulässige Vorlauftemperatur nicht aus.

Abbildung 10: Vergleich der vorhandenen ungestörten Außenwandlänge mit der für eine Beheizung erforderlichen Länge bei 1,97 m nutzbarer Wandhöhe



Wie in Abbildung 11 beispielhaft zu sehen, sind in den kleinen Wohnungen tatsächlich die Innenwände bereits sehr weitgehend für das Aufstellen von Möbeln genutzt, so dass die theoretisch mögliche Nutzung von Innenwänden für eine Wandheizung in diesem Gebäude kaum realistisch erscheint. Grundsätzlich ist somit eine alleinige Wandheizung in dieser Wohnung kaum umsetzbar.

Abbildung 11: Blick in eines der Zimmer des untersuchten Gebäudes mit Möblierung an den Innenwänden (verpixelte Darstellung auf Basis von [34])



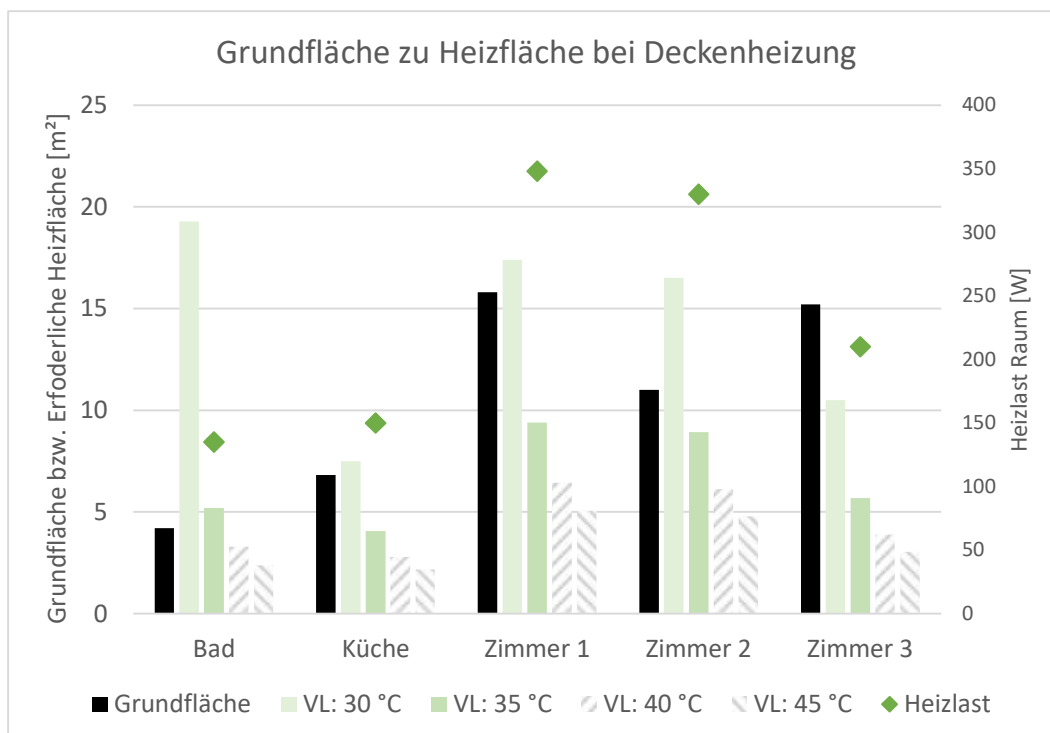
4.4.2 Deckenheizung

Bei der Deckenheizung wurde die Grundfläche des Raums als Vergleich herangezogen, ob ausreichend Fläche zur Verfügung steht. Nicht herausgerechnet sind Flächen, die z. B. für Elektroversorgung für die Beleuchtung benötigt werden, die aber bei einer Verlegung vor Ort noch berücksichtigt werden können. Bei der Deckenheizung ist die maximale Vorlauftemperatur auf ca. 35 °C begrenzt. Aus diesem Grund sind in Abbildung 12 die Ergebnisse für höhere Vorlauftemperaturen grau-schraffiert dargestellt.

Außer in Zimmer 3 reicht eine Vorlauftemperatur von 30 °C nie für eine alleinige Beheizung der Beispielräume aus. Mit 35 °C Vorlauftemperatur können alle Räume außer dem Bad beheizt werden. Im Badezimmer reicht die Deckenfläche aufgrund der höheren Raumtemperatur von 24 °C und der damit verbundenen geringeren Heizmittelübertemperatur nicht ganz für eine alleinige Beheizung aus.

Somit wäre eine Deckenheizung mit sehr niedrigen Vorlauftemperaturen von 35 °C in der Beispielwohnung möglich, wenn im Badezimmer eine zusätzliche Wärmeabgabe (z. B. kleine Elektroheizung) vorgesehen wird.

Abbildung 12: Vergleich der vorhandenen Grund- bzw. Deckenfläche mit der erforderlichen Heizfläche bei unterschiedlicher Vorlauftemperatur



Abkürzungen

DIN	Deutsches Institut für Normung
EN	Europäische Norm
R-Wert	Wärmedurchlasswiderstand
RL	Rücklauftemperatur
RT	Raumtemperatur
VL	Vorlauftemperatur
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient
α	Wärmeübergangskoeffizient
ϑ	Temperatur

Abbildungen

Abbildung 1: Heizmittelübertemperatur für verschiedene Vorlauf- und Raumtemperaturen sowie Heizmittelspreizungen.....	9
Abbildung 2: Beispielhafte Bestimmung der Wärmeabgabe für ein Nass- (links) und ein Trockenverlegesystem (rechts) [7].....	10
Abbildung 3: Grundsätzliche Systemübersicht bei Wand- oder Deckenheizungen [9]	11
Abbildung 4: Heizleistungen für unterschiedliche Deckenheizungen verschiedener Hersteller und Referenzwerte nach EN 1264-4 (eigene Auswertungen nach Herstellerangaben).....	20
Abbildung 5: Längenbezogene Heizleistungen für unterschiedliche Heizleisten verschiedener Hersteller (eigene Auswertungen nach Herstellerangaben).....	22
Abbildung 6: Beispiele für Heizleisten: links Konvektorleiste [28], rechts Heizleiste mit hohem Strahlungsanteil [29]	23
Abbildung 7: Beispiele für Niedertemperatur-Heizkörper: links Gebläsekonvektor [30], rechts Wärmepumpenheizkörper [31].....	24
Abbildung 8: Veränderung der Heizleistung von drei unterschiedlichen Baugrößen des Gebläsekonvektors [30] bei unterschiedlichen Heizkreistemperaturen: links 45 °C/ 35 °C/ 20 °C, rechts 35 °C/ 30 °C/ 20 °C (VL, RL, RT).....	24
Abbildung 9: Grundriss der Beispielwohnung [33]	28

Abbildung 10: Vergleich der vorhanden ungestörten Außenwandlänge mit der für eine Beheizung erforderlichen Länge bei 1,97 m nutzbarer Wandhöhe	30
Abbildung 11: Blick in eines der Zimmer des untersuchten Gebäudes mit Möblierung an den Innenwänden (verpixelte Darstellung von [34])	30
Abbildung 12: Vergleich der vorhanden Grund- bzw. Deckenfläche mit der erforderlichen Heizfläche bei unterschiedlicher Vorlauftemperatur	31

Tabellen

Tabelle 1: Vor- und Nachteile von Wand- und Deckenheizungen.....	6
Tabelle 2: Mindestwärmeschutz für Flächenheizungen (in Anlehnung Tabelle 1 in [3])	7
Tabelle 3: Maximale Oberflächentemperaturen, Wärmeübergangskoeffizienten und Heizleistungen für die Wärmeübergabe auf unterschiedlichen Flächen (eigene Darstellung nach [6])	8
Tabelle 4: Beispiele für Wandheizungen	12
Tabelle 5: Beispiele für Deckenheizungen	16

Literatur

- [1] P. Mellwig, D. M. Pehnt, und J. Lempik, „Energieeffizienz als Türöffner für erneuerbare Energien im Gebäudebereich“, ifeu, Heidelberg, 2021. Verfügbar unter: <https://www.ifeu.de/projekt/energieeffizienz-als-tueroeffner-fuer-erneuerbare-energien-im-gebaeudebereich/>. [Zugegriffen: 13. November 2023]
- [2] „Kesseltausch Mehrgeschossiger Wohnbau 2023/2024“. Kommunalkredit Public Consulting. Verfügbar unter: <https://www.umweltfoerderung.at/privatpersonen/kesseltausch-mehrgeschossiger-wohnbau-2023/2024/unterkategorie-mehrgeschossiger-wohnbau>. [Zugegriffen: 5. Dezember 2023]
- [3] „DIN EN 1264-4:2021-08, Raumflächenintegrierte Heiz- und Kühlsysteme mit Wasserdurchströmung_- Teil_4: Installation; Deutsche Fassung EN_1264-4:2021“, Beuth Verlag GmbH. doi: 10.31030/3223055. Verfügbar unter: <https://www.beuth.de/de/-/-/332536919>. [Zugegriffen: 14. November 2023]

-
- [4] „Energieeinsparung und Wärmeschutz - OIB-RICHTLINIE 6“, Österreichisches Institut für Bautechnik, Wien, 6, Apr. 2019. Verfügbar unter: https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/LgblAuth/LGBLA_TI_20200528_61/61_TBV2016_Anlage6_KM.pdf. [Zugegriffen: 14. November 2023]
- [5] „Steuerung und Regelung von Flächenheizungen und -kühlungen auf Basis von Warm-/Kaltwasser für den Wohnungsbau“, Bundesverband Flächenheizung und Flächenkühlung e.V., Dortmund, BVF Richtlinie 4, Dez. 2021. Verfügbar unter: <https://www.flaechenheizung.de/downloads/>. [Zugegriffen: 15. November 2023]
- [6] F. Hartmann und F. Wohlfeil, „Die Flächenheizung in der Modernisierung von Wohngebäuden“, online, 19. Januar 2022. Verfügbar unter: <https://www.flaechenheizung-bdh.de/seminare/online-seminare/seminarreihe/flaechenheizung-in-der-modernisierung>. [Zugegriffen: 13. November 2023]
- [7] „Pipelife Wandheizungssystem“, Wien, Technisches Handbuch, Dez. 2022. Verfügbar unter: <https://www.pipelife.at/content/dam/pipelife/austria/marketing/building/hot-cold/documents/Wandheizung%20THB.pdf>. [Zugegriffen: 13. November 2023]
- [8] „Flächenheizungen und Flächenkühlungen in der Modernisierung von bestehenden Gebäuden – Anforderungen und Hinweise“, Bundesverband Flächenheizung und Flächenkühlung e.V., Dortmund, 10, Sep. 2020. Verfügbar unter: <https://www.flaechenheizung.de/downloads/>
- [9] F. Hartmann und J. Gänßmantel, „Die Wandheizung an Außenwänden in bestehenden Gebäuden mit Innendämmung energieeffizient und thermisch behaglich“, online, 18. Januar 2023.
- [10] „Produktseite PYD-WallClip“. PYD-Thermosysteme. Verfügbar unter: <https://www.pyd.de/mesmerize/lessons/pyd-wallclip/>. [Zugegriffen: 16. November 2023]
- [11] „Produktseite bluemat-Kapillarrohrmatte“. Geoclimadesign, Fürstenwalde. Verfügbar unter: <http://www.geoclimadesign.com/bluemat-system/bluemat-kapillarrohrmatte/>. [Zugegriffen: 16. November 2023]
- [12] „Produktinformation RatioDämm wall&floor“. Ratiodämm, Neustadt, Wied. Verfügbar unter: https://ratiodaemm.de/wp-content/uploads/ratiodaemm_Sanierung-2020.pdf. [Zugegriffen: 16. November 2023]
- [13] „Produktinformation Agrillatherm wSYSTEM“. ArgillaTherm, Göttingen. Verfügbar unter: <https://argillatherm.de/wsystem-wandheizung/>. [Zugegriffen: 16. November 2023]
- [14] „Produktinformation x-net c22“. Kermi GmbH, Plattling. Verfügbar unter: <https://www.kermi.com/de/de/raumklima/produkte/flaechenheizung-und-kuehlung/x-net-c22-wandheizung-trockensystem/>. [Zugegriffen: 16. November 2023]

- [15] „Produktinformation Ideal Classic Öko ST 30“. MFH-Systems, Belm. Verfügbar unter: <https://www.mfh-systems.com/produkte/ideal/ideal-classic-oeko-st-30/>. [Zugegriffen: 16. November 2023]
- [16] „Verlegeanleitung Variotherm Wandheizung“. Variotherm, Leobersdorf. Verfügbar unter: <https://www.variotherm.com/de/produkte/wandheizungkuehlung-trockenbau/technik.html>. [Zugegriffen: 16. November 2023]
- [17] „Montagebeispiel Uponor Siccus SW“. Uponor, Haßfurt. Verfügbar unter: <https://www.uponor.com/de-de/produkte/wandinstallation#installateure>. [Zugegriffen: 16. November 2023]
- [18] „Uponor Deckenkühlung/-heizung Technische Informationen 10-2023“. Uponor, Oktober 2023. Verfügbar unter: <https://brandportal.uponor.com/m/366a92c64bd79225/original/TI-Ceiling-Heating-Cooling-DE-1092315.pdf>. [Zugegriffen: 15. November 2023]
- [19] „Aquatherm Produktinformation aquatherm-black“. Aquatherm. Attendorn. Verfügbar unter: <https://www.aquatherm.de/loesungen-produkte/produkte/aquatherm-black/>. [Zugegriffen: 14. November 2023]
- [20] „MFH-Systems Referenzsanierung Georgsmarienhütte mit IDEAL EPS“. MFH-Systems. Verfügbar unter: <https://www.mfh-systems.com/was-wir-machen/referenzen/sanierung-eines-einfamilienhauses-in-49124-georgsmarienhuette/1/>. [Zugegriffen: 14. November 2023]
- [21] „Thermolutz Konstruktionsdetails AcularDG“. Thermolutz. Verfügbar unter: https://www.thermolutz.de/fileadmin/user_upload/Images/acu_DG_Schnitt729.jpg. [Zugegriffen: 14. November 2023]
- [22] „Joco Produktseite kd-8n“. Joco Achern. Verfügbar unter: <https://www.joco.de/produkte/deckenheizung-deckenkuehlung/deckenheizung-nasssystem-kd-8n/>. [Zugegriffen: 14. November 2023]
- [23] „WEM Referenzobjekt Frankfurt am Main“. WEM GmbH. Verfügbar unter: <https://wandheizung.de/referenzen/einbaubeispiele/architektenwohnung.html>. [Zugegriffen: 15. November 2023]
- [24] „Joco Produktvielfalt“. Joco Achern, 2016. Verfügbar unter: <http://www.a-grossmann.de/application/files/7914/7574/3434/flaechenheizung-joco.pdf>. [Zugegriffen: 15. November 2023]
- [25] „Produktdatenblatt MFH-Systems Ideal Classic CAB 30“. MFH-Systems, September 2023.
- [26] „Produktseite PYD-ALU Topmodul“. PYD-Thermosysteme. Verfügbar unter: <https://www.pyd.de/mesmerize/lessons/pyd-alu-topmodul/>. [Zugegriffen: 14. November 2023]

-
- [27] S. Bichlmair, A. Zegowitz, M. Aleysa, und R. Schübler, „Untersuchungen eines Sockelheizungssystems im Vergleich zu einem konventionellen Heizungssystem“, Fraunhofer IBP, IBP-Bericht HTB-012/2022, Juli 2022. Verfügbar unter: https://www.sokotherm.eu/wp-content/uploads/2022/08/HTB_012k_2022_Stb_SOKOTHERM-GmbH_20220705-Ze2.pdf. [Zugegriffen: 14. November 2023]
- [28] „Perfecta Heizleiste“. Perfecta Heizleiste. Verfügbar unter: <https://perfecta-heizleiste.de/technische-details/>. [Zugegriffen: 14. November 2023]
- [29] „Sokotherm - Downloads“. Sokotherm. Verfügbar unter: <https://www.sokotherm.eu/presse/#Downloads>. [Zugegriffen: 14. November 2023]
- [30] „Produktinformation iVECTOR“. Vogel&Noot, St. Barbara i. M. Verfügbar unter: <https://www.vogelundnoot.com/de/produkte/geblaesekonvektor-ivector.htm>. [Zugegriffen: 16. November 2023]
- [31] „Produktdatenblatt Kermi x-flair“. Kermi GmbH, Plattling. Verfügbar unter: <https://www.kermi.com/de/de/raumklima/produkte/flachheizkoerper/x-flair-waerme-pumpen-heizkoerper/>. [Zugegriffen: 16. November 2023]
- [32] „KÜHLEN UND HEIZEN MIT DECKENSYSTEMEN Montage | Inbetriebnahme | Abnahme | Betrieb“, Bundesverband Flächenheizung und Flächenkühlung e.V., 15.11. Nov. 2020. Verfügbar unter: <https://www.flaechenheizung.de/downloads/>
- [33] „Johannes Kaufmann und Partner - Architektur: Entwurfsplanung Sanierung St. Antoniusstraße 19“. Dornbirn, 13. Mai 2022.
- [34] Energieinstitut Vorarlberg, Foto eines beispielhaften Zimmers der Südtirolersiedlung in Bludenz. 2024.