Stadt Zürich
Amt für Hochbauten

03 | 2012

Niedertemperatur Wärmeverteilsysteme

Systemevaluation für Instandsetzungen und Neubauten

Schlussbericht

Fachstelle
Energie- und Gebäudetechnik

IMPRESSUM

Auftraggeberin:
Stadt Zürich,
Amt für Hochbauten,
Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik,
Amtshaus III, Lindenhofstrasse 21
8021 Zürich

Bearbeitung:
Alex Primas (Basler & Hofmann AG, Zürich)
Michael Stache (Basler & Hofmann AG, Zürich)
info@baslerhofmann.ch

Projektleitung:
Franz Sprecher
Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik,
Amt für Hochbauten

Projektteam:
Werner Hässig (hässig sustech GmbH)
Andreas Niemann (Stadt Zürich, AHB)
Alex Primas (Basler & Hofmann AG, Zürich)

Download als pdf von
www.stadt-zuerich.ch/egt
> Projekte realisiert

Zürich, März 2012

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung 4
2 Einführung 6
2.1 Ausgangslage, Absicht 6
2.2 Gewählter Lösungsweg 6
3 Grundsätzliche Überlegungen 8
3.1 Eigenschaften der Abgabesysteme 8
3.2 Vorgehensablauf 9
3.3 Vorgabe für Systemtemperatur 10
3.4 Kostenbetrachtung 11
4 Analyse Leistungsbedarf 13
4.1 Leistungsbedarf der Räume 13
4.2 Kritische Räume 13
5 Analyse Volumenströme und Druckverluste 15
6 Analyse der Abgabesysteme 16
6.1 Festlegung der betrachteten Systeme 16
6.2 Heizkörper 16
6.3 Fussbodenheizungen 20
6.4 Wandheizungen 23
6.5 Deckenheizung 26
7 Ablaufdiagramme 29
7.1 Bestimmung der Vorgabe für die Heizflächenübertemperatur 29
7.2 Prüfung auf kritische Druckverluste 30
7.3 Vorgehensablauf für Erneuerungen 30
7.4 Eignungsmatrix 33
8 Hydraulische Einbindung 35
8.1 Einrohrheizsysteme 35
8.2 Hydraulische Einbindung Flächenheizung 36
8.3 Hydraulische Einbindung in der Heizzentrale 37
9 Untersuchung Referenzräume 38
9.1 Wohnsiedlung Paradies 38
9.2 Schulhaus Lavater 41
9.3 Schulhaus Loogarten 45
10 Anhang 49
10.1 Literaturverzeichnis 49
10.2 Faktenblätter 50
10.3 Analyse der zulässigen Strahlungsasymmetrie bei Deckenheizungen 59
10.4 Selbstregeleffekt von Wärmeabgabesystemen 61
10.5 Hersteller nach Systemtyp (Zusammenstellung) 62
10.6 Prinzipschema Ist-Zustand Heizungsversorgung Wohnsiedlung Paradies 63

1 Zusammenfassung

Um bei der Erneuerung bestehender Gebäude eine energetisch günstige Ausgangslage für eine Wärmepumpenheizung zu haben, sind insbesondere tiefe Systemtemperaturen im Heizkreis von Bedeutung. Für die Optimierung der Wärmeabgabe müssen die Zusammenhänge und Abhängigkeiten bekannt und geeignete Lösungen verfügbar sein.

Im Folgenden wird insbesondere die Situation für Wohngebäude und Schulhäuser betrachtet. Die Ergebnisse sind teilweise auch auf Bürogebäude übertragbar (für einfache Büronutzungen z.B. in Gebäuden mit gemischter Nutzung).

Um für ein Gebäude eine praktikable Vorgabe für die zu erreichenden Systemtemperaturen zu erhalten, muss ein Wärmedämmprojekt mit Angaben zum Heizwärmebedarf nach der Erneuerung verfügbar sein. Mit dem vorgeschlagenen Vorgehen wird die Leistungsreserve nach der Erneuerung ermittelt und daraus die Vorgabe zur neuen Heizflächenübertemperatur bestimmt. Dabei müssen folgende zwei Fälle unterschieden werden:

- Bei der Erneuerungen bleiben Heizkörper überwiegend bestehen
- Bei der Erneuerungen werden Heizkörper in allen Räumen ersetzt

Im vorgeschlagenen Vorgehensablauf wird für die weitere Analyse ein Anteil der Räume festgelegt, für welche besondere Massnahmen vorgesehen werden. Für diese Räume muss nun eine individuelle Analyse zeigen, mit welchem System oder welcher Systemkombination die benötigte Leistung erbracht werden kann. Je nach Raumsituation eignen sich gewisse Arten der Wärmeabgabe besser bzw. andere sind ausgeschlossen. Mit der erarbeiteten Eignungsmatrix kann eine Eingrenzung auf die geeigneten Abgabesysteme erfolgen. Folgende Systemtypen wurden dabei grundsätzlich unterschieden:

- Vergrösserung der Heizkörper
- zusätzliche Heizkörper
- Ersatz durch aktive Konvektoren
- zusätzlicher Einbau aktiver Konvektoren
- zusätzliche Wandheizung
- Einbau einer Deckenheizung
- Einbau einer Bodenheizung

Daneben müssen diverse Randbedingungen beachtet werden. Die wesentlichen sind folgende:

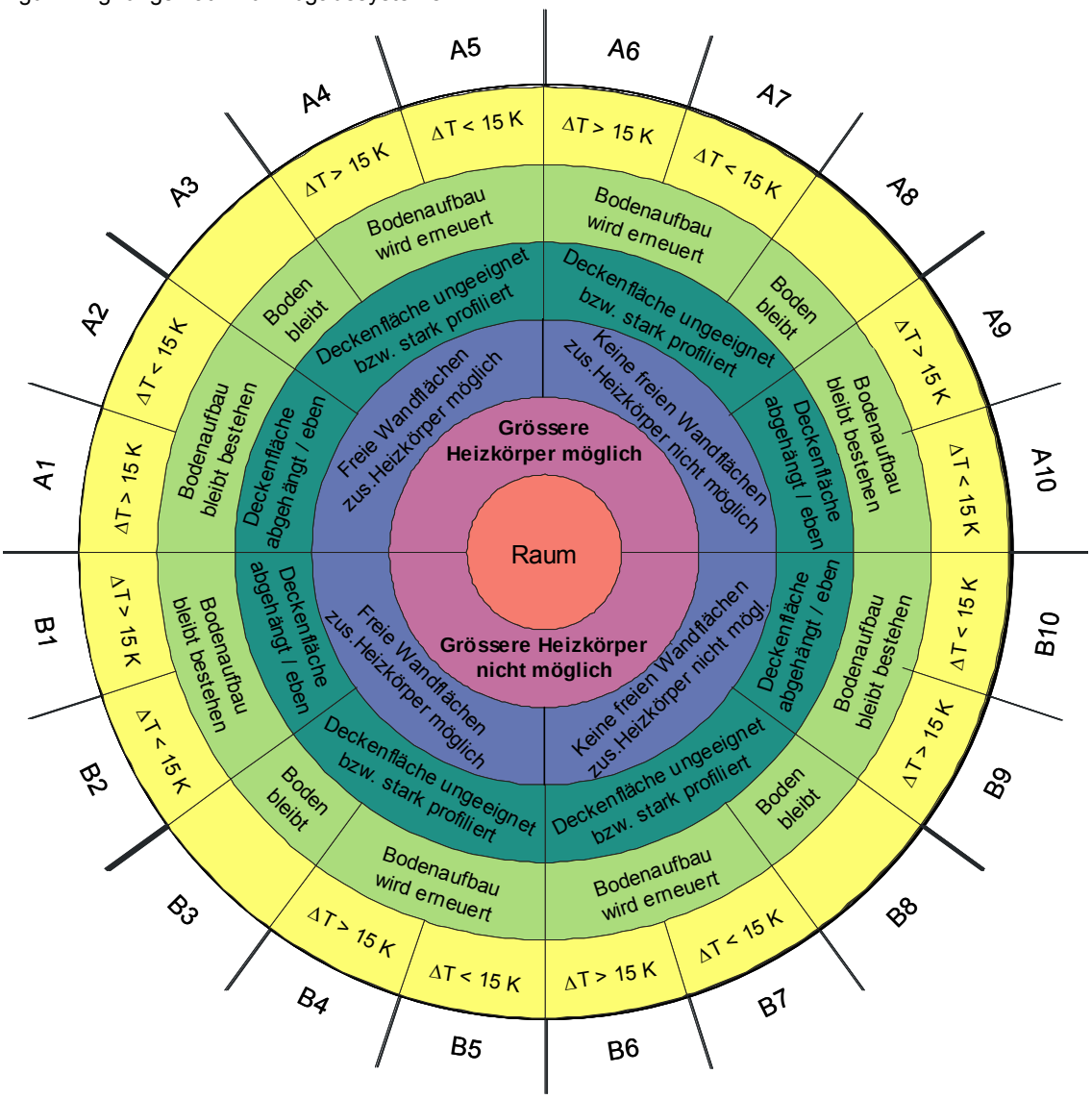
- Einhaltung vertretbarer Druckverluste in den Steigsträngen
- Einhaltung der Mindestwasserströme in den Heizkörpern
- Beachten der Trägheit und Druckverluste bei Kombination von Flächenheizungen und Heizkörpern
- Beachten der Oberflächentemperaturen (und Strahlungsasymmetrie) bei Flächenheizungen
- Bei Vorlauftemperaturen unter 40°C ist es sinnvoll, einen Wechsel auf Flächenheizungen in Betracht zu ziehen

Die kritischen Räume sind insbesondere diejenigen, bei welchen bereits ein wesentlicher Teil des Raumumfangs für Heizkörperflächen verwendet wird und die Möglichkeiten zur Wärmedämmung im Vergleich zur Mehrzahl der Räume eingeschränkt ist (z.B. Boden gegen Erde oder Aussenwände ohne Dämmung bzw. mit grossen Wärmebrücken). Diese Räume erfordern spezielle Beachtung und unter Umständen auch eine Überarbeitung des Wärmdämmprojektes.

Die untersuchten Abgabesysteme wurden in Faktenblätter charakterisiert, wo wichtige Vor- und Nachteile sowie Kennwerte dargestellt werden.

Aus den Resultaten wurde eine Eignungsmatrix erarbeitet mit der die geeigneten Systeme in Abhängigkeit der vorhandenen Raumsituation eingegrenzt, und ungeeignete Systeme ausgeschlossen werden können (siehe Figur 1). In der Eignungsmatrix wird die räumliche und bauliche Situation in vier Schritten eingegrenzt (Beginn im Zentrum bei Feld „Raum“). Im letzten Schritt wird die Auswahl noch durch die angestrebte mittlere Heizflächenübertemperatur (△T) abgeschlossen.

Figur 1 Eignungsmatrix für Abgabesysteme



△T = massgebende Heizflächenübertemperatur für Auslegung

Felder A1.... B10: Legende zu den geeigneten Abgabesystemen siehe untenstehende Tabelle

geeignete Massnahme für	A										B									
Abgabesystem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Vergrösserung der Heizkörper	x		x	x		x		x	x											
zusätzliche Heizkörper	x		x	x							x		x	x						
Ersatz durch aktive Konvektoren		x		x	x	x	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x	x	x
zusätzlich aktive Konvektoren		x			x						x	x	x	x						
zusätzliche Wandheizung		x	x *)		x							x	x *)		x					
Einbau einer Deckenheizung		x								x		x								x
Einbau einer Bodenheizung					x		x								x		x			
*) Einhaltung der maximalen Oberflächentemperatur ist zu beachten (max.35°C)																				

2 Einführung

2.1 Ausgangslage, Absicht

Bei der Erneuerung bestehender Gebäude besteht oft auch die Möglichkeit, im Rahmen der Bauarbeiten das bisherige Heizsystem durch eine Wärmepumpe zu ersetzen. Damit die Wärmepumpe jedoch effizient arbeiten kann, müssen verschiedene Voraussetzungen gegeben sein. Insbesondere tiefe Systemtemperaturen im Heizkreis sind von Bedeutung, um eine gute Jahresarbeitszahl zu erzielen.

Ein Auslöser für diese Untersuchung war auch die bei der Erneuerung der Wohnsiedlung Heuried angetroffenen Situation, bei der infolge der fehlenden Wärmedämmung des Bodens im Kindergarten (vorgesehene Dämmung im Zwischenboden war nicht realisierbar) in diesem Raum eine höhere Raumtemperatur benötigt wird, um im Aufenthaltsbereich Komfortbedingungen zu erreichen. In diesem Fall wurde die benötigte höhere Abgabeleistung der Heizflächen über eine höhere Vorlauftemperaturen für diese Raumgruppe erreicht. Wenn in diesem Gebäude zukünftig eine Wärmepumpe den Wärmebedarf erzeugen sollte (heute Beheizung mit Gaskessel), wäre diese Lösung energetisch ungünstig.

Durch die Verwendung von geeigneten Raumsystemen soll die Effizienz der Wärmeabgabe für den Einsatz von Wärmepumpenlösungen optimiert werden. Dazu müssen die Zusammenhänge über diese Systeme, deren Anwendungsmöglichkeiten und –Grenzen bekannt sein. Zudem müssen die entsprechenden Informationen verfügbar sein und in die Planung einfliessen. Dazu ist eine Analyse der geeigneten am Markt erhältlichen Abgabesysteme notwendig. Dabei sind auch Abklärungen bezüglich der Eignung der Systeme für Erneuerungen wichtig, da hierbei oft erschwerende Bedingungen angetroffen werden (mögliche Eingriffstiefe, Denkmalschutz, bauphysikalisch weniger günstige Lösungen).

Diese Informationen sollen für die Verwendung im Planungsprozess aufgearbeitet werden. Dazu werden die Resultate in Form von Flussdiagrammen und Faktenblättern zusammengefasst, welche die verschiedenen Optionen zur Umsetzung für die Arbeit am Objekt aufzeigen.

2.2 Gewählter Lösungsweg

In der Arbeit wurde in erster Linie die Situation in Wohngebäuden und Schulhäusern betrachtet. Die Ergebnisse sind teilweise auch auf Bürogebäude übertragbar, sofern die Gebäude-konstruktion vergleichbar ist (z.B. keine Doppelböden bzw. Kühldecken) und die internen Lasten relativ gering sind (einfache Büronutzungen z.B. in Gebäuden mit gemischter Nutzung).

In einem ersten Schritt werden die in die Untersuchung einzubeziehenden Randbedingungen, Abgabesysteme und Systemkombinationen zusammengetragen und festgelegt. Dabei wird unterschieden zwischen:

- Randbedingungen am Gebäude: Bauliche Ausbildung der Decken, Brüstungen; Nutzungsart (Wohngebäude, Schulgebäude); bauliche Einschränkungen
- Gebäudekennwerte (z.B. spez. Heizleistungsbedarf, verfügbare Flächen)
- Art der Abgabesysteme: Heizkörper, Brüstungsgeräte, Flächenheizung (Decke, Wand, Boden)

Da für einen effizienten Betrieb der Wärmepumpe neben den erreichten Temperaturen der Heizkurve (Vor- / Rücklauftemperatur) auch weitere Faktoren wie z.B. die hydraulische Einbindung, vorhandene Speichermasse, Thermostatventile und die Regelung der Wärmepumpe von hoher Relevanz sind, müssen diese Punkte in die Analyse einbezogen werden. Wichtige Einflussgrössen oder Einschränkungen bei der Einbindung werden daher für die untersuchten Systeme aufgezeigt.

Als zweiter Schritt werden aktuelle Informationen und Kenndaten zu den gewählten Systemen zusammengetragen.

Als Resultat der Analysen werden die Eignungskriterien und Kennwerte der verschiedenen Systeme in einem übersichtlichen Flussdiagramm und in Faktenblätter zusammengefasst.

Diese Darstellung dient dabei als Leitfaden, der die verschiedenen Optionen für eine Umsetzung am Objekt aufzeigt. Die Flussdiagramme und Faktenblätter beinhalten folgende Punkte:

- Systemeigenschaften (Vor- / Nachteile, wichtige Kenngrössen energetisch, technisch, wirtschaftlich)
- Anwendungsmöglichkeiten (Eignungskriterien)
- Vorgehen und Voraussetzungen (aus baulicher Sicht bzw. bezüglich der Einbindung)

3 Grundsätzliche Überlegungen

3.1 Eigenschaften der Abgabesysteme

Nachfolgend sind einige grundsätzlichen Eigenschaften der verschiedenen Wärmeabgabesysteme dargestellt:

Tabelle 1 Eigenschaften der untersuchten Wärmeabgabesysteme

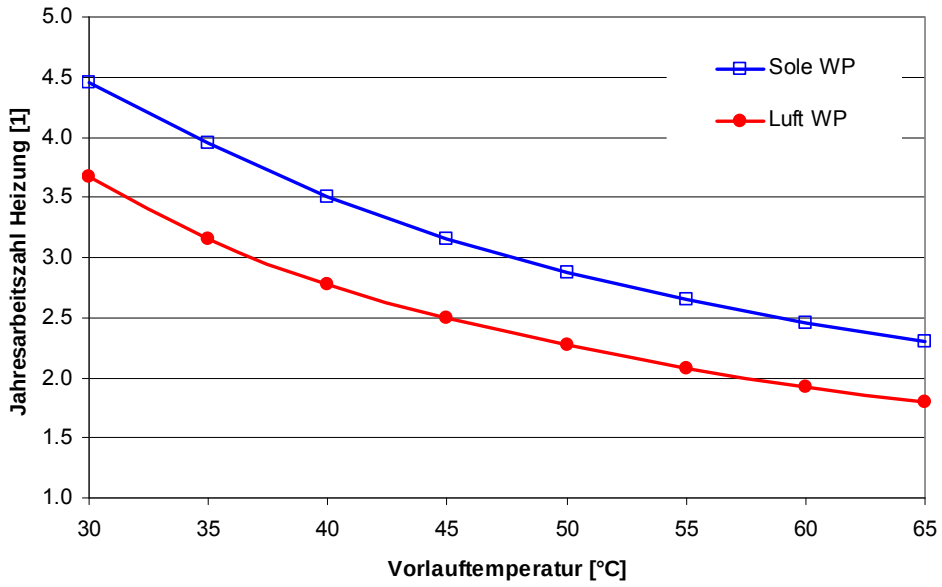
Eigenschaft	**Heizkörper**	**Heizkörper mit erzwungener Konvektion**	**Bodenheizung**	**Wandheizung**	**Deckenheizung**
Anteil Strahlungswärme	mittel	gering	hoch	hoch	hoch
Gleichmäßige Raumtemperaturverteilung	mittel	mittel	gut	gut	mittel
Schnell regelbar	Ja	Ja	Nein *)	Ja **)	Ja **)
Freizuhaltender Flächenbedarf	mittel	mittel	gering	hoch	gering
Kühlung im Sommer	sehr gering	gut	mittel	gut	sehr gut
Druckverlust	gering	gering	mittel-hoch	mittel-hoch	hoch
Bedarf an Fremdenergie	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein
*) spezielle Systeme mit geringerer Trägheit sind erhältlich **) Sofern von Wand / Decke entkoppelt (Trockensysteme)					

Eine Reduktion der Systemtemperaturen (Vor- und Rücklauf) führt bei Wärmepumpenanlagen zu einem tieferen Temperaturhub in der Wärmepumpe, was zu einer höheren Effizienz (COP, JAZ) führt (siehe Figur 2).

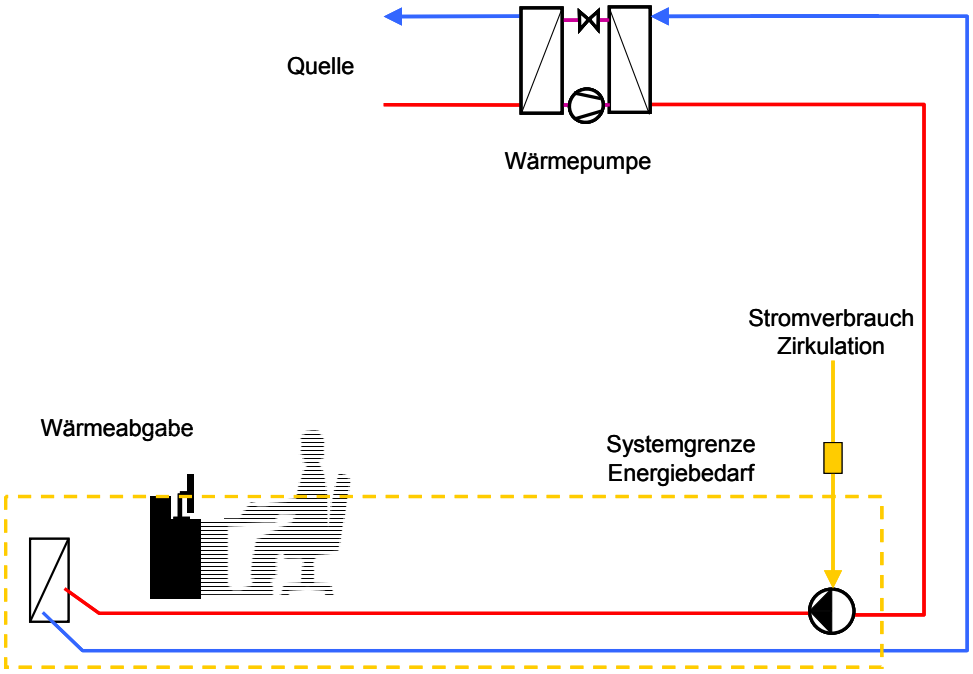
Auf der anderen Seite sind dafür auf der Abgabeseite die Wärmeabgabeflächen stark zu vergrössern, da bei geringerer Heizflächenübertemperatur sonst die notwendige Abgabeleistung nicht mehr gewährleistet werden kann.

Im Weiteren sind im Zusammenhang mit der Einbindung von Flächenheizsystemen oder aktiven Komponenten (erzwungene Konvektion) die Auswirkungen erhöhter Druckverluste (v.A. bei Flächenheizsystemen) oder auch der Stromverbrauch aktiver Komponenten (z.B. Lüfter) zu berücksichtigen (siehe Figur 3).

Figur 2 Einfluss der Vorlauftemperatur auf die Jahresarbeitszahl einer Wärmepumpe; Datenbasis: Eigene Berechnung mit WPesti / V6.3 / 2009 auf Basis COP aus Herstellerangaben



Figur 3 Zu berücksichtigende Einflussgrössen / Systemgrenzen für einen Vergleich Aufwand / Nutzen bezgl. Energie

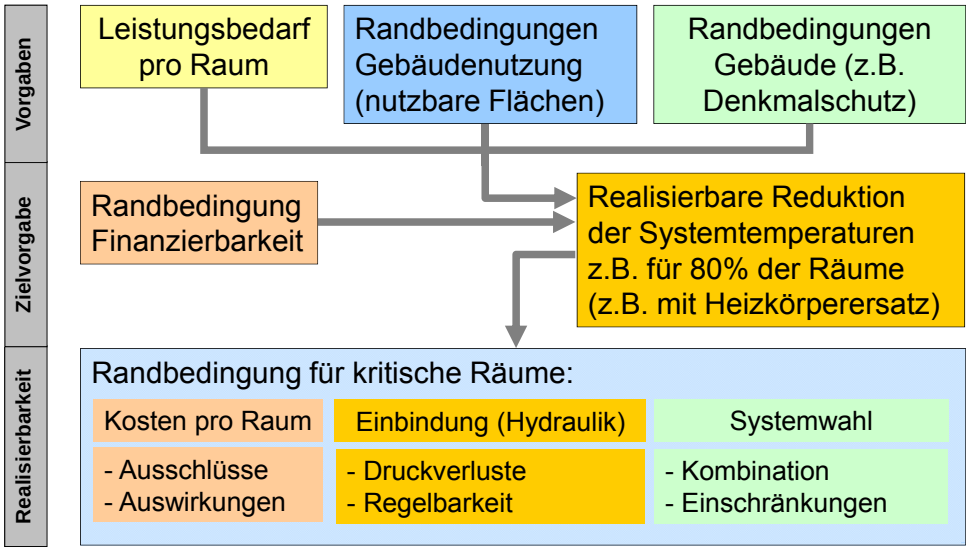


3.2 Vorgehensablauf

Um bei einem Projekt das gesamte Gebäude auf eine (im gegebenen Rahmen) möglichst tiefe Systemtemperatur zu optimieren, sind verschiedene Schritte notwendig.

Als Basis muss der Leistungsbedarf nach der Instandsetzung pro Raum bekannt sein. Zudem müssen die vom Gebäude, der Nutzung und von den Finanzen vorgegebenen Randbedingungen bekannt sein.

Figur 4 Vorgehensablauf für Optimierung auf tiefe Systemtemperaturen



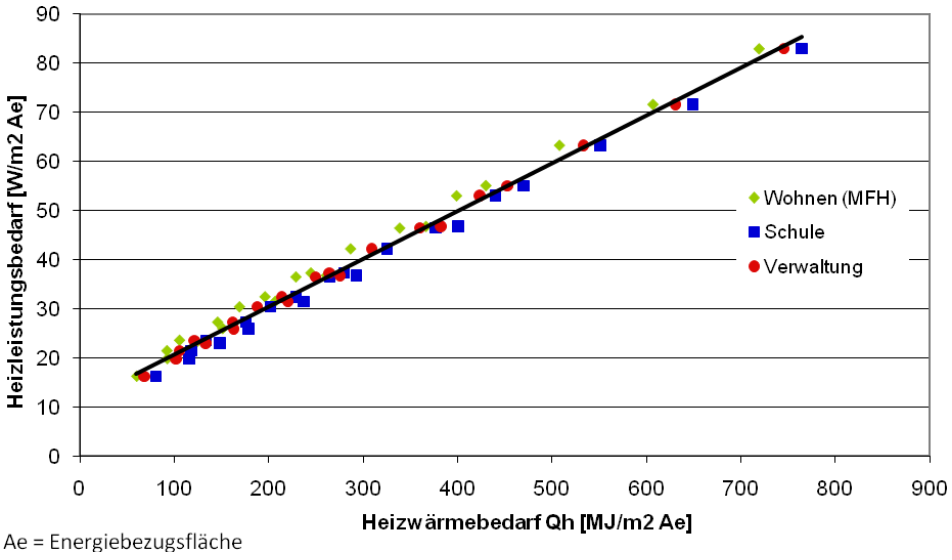
Damit kann nun eine erste Optimierung (z.B. von 80% der Räume) auf eine optimale Systemtemperatur erfolgen. Für die (kleine Zahl) von Räumen, welche diese Bedingungen mit einfachen Heizkörperersatzmassnahmen nicht erfüllen, müssen nun Alternativen (bzw. Kombinationen) gefunden werden, mit welchen diese Bedingungen erfüllt werden. Dabei gelten wiederum diverse Randbedingungen aus den Vorgaben sowie den für die Mehrheit der Räume geltenden Auslegungsbedingungen (z.B. Vorlauftemperatur, max. Druckverluste etc.). Figur 4 zeigt diesen Vorgehensablauf schematisch.

Da die Bedingungen in den "kritischen Räumen" und die "80%-Räume" sich gegenseitig beeinflussen, ist das gesamte Vorgehen im Prinzip ein Iterationsprozess. Dieser erfordert unter Umständen mehrere Durchgänge, um zur optimalen Lösung zu gelangen.

3.3 Vorgabe für Systemtemperatur

Um für ein Gebäude eine praktikable Vorgabe für die zu erreichenden Systemtemperaturen zu erhalten, sind als erstes in einem Wärmedämmprojekt die Flächen zu definieren, welche wärmetechnisch erneuert werden. Daraus ergibt sich mit einer Berechnung nach SIA 380/1 der Heizwärmebedarf. Aus dem Heizwärmebedarf kann grob der benötigte Heizleistungsbedarf nach der Erneuerung abgeschätzt werden. Zusammen mit der Angabe der heute installierten Heizkörperflächen bzw. deren Abgabeleistung bei Normbedingungen (Heizflächenübertemperatur 50 K bzw. bei älteren Auslegungen meist 60 K) kann damit die damit im Mittel erreichbare Vorlauftemperatur bestimmt werden.

Figur 5 Verhältnis zwischen Heizwärmebedarf und Heizleistungsbedarf
Basis: Gebäude mit 30% Fensterflächenanteil der Fassade; Berechnung nach SIA 380/1 / SIA 384.201; Klimastandort Zürich, mittlerer Leistungsbedarf für Gesamtgebäude (Bezug auf Ae), exkl. WW, Verteilverluste



Ae = Energiebezugsfläche

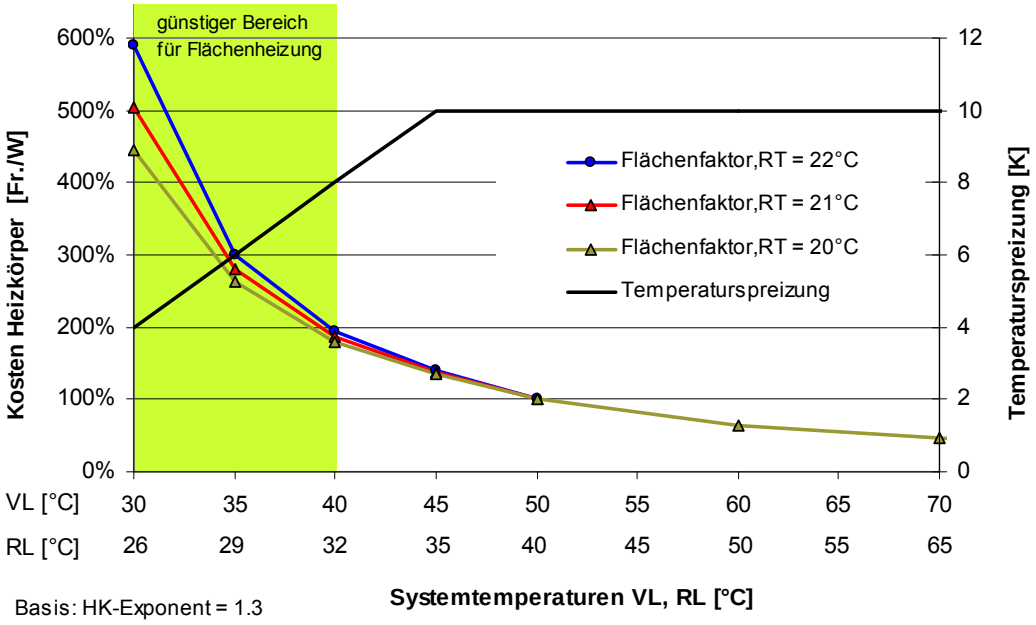
Wie Figur 5 zeigt, kann aus dem Verhältnis zwischen Heizwärmebedarf und Heizleistungsbedarf die benötigte Leistung abgeschätzt werden. Die in Figur 5 dargestellten Berechnungsresultate basieren auf drei unterschiedlichen Gebäudetypen (Ae = 600 m^2; Ae/Ath = 1.54; Ae = 1200 m^2; Ae/Ath = 1.29; Ae = 6000 m^2; Ae/Ath = 0.77), drei unterschiedlichen Nutzungen (MFH, Schule, Verwaltung sowie sieben verschiedenen Dämmstandards).

Die heute installierte Abgabeleistung kann aus der Summe der installierten Heizkörperflächen ermittelt werden. Aus dem Verhältnis von der installierten Heizkörperleistung (Normleistung) zum nach der Erneuerung erwarteten Heizleistungsbedarf gemäss Figur 6 kann die mit den bestehenden Heizkörpern erreichbare Vorlauftemperatur ermittelt werden.

Bei einem Gebäude, das einen Faktor 3 zwischen der Normleistung (bei 90/70°C) und dem Leistungsbedarf nach der Erneuerung erreicht, ist eine Reduktion der Vorlauftemperatur auf 50/40°C mit den bestehenden Heizkörpern für die Mehrzahl der Räume realistisch. Soll die Vorlauftemperatur weiter gesenkt werden, ist eine deutliche Vergrösserung der Abgabeflächen notwendig. Figur 6 zeigt, dass für diesen Fall eine Reduktion von 50°C auf 40°C etwa eine Verdoppelung der Abgabeflächen bedarf. Eine Reduktion von 50°C auf 30°C erfordert sogar 4.5 bis 6mal grössere Abgabeflächen (je nach Auslegungsraumtemperatur).

Aus Gründen der Einbaumasse (und der Kosten) ist eine Vergrösserung der Abgabeflächen um mehr als Faktor 2 kaum realistisch für die Mehrzahl der Räume. Dies bedeutet, dass Vorlauftemperaturen unter 40°C voraussichtlich nur in speziellen Fällen erzielbar sind. Bei einer Zielvorgabe von Vorlauftemperaturen unter 40°C ist daher eine Umstellung der Wärmeabgabe auf eine Flächenheizung in Betracht zu ziehen.

Figur 6 Abhängigkeit der Grösse der Abgabeflächen von den Systemtemperaturen
(Basis: Wärmeabgabe mit Heizkörpern, HK-Exponent = 1.3; Raumtemperatur 20°C, 21°C und 22°C)

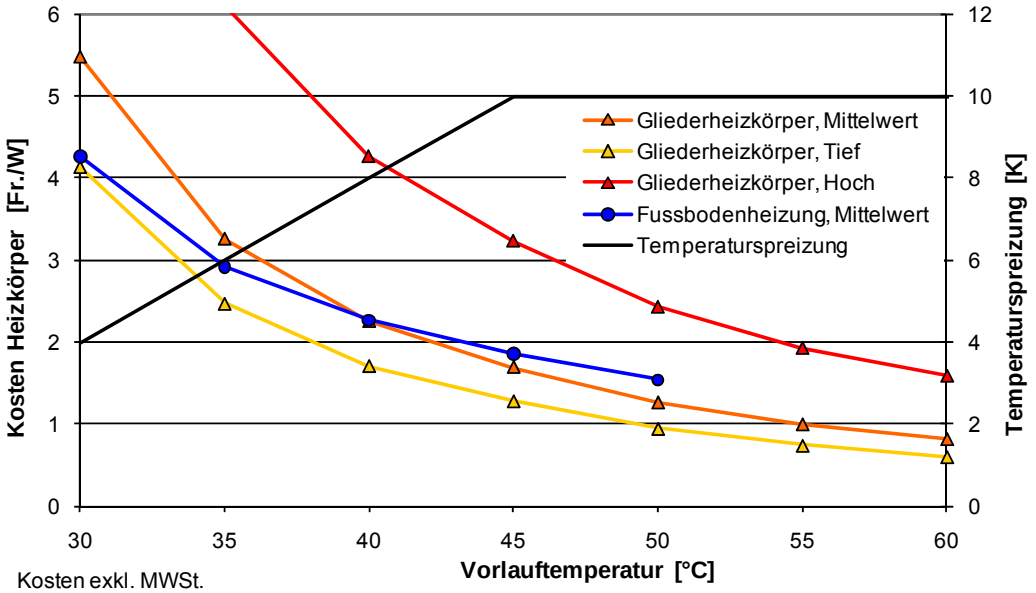


3.4 Kostenbetrachtung

Bei der Festlegung der massgebenden Systemtemperatur sind die stark steigenden Kosten für die Vergrösserung der Wärmeabgabeflächen bei tiefen Vorlauftemperaturen zu beachten. Werden die Kosten für eine Auslegung auf 50/40°C als 100% festgesetzt, so sind für Heizkörper mit einer Systemtemperatur von 40/32°C bereits knapp die doppelten Materialkosten zu erwarten. Bei einer Systemtemperatur von 30/26°C wären die Materialkosten gar mehr als viermal höher (Basis jeweils Mittelwerte der erhobenen Kostendaten). Bei den Kostenangaben in Figur 7 und Figur 8 ist jedoch zu beachten, dass die Kosten für die Installation der Heizkörper in den Angaben nicht enthalten ist. Dieser Anteil ist vor allem bei kleinen Heizkörpern für die Gesamtkosten deutlich relevanter (Installationskosten wenig abhängig von Heizkörpergrösse).

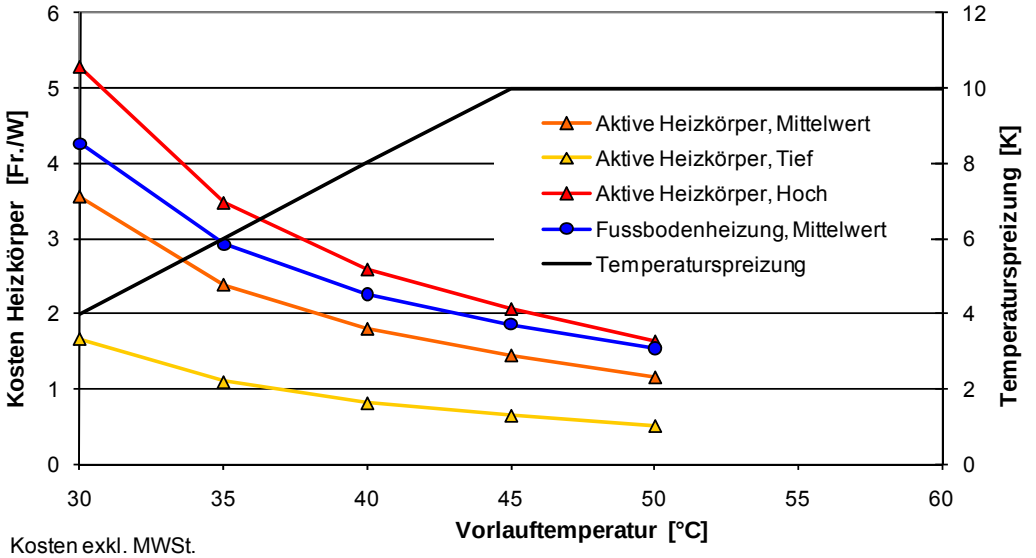
Bei einer Zielvorgabe von Vorlauftemperaturen unter 40°C ist daher für das gesamte Gebäude eine Umstellung auf ein Flächenheizsystem in Betracht zu ziehen.

Figur 7 Abhängigkeit der spezifischen Heizkörperkosten von den Systemtemperaturen für Gliederheizkörper (Basis: Listenpreisangaben von div. Herstellern für unterschiedliche HK-Grössen)



Kosten exkl. MWSt.
Heizkörper: Kosten ohne Installation (Listenpreise)
Fussbodenheizung: Kosten inkl. Verteiler und Montage, exkl. Bauliches (übriger Bodenaufbau)

Figur 8 Abhängigkeit der spezifischen Heizkörperkosten von den Systemtemperaturen für aktive Heizkörper (Basis: Listenpreisangaben von div. Herstellern für unterschiedliche HK-Grössen)



Kosten exkl. MWSt.
Aktive Heizkörper: Kosten ohne Installation (Listenpreise), exkl. Elektroanschluss
Fussbodenheizung: Kosten inkl. Verteiler und Montage, exkl. Bauliches (übriger Bodenaufbau)

Figur 8 zeigt, dass die Materialkosten bei tiefen Systemtemperaturen für aktive Heizkörper (Ventilator unterstützte Konvektoren) klar tiefer ausfallen. Die Gesamtkosten sind jedoch zusätzlich noch von den Installationskosten für den Elektroanschluss abhängig. Diese Kosten sind stark von der baulichen Situation im Raum abhängig.

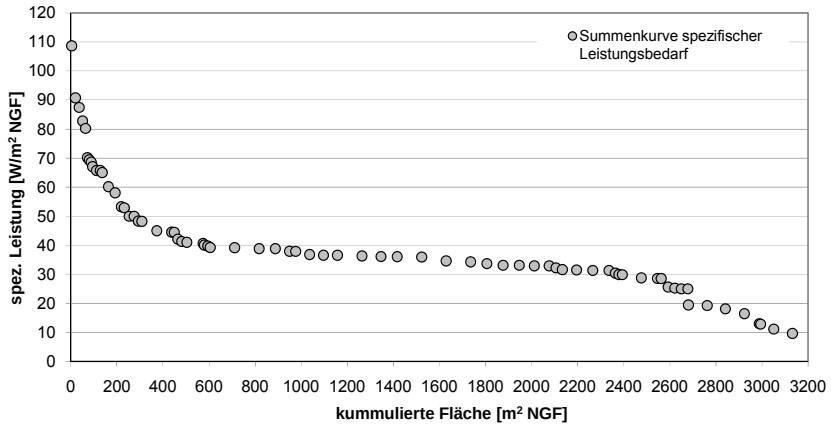
4 Analyse Leistungsbedarf

4.1 Leistungsbedarf der Räume

Für eine Aussage, welche Vorlauftemperatur mit einem verhältnismässigen Aufwand erreichbar ist, muss die Verteilung des Leistungsbedarfs über die einzelnen Räume des Gebäudes bekannt sein. Dazu wird eine Berechnung der Norm-Heizlast gemäss Norm SIA 384.201 von allen Räumen des Gebäudes benötigt.

Um an einem Beispiel eines grösseren Gebäudes diese Verteilung aufzeigen zu können, wurden die Berechnungen für die Erneuerung des Schulhauses Ilgen (Trakt A und B) analysiert.

Figur 9 Verteilung spezifischer Heizleistungsbedarf
Datenbasis: Erneuerung Schulhaus Ilgen A / B (Quelle: Basler & Hofmann)



Für dieses Gebäude zeigt sich, dass der spezifische Leistungsbedarf im Mittel bei 35 W/m^2 NGF liegt und nur bei knapp 10% der Flächen über 50 W/m^2 NGF liegt. Bezogen auf die Anzahl Räume liegt dieser Anteil bei gut 20% der Räume.

Die Analyse des Leistungsbedarfs in W/m^2 NGF, wie in Figur 9 gezeigt, ist wenig aussagekräftig für die Evaluation der Möglichkeiten für Heizkörpersysteme, aber von Bedeutung für den Einbezug von Boden- oder Deckenheizsystemen.

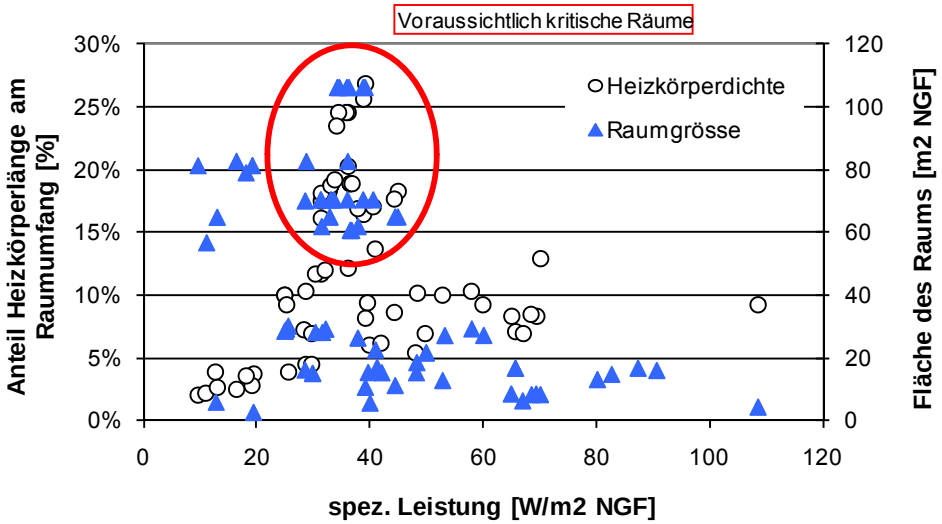
4.2 Kritische Räume

Die kritischen Räume für eine Vergrösserung der Heizkörperflächen sind insbesondere diejenigen, bei welchen bereits ein wesentlicher Teil des Raumumfangs für Heizkörperflächen verwendet wird (meist gesamte Brüstungslängen unterhalb der Fenster). In Figur 10 ist dies als Anteil der Heizkörperlänge in Prozent des Raumumfanges dargestellt. Wie aus dieser Analyse ersichtlich, weisen die voraussichtlich kritischen Räume hier eher einen durchschnittlichen Leistungsbedarf auf, haben aber unter Umständen wenig Handlungsspielraum für eine Erweiterung der Heizkörperflächen.

Andererseits zeichnen sich die kritischen Räume auch dadurch aus, dass in diesen Räumen beispielsweise bereits grössere (tiefere) Heizkörper installiert sind als in ähnlichen Räumen im Gebäude (z.B. 3- oder 4-Reiher statt 2-Reiher). Dadurch wird die Möglichkeit eingeschränkt, mit einem grösseren (tieferen) Heizkörpertyp eine Erhöhung der Abgabeflächen zu erreichen.

Im Weiteren zeichnen sich kritische Räume auch dadurch aus, dass hier die Möglichkeiten zur Wärmedämmung im Vergleich zur Mehrzahl der Räume eingeschränkt sind (z.B. Boden gegen Erde oder Aussenwände ohne Dämmung bzw. mit grossen Wärmebrücken). Dadurch wird der Leistungsbedarf in diesem Raum nicht in demselben Mass reduziert wie in den übrigen Räumen, was zu einer ungünstigen Voraussetzung für tiefe Vorlauftemperaturen führt.

Figur 10 kritische Räume für Erweiterung Heizkörperflächen
Datenbasis Erneuerung Schulhaus Ilgen A / B (Quelle: Basler & Hofmann)

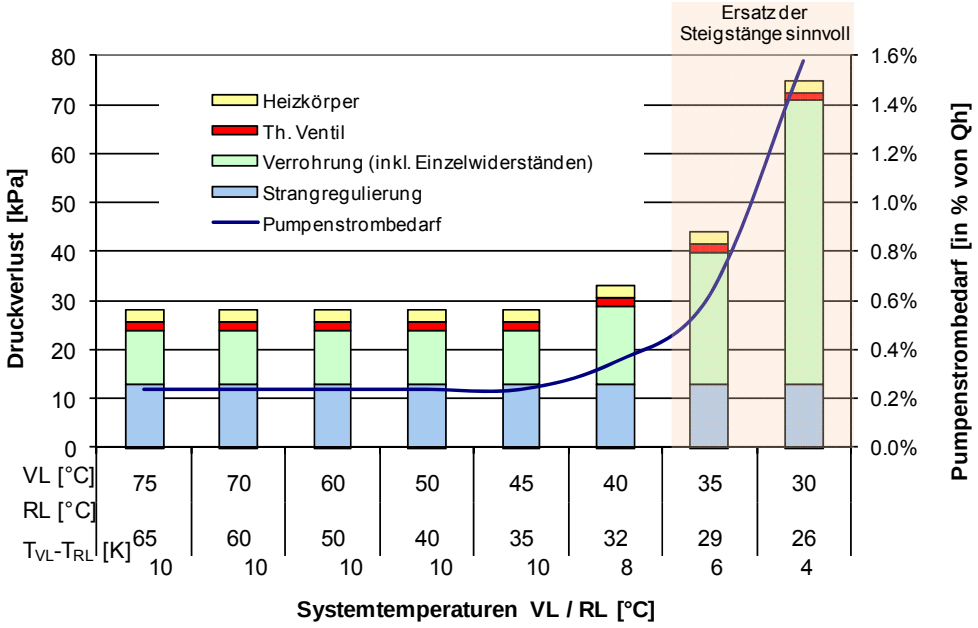


5 Analyse Volumenströme und Druckverluste

Für die Festlegung eines sinnvollen Ziels für die maximale Vorlauftemperatur muss die bestehende Dimensionierung des Leitungssystems einbezogen werden. Werden nicht alle Heizungsleitungen komplett ersetzt (und damit neu dimensioniert) muss mit den vorgegebenen Dimensionen gearbeitet werden können. Dies kann eine Einschränkung für tiefe Vorlauftemperaturen sein, da dabei die Temperaturspreizung abnimmt, was zu einer Zunahme des benötigten Massenstroms führt. Insbesondere bei Anlagen, welche vor der Erneuerung auf eine Temperaturspreizung von 20 K ausgelegt waren, kann dies der limitierende Faktor sein. Figur 11 zeigt die Anteile des Druckverlustes für eine Beispielanlage mit einer Auslegung auf eine Temperaturspreizung von 10 K[1].

Für solche Gebäude dürfte eine Reduktion der Vorlauftemperatur deutlich unter 40°C aufgrund des stark steigenden Druckverlustes nicht sinnvoll sein. In solchen Fällen müssten die kritischen Heizungsstränge ersetzt werden, um ein erhöhter Pumpenstrombedarf und die Gefahr von Strömungsgeräuschen zu verhindern.

Figur 11 Anteile am Druckverlust im Heizungskreis für verschiedene Temperaturniveaus der Heizwärmeversorgung (Beispiel: Anlage ausgelegt mit 20 K Temperaturspreizung, 50% Leistungsreduktion durch Erneuerung)



In einer rein energetischen Betrachtung ist die Reduktion des Stromverbrauchs durch die verbesserte Arbeitszahl der Wärmepumpe in den untersuchten Fällen jedoch immer grösser als der Mehrverbrauch durch den erhöhten Druckverlust. Aus diesem Grund kann auch ein erhöhter Druckverlust in Kauf genommen werden, wenn dadurch die Systemtemperaturen gesenkt werden können[2]. Aus hydraulischen und schalltechnischen Gründen sind jedoch Druckverluste in den Rohren von über ca. 150 Pa/m zu vermeiden. Werden in wesentlichen Abschnitten höhere Druckverluste ermittelt, sollte ein Ersatz des entsprechenden Stranges in Betracht gezogen werden.

[1] z.B. bestehende Anlage auf 20 K Temperaturspreizung dimensioniert, Leistungsreduktion 50% durch Erneuerung = identischer Druckverlust bei 10 K Temperaturspreizung im erneuerten Zustand

[2] Gemäss SIA 384/1 darf in diesem Fall die spezifische Pumpenleistung jedoch bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten (gemäss SIA 384/1 Ziffer 5.3.5.6).

6 Analyse der Abgabesysteme

Grundsätzlich können Heizkörper, Flächenheizsysteme (Boden, Wand, Decke) sowie Systeme mit erzwungener Konvektion (Brüstungsgeräte) unterschieden werden. Für die Erfüllung der Leistungsanforderung wird davon ausgegangen, dass ein Abgabesystem mit Heizkörper besteht.

6.1 Festlegung der betrachteten Systeme

Als Ausgangslage wird davon ausgegangen, dass vor der Gebäudeerneuerung eine Wärmeabgabe mit Heizkörpern und mit hohen Systemtemperaturen (z.B. 75/65°C) bestand. Mit der Erneuerung des Gebäudes kann die Vorlauftemperatur durch die Reduktion des Leistungsbedarfs verringert werden. Folgende Abstufung der Systemtemperatur wurde in die Analyse einbezogen. Für die Bestimmung der Abgabeleistungen wird von einer zu erreichenden Raumtemperatur von 20°C ausgegangen:

Tabelle 2 Einbezogene Abstufung der Systemtemperaturen (Vor-/Rücklauf)

T_{VL}	T_{RL}	ΔT_{VL-RL}	Tm *)	ΔT **)
[°C]	[°C]	[K]	[°C]	[K]
75	65	10	70	50
70	60	10	65	45
60	50	10	55	35
50	40	10	45	25
45	35	10	40	20
40	32	8	36	16
35	29	6	32	12
30	26	4	28	8
Raumtemperatur:			T_{Raum}	20 °C

*) mittlere Heizflächentemperatur ; **) mittlere Übertemperatur

6.2 Heizkörper

Wenn bei der Erneuerung die Wärmeabgabe mit Heizkörpern grundsätzlich bestehen bleiben soll (z.B. aus baulichen Gründen) muss eine Neuauslegung der Heizkörperflächen zeigen, welches Potential zur Reduktion der Systemtemperaturen bei gleichbleibenden Abgabeflächen besteht. Sofern die einzelnen Heizkörper nicht stark überdimensioniert waren, ist das Reduktionspotential durch die Verbesserung der Gebäudehülle bzw. die dadurch erzielte Verringerung der Verluste gegeben. In einem günstigen Fall[3] kann dadurch die Vorlauftemperatur auf ein Niveau von ca. 50°C gesenkt werden.

Figur 12 zeigt die Abhängigkeit der Leistungsabgabe von der Vorlauftemperatur sowie die möglichen Optimierungsschritte schematisch auf. Bei Vorlauftemperaturen unter 40°C ist in jedem Fall der vom Hersteller verlangte minimale Massenstrom zu überprüfen. Wird dieser nicht erreicht, so muss entweder die Temperaturspreizung verringert oder die Vorlauftemperatur erhöht werden.

Kritisch bezüglich der Unterschreitung des minimalen Massenstromes sind neben Konvektoren vor allem auch diverse Badheizkörper. Röhrenradiatoren sind in diesem Punkt meist unkritischer. Bei Flachheizkörpern und Heizwänden ist eine grosse Spannbreite vorhanden, sodass hier eine Klärung im Einzelfall wichtig ist. Grundsätzlich sind Heizkörper mit einem grossen

[3] Reduktion der Leistung um 60% gegenüber Stand vor der Erneuerung mit Systemtemperatur 75/65°C

Heizkörperexponenten (> 1.3) sowie einem hohen Mindestmassenstrom (in % des Massenstroms bei Normbedingungen q_{ms}) kritisch (z.B. > 25%).

Figur 12 Abhängigkeit der Leistungsabgabe von der Vorlauftemperatur

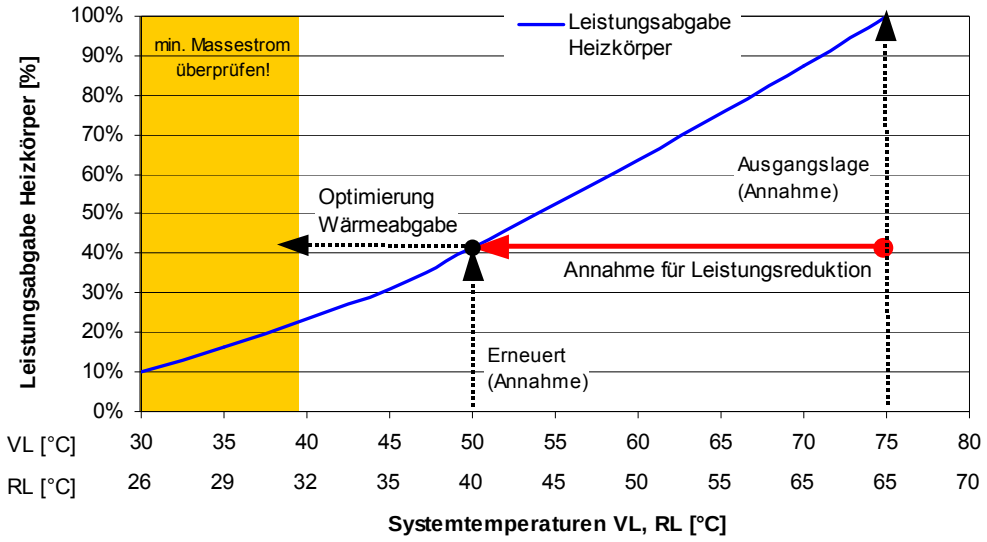


Tabelle 3 Typische Werte für den minimalen Massestrom für verschiedene Heizkörpertypen £
(Basis Herstellerangaben, Bezug in % vom Normmassestrom gemäss EN 442: 75/65/20)

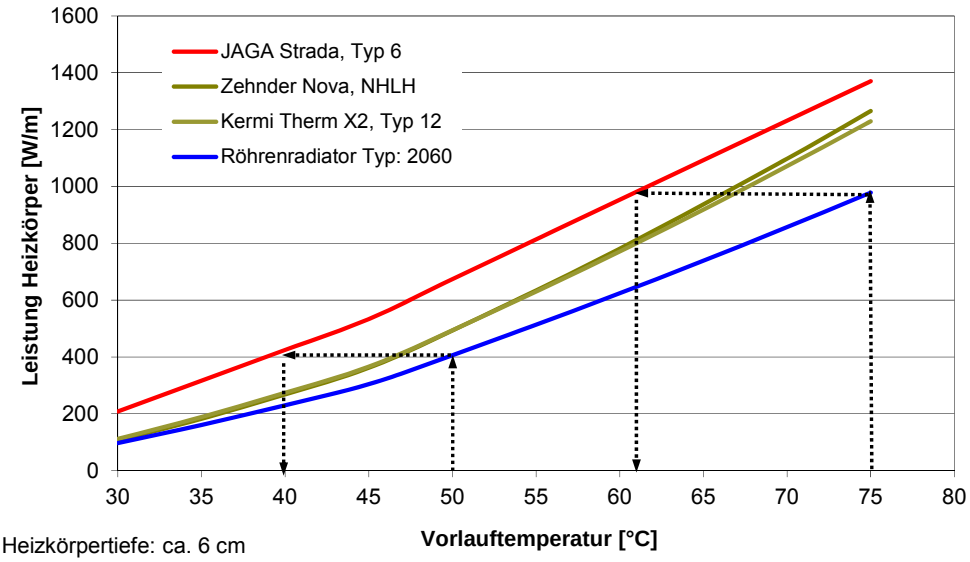
Heizkörpertyp	**$q_{m\,min}$ in % von q_{ms}**
Gliederheizkörper	17-20%
Flachheizkörper, Heizwände	17-30% *)
Badheizkörper	25-27%
Designheizkörper	17-27%
Konvektoren (passiv)	20-30%
*) Stark abhängig von Ausführung und Konstruktionsaufbau (z.T.auch tiefere Werte, wenn ein Korrekturfaktor einbezogen wird)	

Eine Reduktion der Vorlauftemperaturen im Erneuerungsfall unter 50°C (Basis nach Erneuerung mit bestehenden Heizkörpern) kann mit folgenden Massnahmen erfolgen:

- Vergrösserung der Heizkörperlänge oder -Höhe (bzw. Einbau eines zusätzlichen Heizkörpers)
- Vergrösserung der Heizkörpertiefe bei identischer Länge und Höhe
- Anpassung des Heizkörpertyps bei vorgegebener Länge, Höhe und Tiefe

Bei vorgegebener Heizkörpergrösse (Basis Säulenheizkörper vom Typ Zehnder Charleston) kann mit einem anderen Heizkörpertyp in einem beschränkten Umfang die Abgabeleistung erhöht werden (Bereich der Erhöhung ca. 10 - 20 %). Wird ein Heizkörper mit aktiv erzwungener Konvektion eingesetzt, kann die erzielte Abgabeleistung insbesondere bei tiefen Systemtemperaturen deutlich erhöht werden (Bereich der Erhöhung um 100%). Figur 13 zeigt diese Abhängigkeiten für eine bestimmte Heizkörpertiefe (6cm). Die verwendeten Systemtemperaturen und die Raumtemperaturen wurden für diese Berechnung entsprechend den Definitionen in Tabelle 2 eingesetzt.

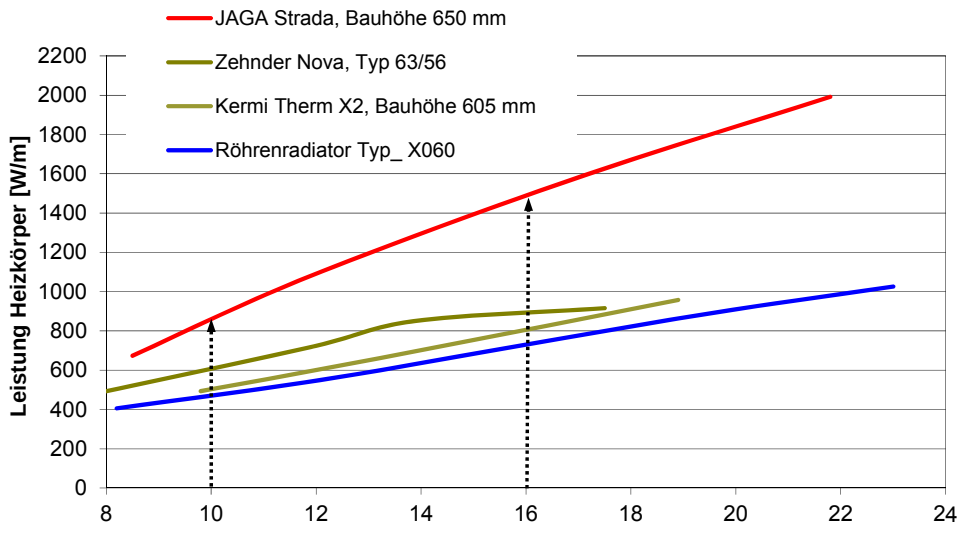
Figur 13 Abhängigkeit der Leistungsabgabe pro Meter Heizkörper von der Vorlauftemperatur für verschiedene Heizkörpertypen



Heizkörpertiefe: ca. 6 cm

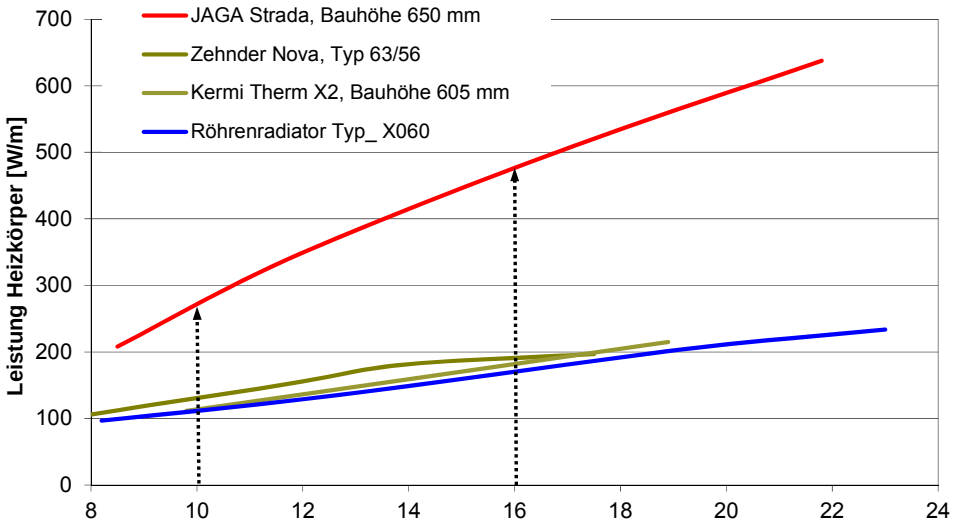
Bei vorgegebener Heizkörperlänge und -Höhe (Basis Gliederheizkörper) kann mit einer grösseren Heizkörpertiefe ebenfalls eine Steigerung der Abgabeleistung (bzw. Senkung der Vorlauftemperatur) erzielt werden. Die erzielbaren Abgabeleistungen sind in Figur 14 und Figur 15 für zwei verschiedene Auslegungsbedingungen aufgezeigt.

Figur 14 Abhängigkeit der Leistungsabgabe pro Meter Heizkörper von der verfügbaren Bautiefe für verschiedene Heizkörpertypen bei 40/30 °C



Heizung: VL: 40°C / RL: 30°C

Figur 15 Abhängigkeit der Leistungsabgabe pro Meter Heizkörper von der verfügbaren Bautiefe für verschiedene Heizkörpertypen bei 30/26 °C



Heizung: VL: 30°C / RL: 26°C

Bemerkung zu den Heizkörpern mit aktiv erzwungener Konvektion:

Durch die erzwungene Strömung durch den Heizkörper ist eine schnelle Reaktion und ausreichende Heizleistungen bei tiefen Vorlauftemperaturen möglich. Auf der anderen Seite steigt bei diesen Systemen der Anteil an Konvektion an der gesamten Wärmeleitung stark an (je nach Konstruktion bis zu 100% Konvektion).

Durch den eingebauten Ventilator benötigen die Geräte einen Stromanschluss (zusätzlicher Installationsaufwand) und haben einen gewissen Stromverbrauch. Zudem ist die Geräuschempfindlichkeit des Raumes (z.B. Schlafräume) zu beachten, da der Ventilator Betriebsgeräusche verursacht.

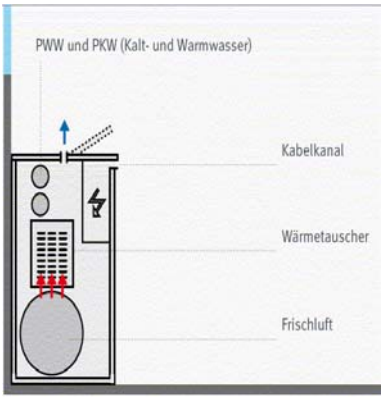
Bauarten von Heizkörpern mit aktiv erzwungener Konvektion:

Bei den Systemen mit aktiv erzwungener Konvektion können grundsätzlich drei verschiedene Bauarten unterschieden werden:

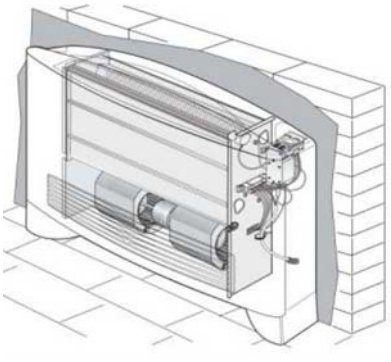
- Bauart als Heizkörperersatz: Vergleichbare Baugrössen wie übliche Wandheizkörper. Dadurch geeignet für den direkten Ersatz (z.B. Jaga DBE; Kampmann PowerKon NT)
- Bauart Brüstungselement: Zusätzliche Funktionen integrierbar wie z.B. Kabelkanal für Stark-/Schwachstrom, Lüftungskanal für Raumlüftung oder eine Brüstungsdämmung. Dadurch geeignet für Situationen mit umlaufender Brüstung, wo diese Funktionen genutzt werden können (z.B. in Schulhäusern, Büros; Produktbeispiel: Erich Keller AG, Riotherm)
- Bauart mit Lüftungsgerät: Zusätzliche Funktion als Lüftungsgerät mit WRG. Dadurch Wanddurchbruch notwendig. Geeignet für Situationen, wo ein Einzelraumlüftungsgerät sowieso vorgesehen wäre (Produktbeispiele: Stiebel ELTRON Austauschkonvektor AUK, Zehnder Duett).

Figur 16 Bauarten von Heizkörpern mit aktiv erzwungener Konvektion

Bauart als Heizkörperersatz
Bildquelle: Jaga DBE



Bauart Brüstungselement
Bildquelle: Erich Keller AG



Bauart mit Lüftungsgerät
Bildquelle: eds GmbH

6.3 Fussbodenheizungen

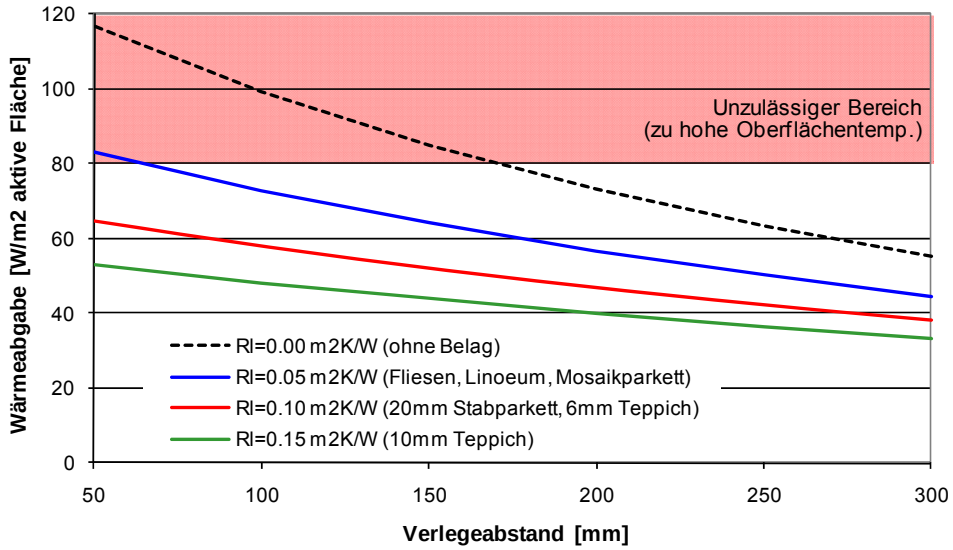
Falls es von den baulichen Voraussetzungen her möglich ist, bieten Fussbodenheizungen eine gute Voraussetzung für tiefe Systemtemperaturen. Folgende Charakteristika sind dabei aber zu beachten:

- Zusätzliche Aufbauhöhe des Bodens (typisch 6-8 cm ohne zusätzliche Wärme- oder Trittschalldämmung, es sind aber auch Systeme mit nur 2 cm Aufbauhöhe[4] erhältlich)
- Wärmeabgabe gegen unbeheizte Räume. In diesem Fall muss eine genügende Dämmung sichergestellt werden können
- Gegenüber Deckenheizungen geringere spezifische Leistungsabgabe
- Bei Einbindung in denselben Heizkreis wie die Heizkörper muss der Druckverlust gering gehalten werden (nur kleine Verlegelänge) und die unterschiedlichen Trägheit dieser Systeme muss beachtet werden (nur Systeme mit kleiner Speicherfähigkeit sind genügend gut regelbar)
- Günstig ist der hohe Strahlungsanteil der Wärmeabgabe

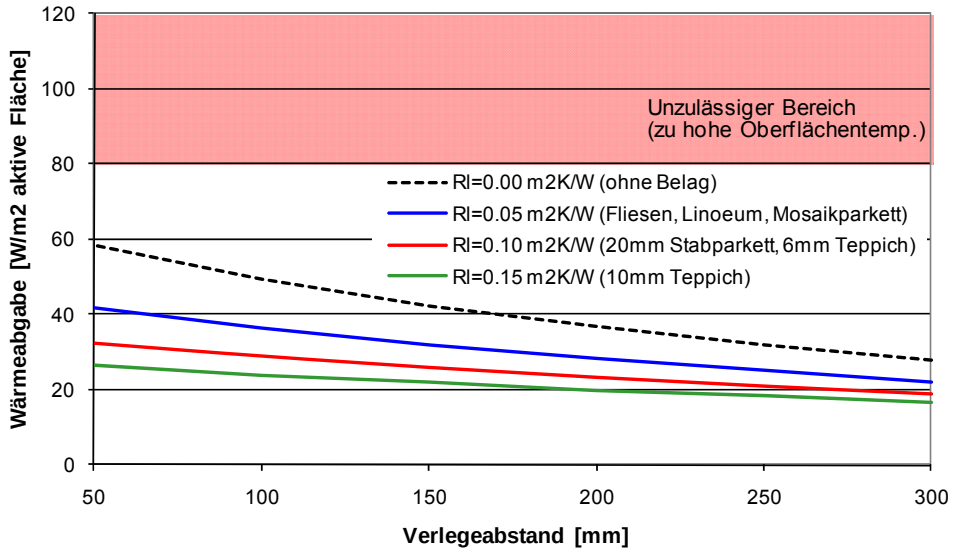
Für die Ermittlung des Leistungsbedarfs, welcher durch eine zusätzliche Bodenheizung gedeckt werden kann, ist neben den Systemtemperaturen (Auslegung von Vor- und Rücklauf) der Verlegeabstand und der vorgesehene Bodenbelag von Bedeutung. Figur 17 und Figur 18 zeigen diese Abhängigkeiten für zwei verschiedene Auslegungsbedingungen.

[4] Renovationssysteme zum Aufbau auf bestehendem Unterlagsboden sofern Trittschall- und Wärmedämmung ausreichend (z:B. System Velta Minitec bzw. Systeme mit Kapillarrohrmatten z.B. BEKA, Clina, …). Es werden auch Systeme angeboten, bei denen die Heizrohre direkt in den bestehenden Unterlagsboden eingefräst werden (z.B. System von JK Fußbodenheizung GmbH). Damit ist praktisch keine zusätzliche Aufbauhöhe notwendig.

Figur 17 Abhängigkeit der Leistungsabgabe einer Fussbodenheizung vom Verlegeabstand und dem Bodenbelag für Auslegung bei 40/32 °C; Quelle: Basis Purmo Fussbodenheizung System noppjet



Figur 18 Abhängigkeit der Leistungsabgabe einer Fussbodenheizung vom Verlegeabstand und dem Bodenbelag für Auslegung bei 30/26 °C; Quelle: Basis Purmo Fussbodenheizung System noppjet



Aus Figur 18 ist ersichtlich, dass bei tiefen Vorlauftemperaturen die erreichbare Wärmeleistung auch bei engem Verlegeabstand gering ist. Dies schränkt die erzielbare Absenkung der Systemtemperaturen ein. Zudem ist bei engem Verlegeabstand eine grössere Anzahl Heizkreise pro Fläche nötig, um den Druckverlust in einem ähnlichen Bereich wie eine Heizkörperanbindung zu halten. Ansonsten ist zwingend eine eigene Heizgruppe für diesen Heizkreis notwendig.

Wenn die Vorlauftemperaturen im Auslegungspunkt über 40°C liegen, ist die maximale Abgabeleistung zudem durch die maximal zulässige Oberflächentemperatur beschränkt. Wenn die Fussbodenheizung im Gebäude mit Heizkörpern kombiniert eingesetzt wird, ist es anzuraten, eine Regelung[5] mit Rücklauftemperaturbegrenzer vorzusehen, um Schäden am Bodenaufbau bei einem unbeabsichtigten Überhitzen des Fussbodenheizungskreises zu verhindern.

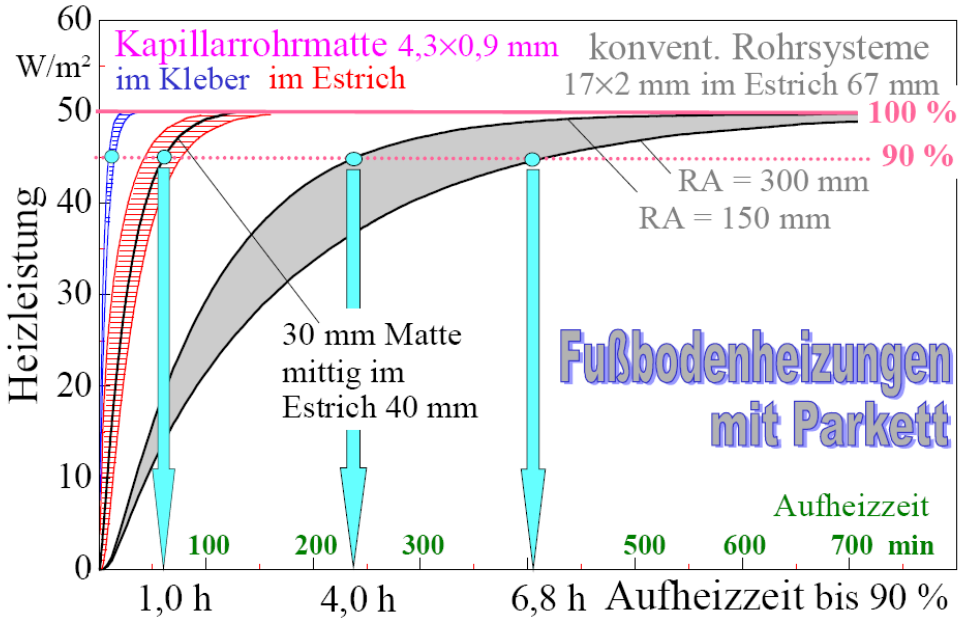
[5] Auf eine Regelung der Fussbodenheizung kann gemäss den Anforderungen der MuKEn nur verzichtet werden, wenn die maximale Vorlauftemperatur unter 30°C liegt (in den betrachteten Fällen kaum zutreffend) oder die Heizkörper (mit Thermostatventile) mindestens 50 % der Wärmelast übernehmen.

Fussbodenheizungen sind infolge ihrer geringeren Wärmestromdichte nur bedingt geeignet, den Kaltluftabfall bei raumhohen Fenstern zu kompensieren. Mit erster Priorität ist daher die Verglasung so zu wählen, dass die Anforderung gemäss SIA 382/1 (Figur 8) erfüllt wird. In zweiter Priorität kann die Wirksamkeit mit Randzonen unter dem Fenster (gemäss EN 1264-3) verbessert werden. Dies führt jedoch zu einem erhöhten Druckverlust.

Bemerkung zum Regelverhalten

Konventionelle nassverlegte Fussbodenheizungen haben aufgrund der grossen Speichermasse (Unterlagsboden) ein träges Verhalten, was die Regelung erschwert bei einer Kombination mit Heizkörpern. Wie aus Figur 19 ersichtlich, kann eine Fussbodenheizung bei entsprechend optimierten Systemen auch eine deutlich geringere Reaktionszeit aufweisen, die im Bereich normaler Heizkörper liegt. Um ein angepasstes Regelverhalten zu erhalten, ist bei Kombination mit Heizkörpern (Heizkurve auf Heizkörper angepasst) ein möglichst rasch reagierendes System zu wählen. Kombinationen mit sehr schnellen Heizkörpertypen (wie etwa Konvektoren) sind dabei zu vermeiden. Dabei sind trockenverlegte Systeme und Systeme mit geringen Überdeckungen und geringen Rohrabständen im Vorteil. Aufgrund des besseren Wärmeübergangs sind hier Kapillarrohrsysteme ebenfalls sehr vorteilhaft.

Figur 19 Heizleistung in Funktion der Aufheizzeit bei mittlerer Wassertemperatur für eine Endleistung von 50 W/m²
Quelle: B. Glück, Umweltschonende Raumheizung und -kühlung mit Kunststoff-Kapillarrohrmatten, 2003



6.4 Wandheizungen

Sofern freie (und freibleibende) Wandflächen verfügbar sind, kann mit einer Wandheizung eine deutlich höhere Wärmeabgabe bei tiefen Vorlauftemperaturen erzielt werden als mit einem (üblich grossen) Heizkörper. Folgende Charakteristika sind dabei aber zu beachten:

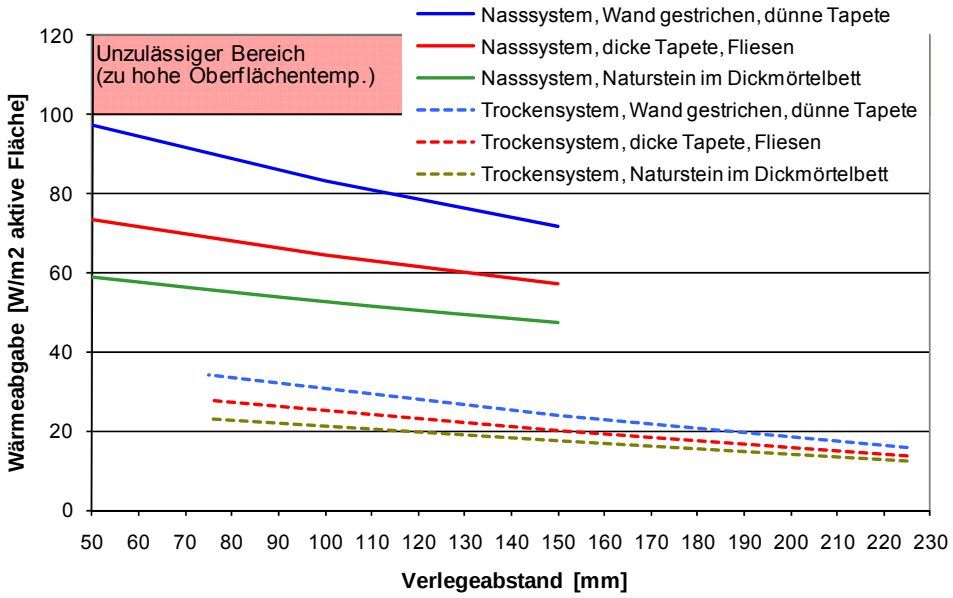
- Wand muss frei von Einrichtungsgegenständen bleiben (Schränke etc.)
- Nachträgliche Montage von Wandbefestigungen muss verhindert werden können (z.B. Beschädigung der Leitungen durch Montage von Büchergestellen etc.)
- Zusätzliche Aufbauhöhe an der Wand (typisch 3 - 4 cm); ebener Untergrund an der Wand wird benötigt
- Wärmeabgabe gegen unbeheizte Räume und vor allem gegen Aussen muss beachtet werden. In diesem Fall muss eine genügende Dämmung sichergestellt werden können (min. U-Wert 0.5 W/m^2 K gegen aussen, bzw. empfehlenswert < 0.25 W/m^2 K)
- Bei Einbindung in denselben Heizkreis wie die Heizkörper muss der Druckverlust gering gehalten werden (nur kleine Verlegelänge) und die unterschiedlichen Trägheit dieser Systeme muss beachtet werden (nur Systeme mit kleiner Speicherfähigkeit einigermassen regelbar)
- Günstig ist der hohe Strahlungsanteil der Wärmeabgabe
- Bei der Anordnung der Heizflächen an Innenwänden ist zu beachten, dass die Verglasung die Anforderung gemäss SIA 382/1 Kap 2.2.4.6 erfüllt, um einen Kaltluftabfall zu vermeiden
- Bei Wandheizungen ist die Entlüftung ein kritischer Punkt, dem entsprechende Aufmerksamkeit bei der Planung und Inbetriebnahme geschenkt werden muss. Dazu ist es wichtig, die einzelnen Heizkreise über einen zentralen Verteiler zu versorgen

Für die Ermittlung des Leistungsbedarfs, welcher durch eine zusätzliche Wandheizung gedeckt werden kann, ist neben den Systemtemperaturen (Auslegung von Vor- und Rücklauf) der Verlegeabstand und der vorgesehene Wandbelag von Bedeutung. Figur 20 und Figur 21 zeigen diese Abhängigkeiten für zwei verschiedene Auslegungsbedingungen.

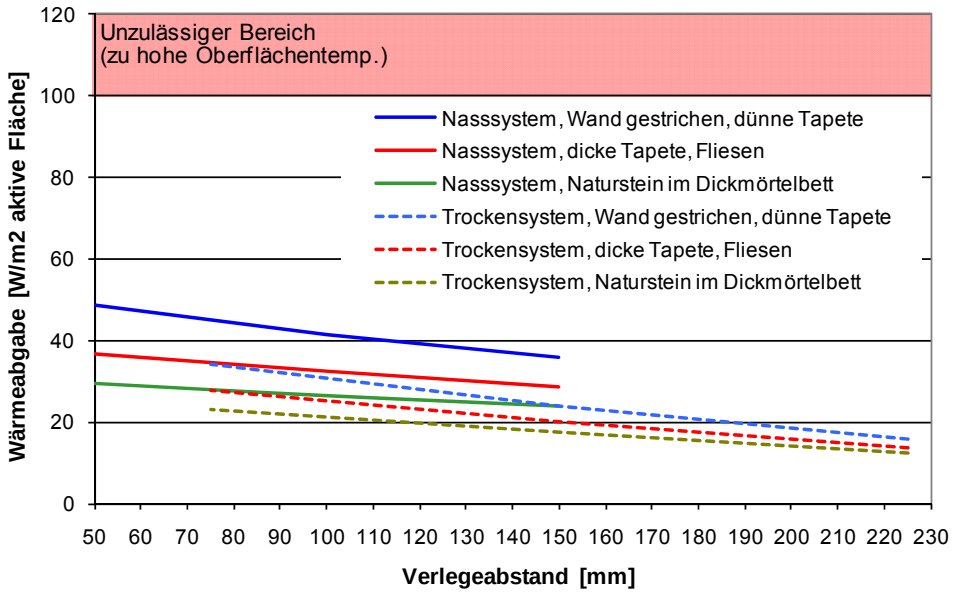
Aus den Abbildungen ist ersichtlich, dass bei tiefen Vorlauftemperaturen die erreichbare Wärmeleistung pro m^2 vor allem bei einem Nasssystem leicht höher ist als bei einer Fussbodenheizung. Mit 20 - 40 W/m^2 (je nach System und Wandbelag) ist die Abgabeleistung allerdings beschränkt, was die erzielbare Absenkung der Systemtemperaturen einschränkt. Zudem ist bei engem Verlegeabstand eine grössere Anzahl Heizkreise pro Fläche nötig, um den Druckverlust in einem ähnlichen Bereich wie eine Heizkörperanbindung zu halten. Ansonsten ist zwingend eine eigene Heizgruppe für diesen Heizkreis notwendig.

Die maximal zulässige Oberflächentemperatur von 35°C gemäss DIN EN 1264 wird erst bei höheren Vorlauftemperaturen erreicht (ab 45 - 50°C), was in diesem Bereich eine höhere maximale Abgabeleistung erlaubt als bei einer Fussbodenheizung.

Figur 20 Abhängigkeit der Leistungsabgabe einer Wandheizung vom Verlegeabstand und dem Wandbelag für Auslegung bei 40/32 °C; Quelle: Basis Purmo Wandheizung Nasssystem railjet Trockensystem TS 14



Figur 21 Abhängigkeit der Leistungsabgabe einer Wandheizung vom Verlegeabstand und dem Wandbelag für Auslegung bei 30/26 °C; Quelle: Basis Purmo Wandheizung Nasssystem railjet Trockensystem TS 14



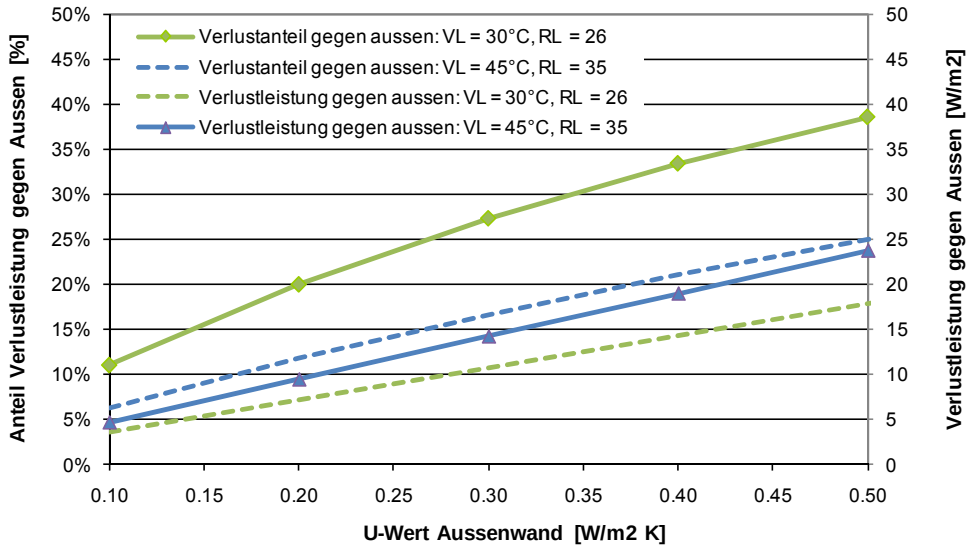
Bemerkung zum Regelverhalten

Wandheizungen weisen je nach Bauart ein träges bis flinkes Regelverhalten auf[6]. Nassverlegte Systeme haben wegen der grösseren Speichermasse ein ähnlich träges Verhalten wie Fussbodenheizungen. Trockenverlegte Systeme, bei denen die Rohre nur in einer von der Wand entkoppelten Naturfasergipsplatte eingebettet sind, sind im Unterschied dazu flink (vergleichbar mit normalen Röhrenradiatoren). Grundsätzlich gelten hier auch die bereits bei der Fussbodenheizung beschriebenen Vorteile von Kapillarrohrsystemen (siehe Figur 19).

Bemerkung zu Wärmeverlusten gegen Aussen

Um Wärmeverluste gegen Aussen gering zu halten, muss eine genügende Wärmedämmung gegen Aussen sichergestellt werden können. Zu empfehlen ist, dass der Grenzwert für opake Bauteile mit Flächenheizungen eingehalten (U-Wert < 0.25 W/m2 K). Grundsätzlich ist es günstiger, die Wandheizung an Innenwände zu platzieren.

Figur 22 Verlustanteile und Verlustleistungen gegen aussen (bei -8°C) für Wandheizungen an Aussenwänden



[6] Als träge werden dabei Aufheizzeiten (bis 90% der Endleistung) von mehr als ca. 3 Stunden bezeichnet und als flink solche im Bereich oder unter etwa 1 Stunde.

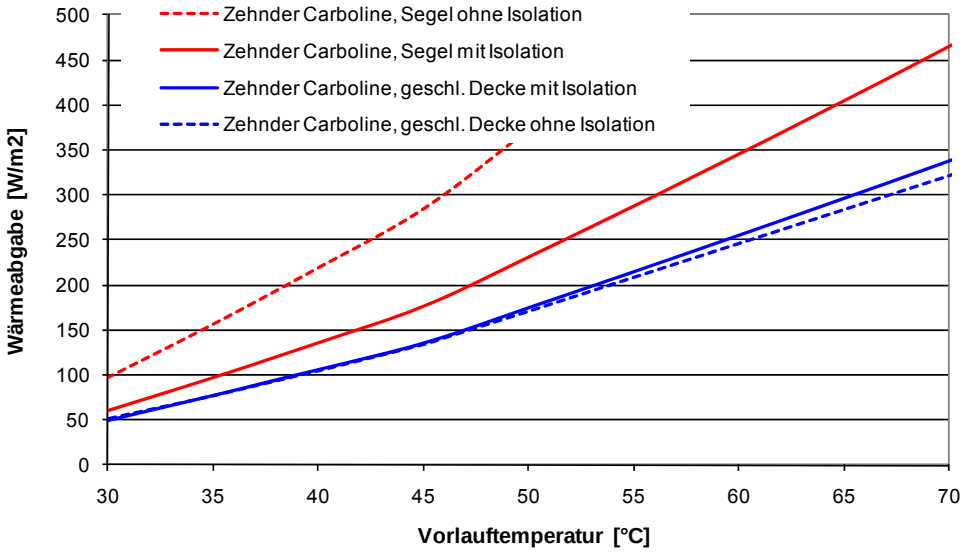
6.5 Deckenheizung

Wenn es die bauliche Situation erlaubt, kann mit einer Deckenheizung eine hohe Leistungsabgabe bei tiefen Temperaturen erzielt werden. Zudem eignen sich diese Systeme auch sehr gut für eine Einbindung einer Kühlung. Je nach System wird bei Deckenheizungen allerdings das Aussehen des Raums deutlich verändert. Folgende Charakteristika sind dabei zu beachten:

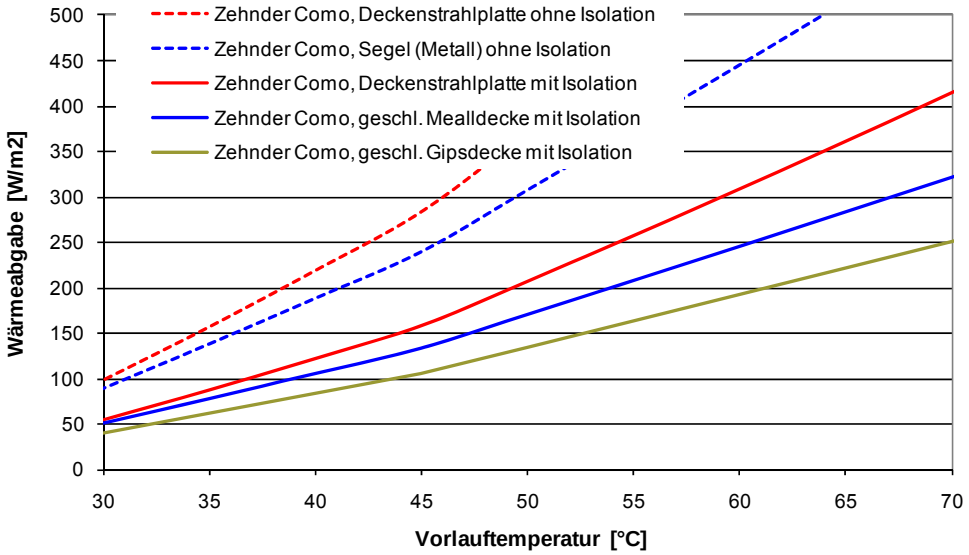
- Je nach System erfolgt eine starke Veränderung des Aussehens der Decke (Eignung für denkmalgeschützte Innenräume z.B. mit Stuckatur daher meist nicht gegeben)
- Zusätzliche Aufbauhöhe an der Decke, daher vor allem gut geeignet bei herabgehängten Decken oder genügend hohen Räumen (Fensteroberkante)
- Für Wohnnutzungen sind Systeme mit Putzdecken oder eventuell Trockenbau-Systemplatten aufgrund der Optik geeigneter. Dabei muss aber eine nachträgliche Montage von Deckenbefestigungen verhindert werden können (z.B. durch Montage von Leuchten etc.)
- Wärmeabgabe gegen unbeheizte Dachgeschosse müssen durch eine genügende Dämmung minimiert werden können (meist möglich)
- Gegenüber Bodenheizungen ungünstigere Temperaturverteilung, daher ungeeignet für höhere Temperaturen bei normalen Raumhöhen
- Bei Einbindung in denselben Heizkreis wie die Heizkörper muss der Druckverlust gering gehalten werden, was je nach System sehr kritisch sein kann. Zudem ist die unterschiedlichen Trägheit dieser Systeme zu beachten (nur Systeme mit kleiner Speicherfähigkeit einigermassen regelbar)
- Günstig ist der hohe Strahlungsanteil der Wärmeabgabe

Für die Ermittlung des Leistungsbedarfs, welcher durch eine zusätzliche Deckenheizung gedeckt werden kann, ist neben den Systemtemperaturen (Auslegung von Vor- und Rücklauf) der Produktetyp bzw. die Art des Deckenmaterials von Bedeutung. Figur 23, Figur 24 und Figur 25 zeigen diese Abhängigkeiten für vier verschiedene Produktetypen. Die verwendeten Systemtemperaturen und die Raumtemperaturen wurden für diese Berechnung entsprechend den Definitionen in Tabelle 2 eingesetzt.

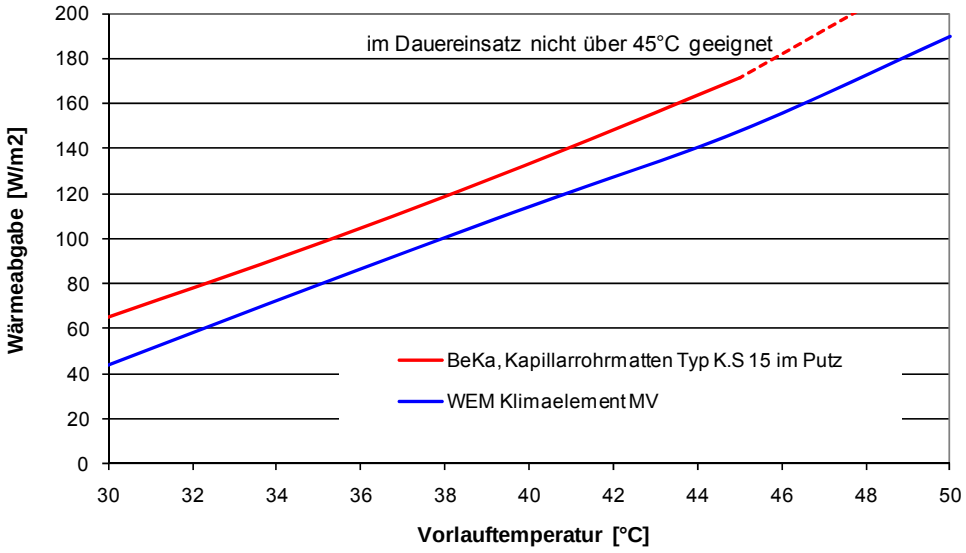
Figur 23 Abhängigkeit der Leistungsabgabe einer Deckenheizung von der Systemtemperatur und dem Systemaufbau; Basis: Zehnder Carboline Decken-, Kühl- und Heizsystem



Figur 24 Abhängigkeit der Leistungsabgabe einer Deckenheizung von der Vorlauftemperatur und dem Systemaufbau; Basis: Zehnder Como Decken-, Kühl- und Heizsystem



Figur 25 Abhängigkeit der Leistungsabgabe einer Deckenheizung von der Vorlauftemperatur und dem Systemaufbau; Basis: BeKa Kapillarrohrmatten Typ K.S: 15; WEM Klimaelement MV

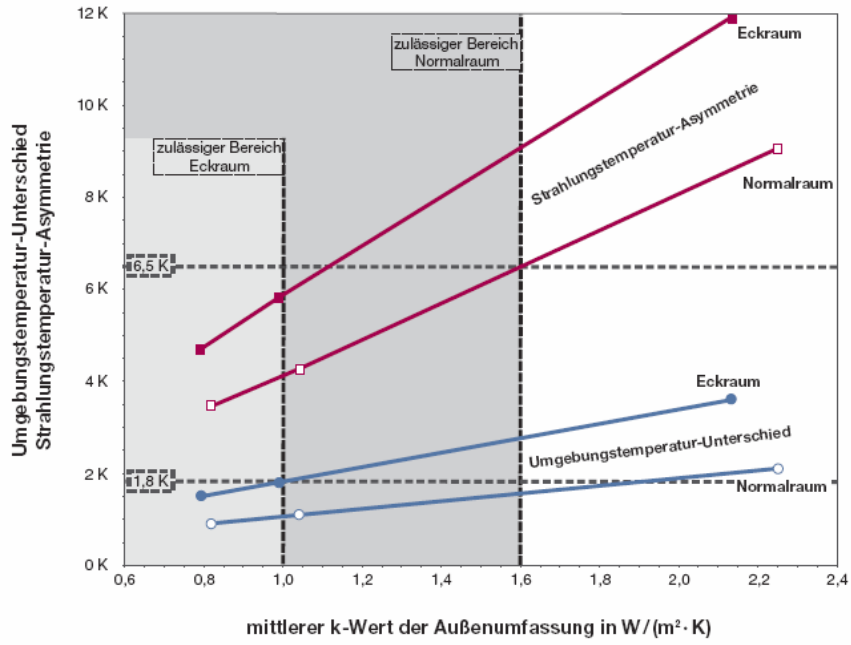


Aus den Abbildungen ist ersichtlich, dass eine erhöhte Abgabeleistung möglich ist, wenn keine geschlossene Decke sondern Deckensegel ohne Dämmung gegen die Decke verwendet werden. Welcher Systemtyp einsetzbar ist, hängt primär vom Raumtyp (Nutzung, Anforderungen an Aussehen) ab.

Bemerkung zur Temperaturasymmetrie:

Die Temperaturasymmetrie des Raums darf bei Deckenheizsystemen nicht zu gross sein (gute Aussendämmung), damit die Deckenübertemperatur gering bleibt und Behaglichkeit gewährleistet werden kann. Figur 26 zeigt ein typisches Resultat einer Untersuchung zur zulässigen Strahlungsasymmetrie (Quelle Zehnder).

Figur 26 Analyse der zulässigen Strahlungsasymmetrie
Quelle: Planungsunterlage Zehnder Como Decken-, Kühl- und Heizsystem



Strahlungstemperatur-Asymmetrie und Umgebungstemperatur-Unterschied in den untersuchten Räumen in Korrelation mit dem mittleren k-Wert der Außenumfassung (Wand plus Fenster) sowie zu erwartende Ergebnisse einer Verallgemeinerung für ähnliche Büroräume

Aus dieser Darstellung ist ersichtlich, dass der mittlere U-Wert (vormals k-Wert) der Aussenhülle eines Eckraumes (4.5 x 4.5 m) nicht schlechter als 1 W/(m^2 K) sein sollte, um genügende Komfortbedingungen zu erzielen. Für einen Normalraum mit nur einer Aussenfassade liegt der entsprechend Wert bei max. 1.6 W/(m^2 K). Diese Resultate sind jedoch zusätzlich von diversen Randbedingungen abhängig, welche für diese Untersuchung definiert wurden[7].

Bis zu einer spezifischen Heizleistung von etwa 40 W/m² lassen sich Deckenheizungen ohne allzu grosse Asymmetrie der Raumtemperatur einsetzen. Aus diesem Grund sind auch Deckenheizungen für relativ gut gedämmte Räume einsetzbar.

Im Fensterbereich sind Komfortprobleme durch Kaltluftabfall bei raumhohen Fenstern zu verhindern. Daher ist die Verglasung so zu wählen, dass die Anforderung gemäss SIA 382/1 Kap 2.2.4.6 erfüllt wird. Vergleichbares gilt, wenn die Aussenhülle z.B. aufgrund des Denkmalschutzes nur schwach gedämmt werden kann.

[7] Siehe Planungsunterlage Zehnder Como Decken- Kühl- und –Heizsystem S 12-16

7 Ablaufdiagramme

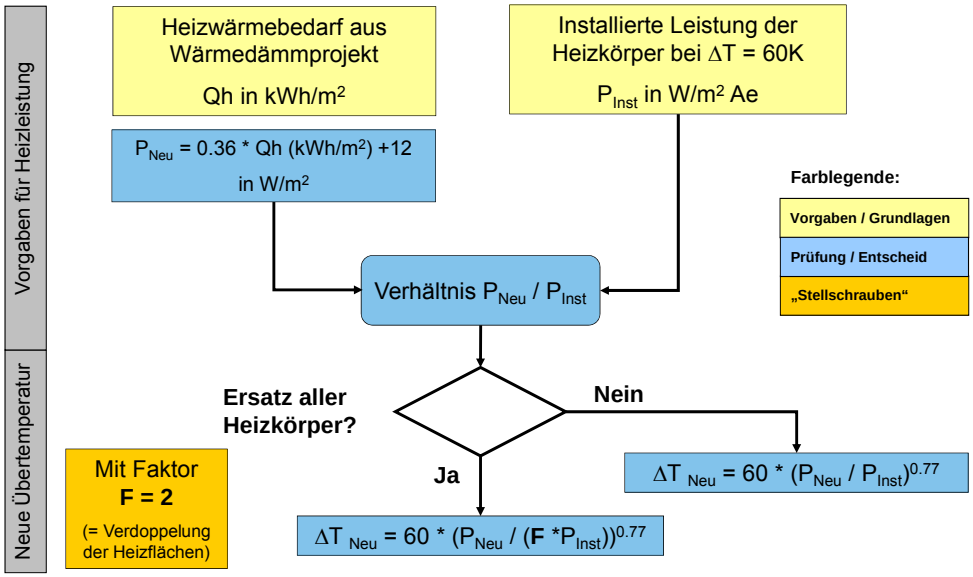
7.1 Bestimmung der Vorgabe für die Heizflächenübertemperatur

Bei einer geplanten Gebäudeerneuerung wird typischerweise zuerst die Gebäudesubstanz analysiert und daraus ein bauliches Erneuerungskonzept erarbeitet (bzw. mehrere Varianten). In diesem Zusammenhang werden auch Festlegungen zum Umfang der vorgesehenen Massnahmen an der Wärmedämmung erarbeitet. Aus diesem Wärmedämmkonzept ist der zukünftige Heizwärmebedarf (Qh nach SIA 380/1) bekannt. Zudem bestehen meist auch Vorstellungen darüber, ob die Heizkörper generell ersetzt werden sollen oder nicht.

Mit diesen Vorarbeiten kann eine Vorgabe für die im Planungsablauf zu erreichende Heizflächenübertemperatur ($\triangle T_{Neu}$) ermittelt werden (siehe Figur 27). Für diesen Schritt wird die installierte Heizkörperleistung im Gebäude[8] bei einer Normübertemperatur von 60K (typische Auslegung für ältere Gebäude) benötigt. Die nach der Erneuerung benötigte Heizleistung wird mit einer einfachen Formel[9] aus dem Heizwärmebedarf gemäss Wärmedämmkonzept ermittelt.

Aus dem Verhältnis zwischen der derzeit installierten Heizleistung (bei $\triangle T$= 60K) und der Heizleistung nach der Erneuerung kann die Vorgabe für Heizflächenübertemperatur ermittelt werden[10]. Sie ist unterschiedlich je nachdem, ob alle Heizkörper ersetzt werden sollen oder nicht. Für den Fall, dass alle Heizkörper ersetzt werden, wird davon ausgegangen, dass beim Ersatz im Mittel eine Verdoppelung der Heizfläche möglich ist („Stellschraube“ für Einflussnahme).

Figur 27 Bestimmung der Vorgabe für die neue Heizflächenübertemperatur (ΔT_{Neu})

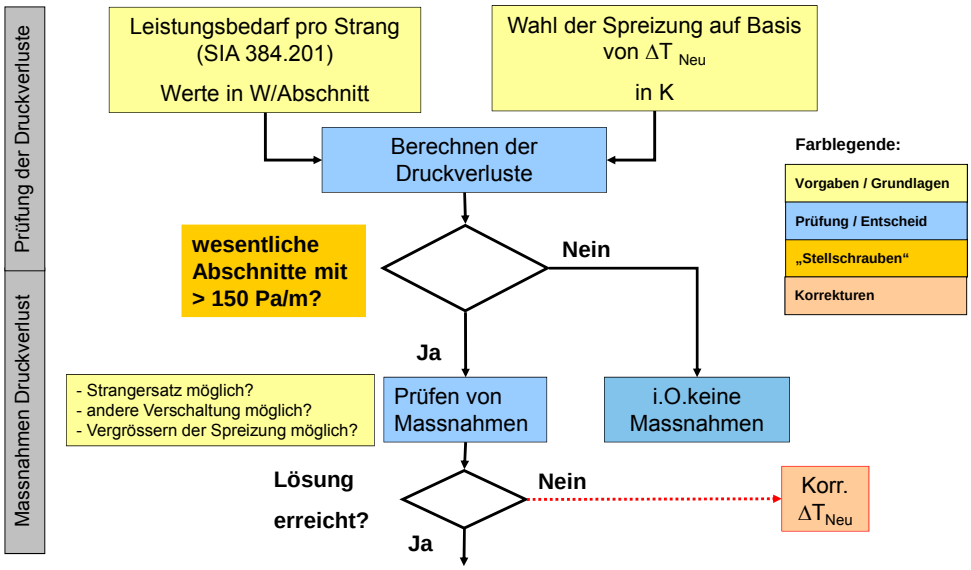


[8] Aus verfügbaren Planunterlagen (Strangschema) oder aus Begehung ermittelt. Bei fehlenden Angaben muss die installierte Leistung bzw. das Leistungsverhältnis abgeschätzt werden (Experteneinschätzung)
[9] Zusammenhang auf Basis von diversen Gebäudeberechnungen in diesem Projekt ermittelt (siehe Figur 5)
[10] Aus Basis eines Heizkörperexponenten von 1.3 sowie der Annahme, dass die Anzahl Räume mit ungenügender Leistung vertretbar bleibt (Zusatzmassnahmen), wenn die Anforderung im Mittel über das Gebäude erfüllt ist.

7.2 Prüfung auf kritische Druckverluste

Insbesondere bei tiefen Heizflächenübertemperaturen ist eine geringere Spreizung und damit ein höherer Massendurchfluss nötig. Da die Steigstränge in älteren Gebäuden häufig auf Temperaturspreizungen von 20 K (oder höher) ausgelegt sind, muss in einem ersten Schritt geklärt werden, ob dies zu einem Problem führt. Dazu müssen die einzelnen Steigstränge beurteilt werden. Inwieweit dabei für einzelne Strangabschnitte erhöhte Druckverluste zugelassen werden, ist festzulegen. Ein Wert von etwa 150 Pa/m scheint dabei als sinnvolle Grenze[11].

Figur 28 Prüfung der Druckverluste in den Heizungssträngen



7.3 Vorgehensablauf für Erneuerungen

a) Bei Erneuerungen bleiben Heizkörper überwiegend bestehen

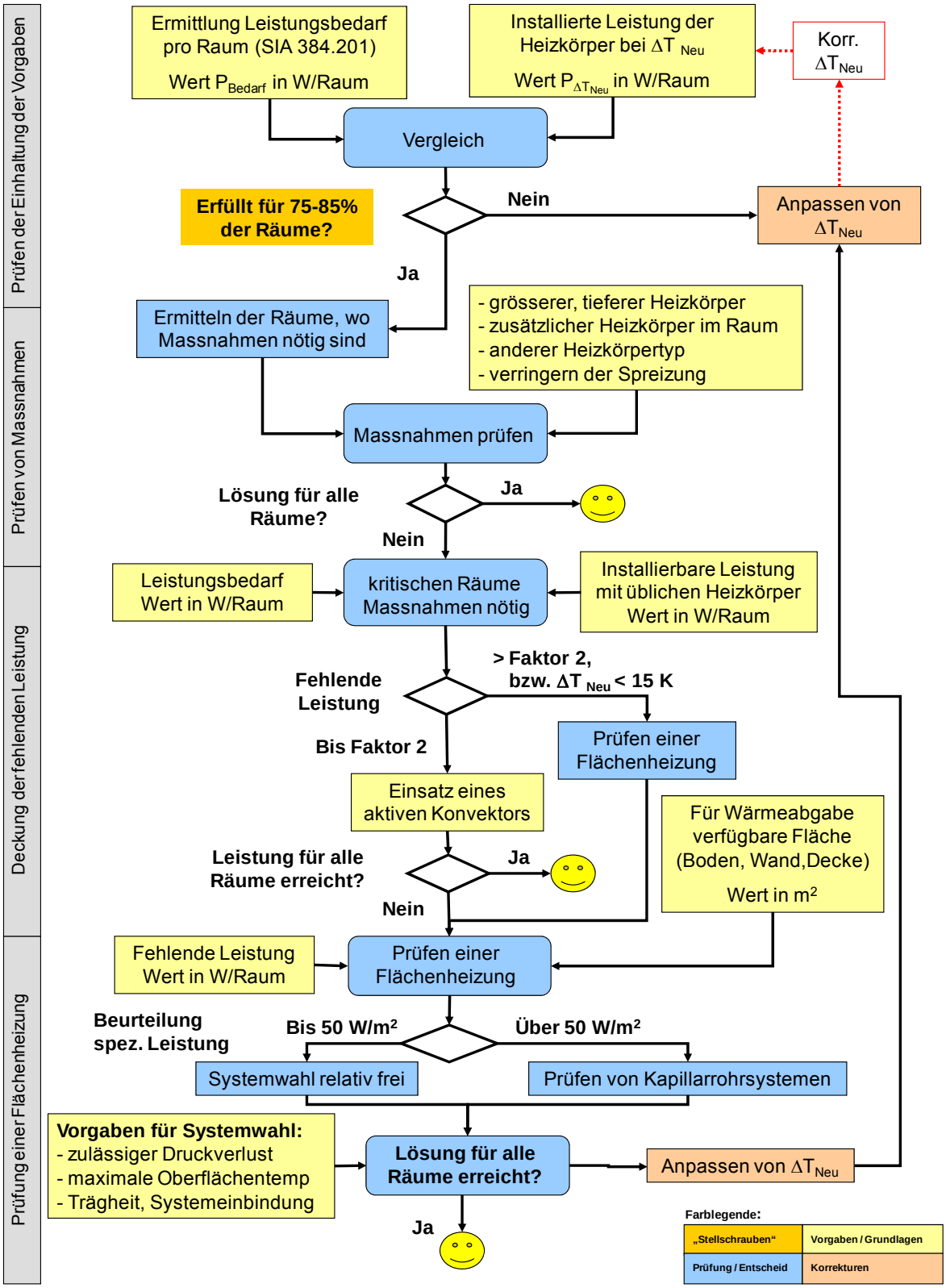
Sollen die Heizkörper generell bestehen bleiben, so sind nur in den Räumen Massnahmen nötig, wo die Heizleistung mit den Vorgaben nicht erreicht wird. Dazu müssen neben dem Leistungsbedarf nach SIA 384.201 pro Raum auch der Typ und die Grösse des vorhandenen Heizkörpers bekannt sein. In den Räumen, in denen die Leistung nicht ausreicht, kann in einem ersten Schritt mit einem grösseren Heizkörpertyp versucht werden, die Leistung zu decken. Bei grossen Abweichungen können zusätzliche Heizkörper, aktive Systeme oder eventuell auch Flächenheizungen zum Einsatz kommen (siehe Figur 29).

b) Bei Erneuerungen werden Heizkörper in allen Räumen ersetzt

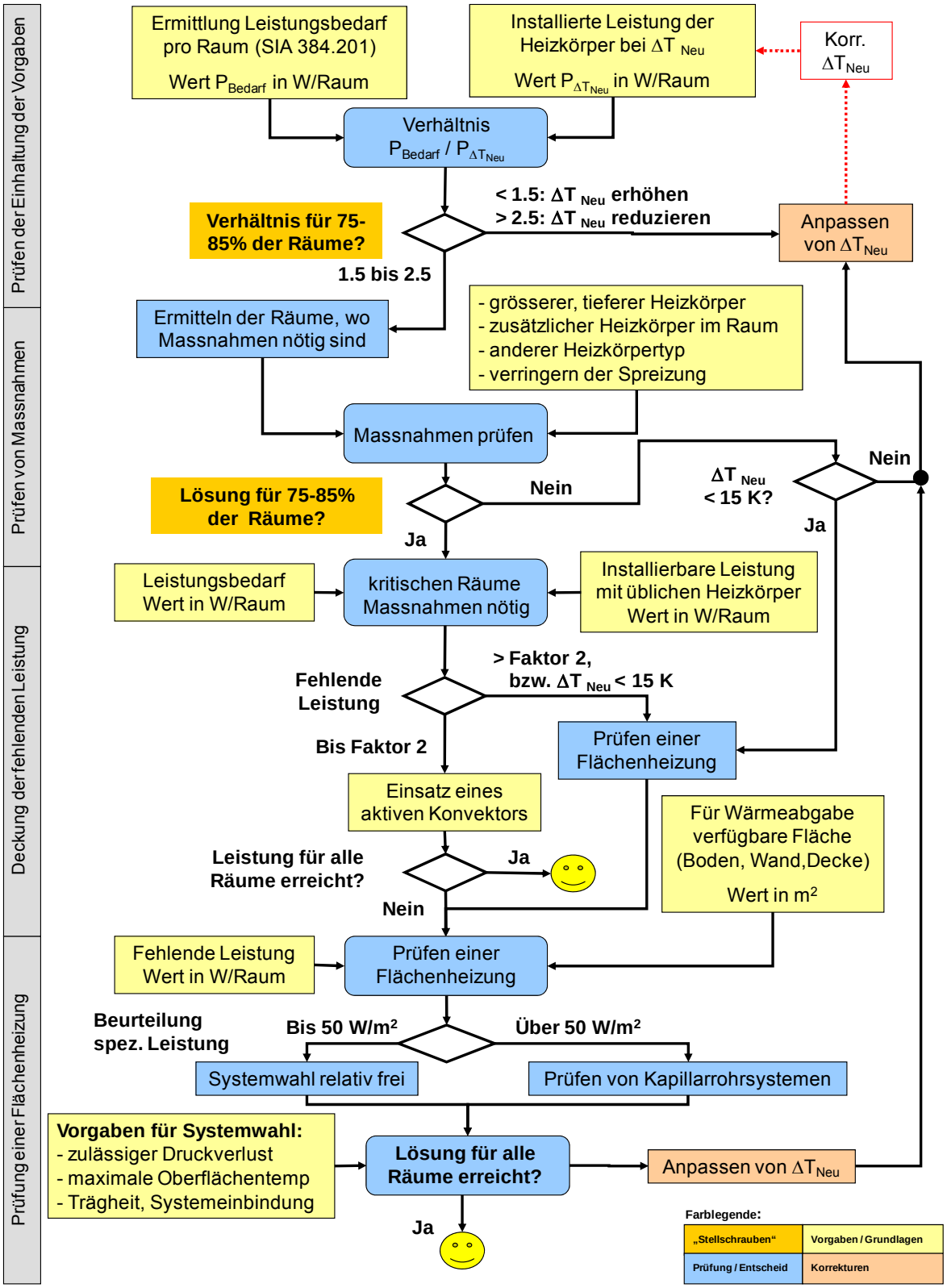
Werden alle Heizkörper ersetzt, so sind durch die strengere Vorgabe zur Heizflächenübertemperatur in den meisten Räumen deutlich grössere Heizkörper notwendig. Für die Analyse müssen neben dem Leistungsbedarf pro Raum nach SIA 384.201 auch die räumliche Situation bekannt sein, um die neuen (oder zusätzlichen) Heizkörper bestimmen zu können. In den Räumen, in denen in diesem Schritt keine Lösung gefunden werden kann, können aktive Systeme oder auch zusätzliche Flächenheizungen zur Lösung führen (siehe Figur 30). Kritische Fälle, welche durch Massnahmen an der Wärmedämmung entschärft werden können, sind dabei aufzuzeigen.

[11] Gemäss SIA 384/1 muss bei einer Überschreitung der Druckverlusten von 50 Pa/m die spezifische Pumpenleistung begrenzt werden (gemäss SIA 384/1 Ziffer 5.3.5.6), damit dies zulässig ist.

Figur 29 Vorgehensablauf für Fall, wenn bei Erneuerung Heizkörper überwiegend bestehen bleiben



Figur 30 Vorgehensablauf für Fall, wenn bei Erneuerung alle Heizkörper ersetzt werden

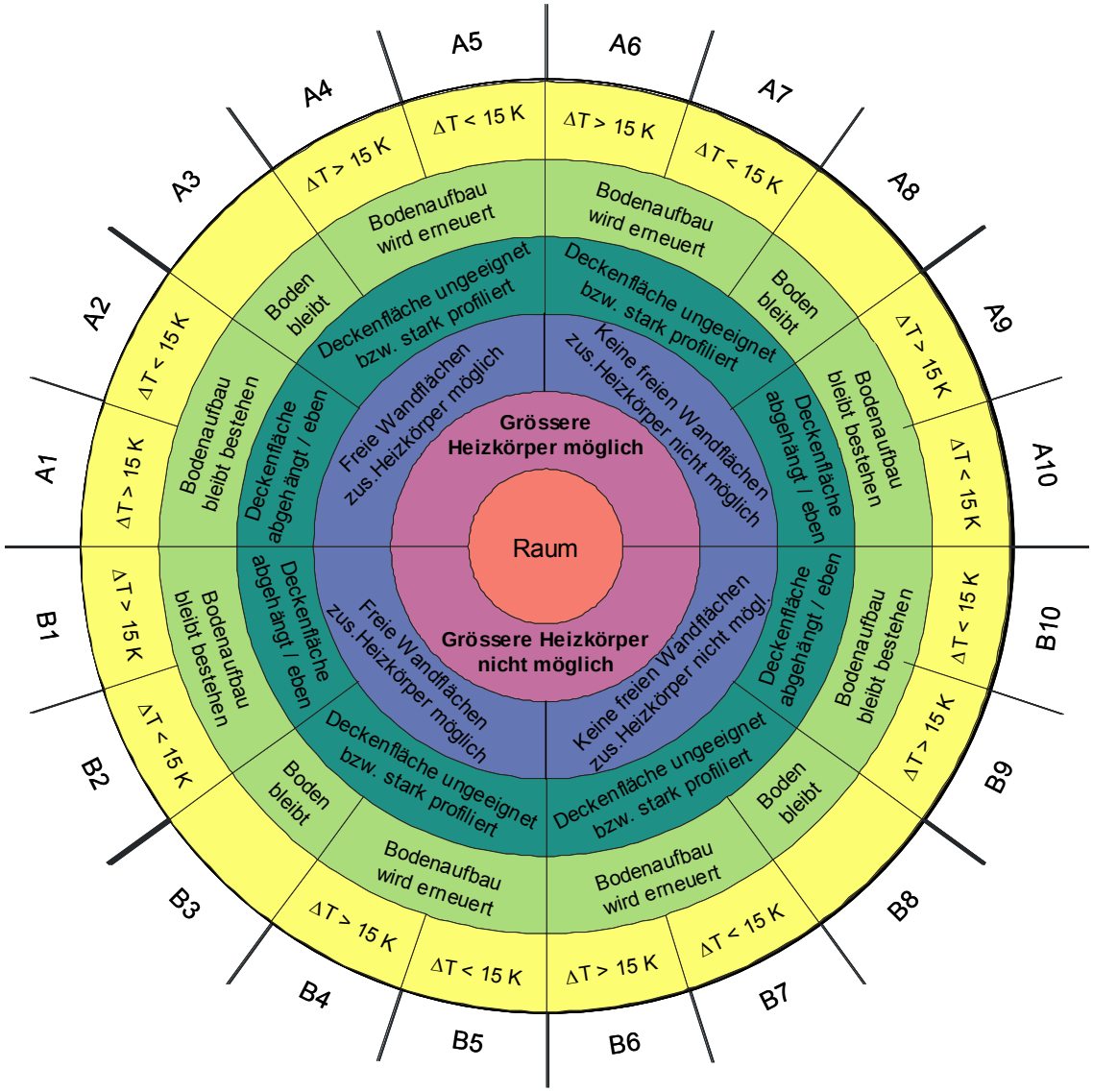


7.4 Eignungsmatrix

Je nach Raumsituation eignen sich gewisse Arten der Wärmeabgabe besser bzw. andere sind ausgeschlossen. Mit der Eignungsmatrix in Figur 31 kann eine Eingrenzung auf die geeigneten Systeme erfolgen.

In der Eignungsmatrix wird die räumliche und bauliche Situation in vier Schritten eingegrenzt (Beginn im Zentrum bei Feld „Raum“). Im letzten Schritt wird die Auswahl noch durch die angestrebte mittlere Heizflächenübertemperatur (△T) eingegrenzt.

Figur 31 Eignungsmatrix für Abgabesysteme



△T = massgebende Heizflächenübertemperatur für Auslegung

Felder A1.... B10: Legende zu den geeigneten Abgabesystemen siehe unten bzw. nächste Seite

geeignete Massnahme für	A										B									
Abgabesystem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Vergrösserung der Heizkörper	x		x	x		x		x	x											
zusätzliche Heizkörper	x		x	x							x		x	x						
Ersatz durch aktive Konvektoren		x		x	x	x	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x	x	x
zusätzlich aktive Konvektoren		x			x						x	x	x	x						
zusätzliche Wandheizung		x	x *)		x							x	x *)		x					
Einbau einer Deckenheizung		x								x		x								x
Einbau einer Bodenheizung					x		x								x		x			
*) Einhaltung der maximalen Oberflächentemperatur ist zu beachten (max.35°C)																				

Legende zur Entscheidungsmatrix

A1:	**B1:**
- Vergrösserung der Heizkörper - zusätzliche Heizkörper	- zusätzliche Heizkörper - aktive Konvektoren *)
A2:	**B2:**
- zusätzliche Wandheizung - Einbau einer Deckenheizung - aktive Konvektoren *)	- zusätzliche Wandheizung - Einbau einer Deckenheizung - aktive Konvektoren *)
A3:	**B3:**
- Vergrösserung der Heizkörper - zusätzliche Heizkörper - zusätzliche Wandheizung **)	- zusätzliche Heizkörper - aktive Konvektoren *) - zusätzliche Wandheizung **)
A4:	**B4:**
- Vergrösserung der Heizkörper - zusätzliche Heizkörper	- zusätzliche Heizkörper - aktive Konvektoren *)
A5:	**B5:**
- Einbau einer Bodenheizung - zusätzliche Wandheizung - aktive Konvektoren *)	- Einbau einer Bodenheizung - zusätzliche Wandheizung - Ersatz durch aktive Konvektoren *)
A6:	**B6:**
- Vergrösserung der Heizkörper - Ersatz durch aktive Konvektoren *)	- Ersatz d. aktive Konvektoren *)
A7:	**B7:**
- Einbau einer Bodenheizung - Ersatz durch aktive Konvektoren *)	- Einbau einer Bodenheizung - Ersatz durch aktive Konvektoren *)
A8:	**B8:**
- Vergrösserung der Heizkörper - Ersatz durch aktive Konvektoren *)	- Ersatz durch aktive Konvektoren *)
A9:	**B9:**
- Vergrösserung der Heizkörper - Ersatz durch aktive Konvektoren *)	- Ersatz durch aktive Konvektoren *)
A10:	**B10:**
- Ersatz durch aktive Konvektoren *) - Einbau einer Deckenheizung	- Ersatz durch aktive Konvektoren *) - Einbau einer Deckenheizung

*) spezielle Heizkörper mit aktiver Unterstützung der Konvektion durch einen Ventilator

**) Einhaltung der maximalen Oberflächentemperatur ist zu beachten (max. 35°C)

8 Hydraulische Einbindung

8.1 Einrohrheizsysteme

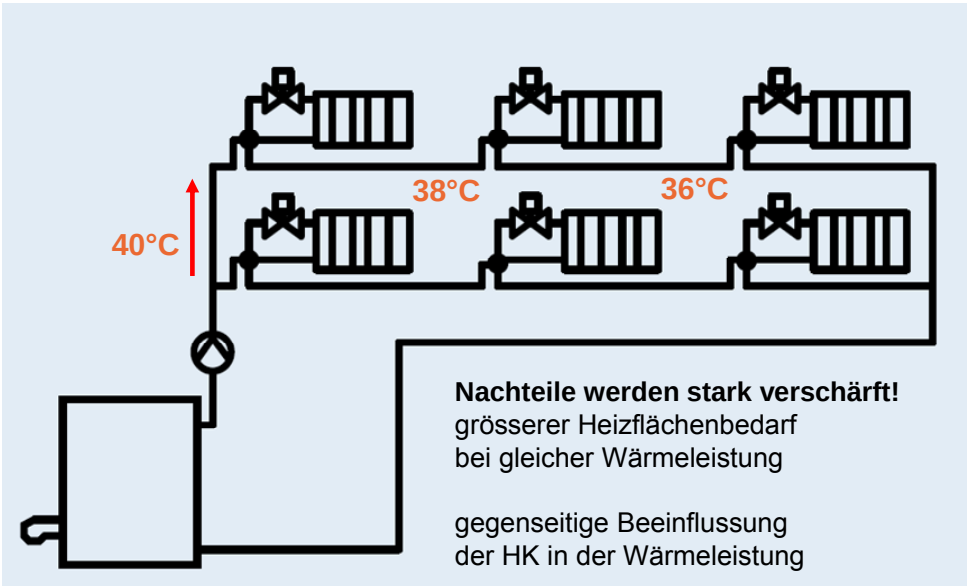
Die hydraulische Einbindung des Wärmeabgabesystems ist von Bedeutung für die erzielte Effizienz der Wärmeerzeugung mit einer Wärmepumpe. Bei Wohngebäuden, welche heute erneuert werden, sind öfters Einrohrheizsysteme anzutreffen.

Ungünstig an Einrohrheizsystemen ist, dass sich Eingriffe oder Störungen in einem Heizkörper im ganzen Heizungskreis auswirken. Daher ist ein sauberer hydraulischer Abgleich und eine korrekte Einstellung der Vorlauftemperatur unbedingt erforderlich und nicht einfach.

Im Zusammenhang mit dem Ziel, die Vorlauftemperaturen auf ein möglichst tiefes Niveau zu bringen, sind bei Einrohrheizsystemen die kleinen Heizflächen am Stranganfang (hohe Vorlauftemperatur) und die grossen Heizflächen am Strangende ungünstig. Zudem sind bei fehlendem Wärmebedarf die Rücklauftemperaturen ebenfalls hoch, was für eine Nutzung mit einer Wärmepumpe sehr ungünstig ist. Im Weiteren ist bei diesen Systemen eine nachträgliche Anlagenerweiterung nur mit Schwierigkeiten möglich. Systembedingt ergeben sich bei Einrohrheizungen folgende Nachteile:

- Ringwassermenge bleibt unabhängig vom Wärmebedarf gleich (Druckverlust immer hoch)
- Im Teillastbetrieb führt dies zu einer Annäherung der Rücklauf- an die Vorlauftemperatur
- Die Folgen sind hohe Verteilverluste und ein hoher Verbrauch an Pumpenstrom
- Zudem steigt die Gefahr von Strömungsgeräuschen an den thermischen Ventilen

Figur 32 Schemabild Einrohrheizungsverteilung



Aufgrund der folgenden Punkte wird für Gebäude mit Einrohrheizsystem eine Umrüstung auf ein Zweirohrsystem empfohlen:

- Abnehmende Vorlauftemperaturen im Heizkreis führen bei tiefer Vorlauftemperatur zu überproportional grossen Abgabeflächen, sodass mit einem solchen System tiefe Vorlauftemperaturen nicht sinnvoll realisierbar sind
- Für eine gute Regelbarkeit und tiefe Rücklauftemperaturen in einem Niedertemperatursystem ist das Einrohrsystem wenig geeignet

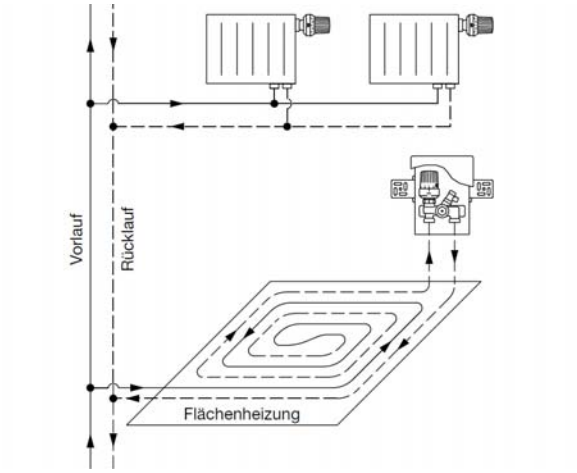
Wenn eine Umrüstung nicht in Frage kommt, kann mit einer strangweisen, lastabhängigen Regelung[12] die Temperaturspreizung zwischen Strangvorlauf und Strangrücklauf konstant gehalten werden, und damit die Effizienz des Systems verbessert werden.

8.2 Hydraulische Einbindung Flächenheizung

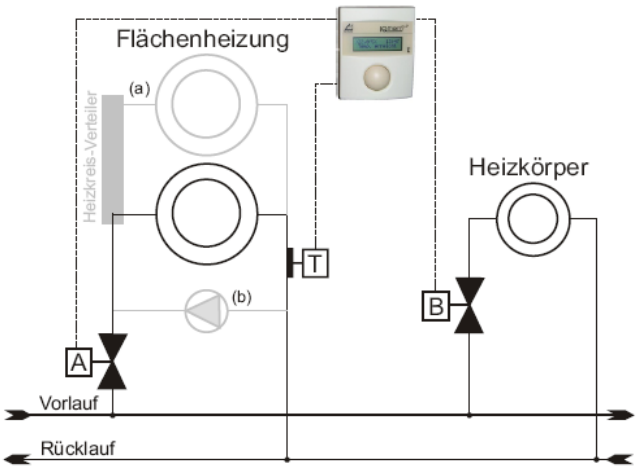
Wenn in einem Raum neben Heizkörpern eine zusätzliche Flächenheizung eingesetzt wird, muss neben den hydraulischen Anforderungen (möglichst geringer Druckverlust der Flächenheizung / genügende Wassermenge) auch der Regelung Beachtung geschenkt werden. Sind Heizflächen erforderlich, so ist zu prüfen, ob für deren Regelung ein einziger Regler zweckmässig ist.

Auf eine Regelung der Flächenheizung kann nur verzichtet werden, wenn die maximale Vorlauftemperatur unter 30°C liegt (wegen Selbstregeleffekt) oder die Heizkörper (mit Thermostatventile) mindestens 50 % der Wärmelast im Raum übernehmen. In den meisten Fällen ist daher eine Regelung der Flächenheizung notwendig. In Figur 33 ist ein System dargestellt, welches sich für die Regelung einzelner Flächenheizkreise eignet. Wird ein grösserer Raum sowohl mit Heizkörpern als auch mit einer Flächenheizung beheizt, kann eine kombinierte Regelung sinnvoll sein (Herstellerbeispiel siehe Figur 34).

Figur 33 Einbindung und Regelung der Flächenheizung; Quelle: Oventrop, Datenblatt „Unibox“ Einzelraumregelung



Figur 34 Einbindung und Regelung einer Flächenheizung kombiniert mit Heizkörpern; Quelle: METZKOW Elektronik-Systeme, Datenblatt IQ-Therm Heizkreisregler



(a)
Durch die temperaturgeführte Regelung der Flächenheizung und die stetige Ventilpositionierung, können mehrere Heizkreise eines Raumes mit einem Verteiler zusammengefasst werden. So ist nur ein Stellantrieb für die Flächenheizung erforderlich.

(b)
Mit dem Einsatz einer Umwälzpumpe, kann (unabhängig von Rohrlänge und -Verlegung) die Temperaturverteilung auf der Flächenheizungs-Oberfläche nochmals verbessert werden (ab 30qm Raumgröße empfohlen).

[12] z.B. System eccolution von KERMI bzw. Strangventil AB-QM Temperaturregler QT von Danfoss

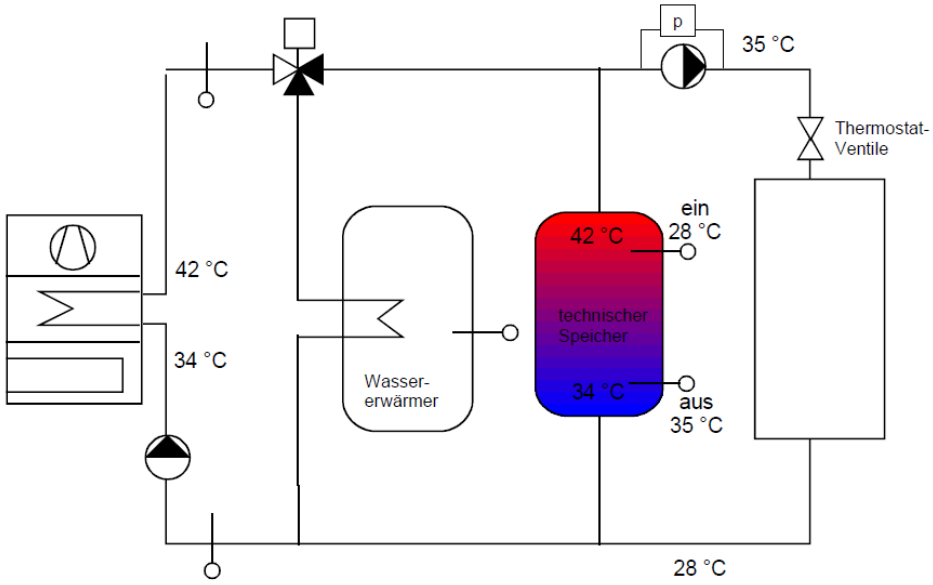
Es sind auch Regelsysteme auf dem Markt[13], bei welchen eine hydraulische Trennung der Kreise erfolgt. Der Primärkreis ist das Heizungssystem, der Sekundärkreis der Flächenheizungskreis. Dies erfordert jedoch eine zusätzliche Pumpe für den Flächenheizungskreis. Vorteilhaft ist das dadurch verringerte Risiko für Verschlammung bzw. Sauerstoffeintrag (wenn eingesetzte Rohre nicht sauerstoffdicht). Zudem ist der hydraulische Abgleich des Flächenheizungskreises einfacher.

8.3 Hydraulische Einbindung in der Heizzentrale

Für den störungsfreien Betrieb benötigt eine Wärmepumpe eine Minimalwassermenge. Bei einer Wärmeverteilung mit Thermostatventilen[14] kann diese nur gewährleistet werden, wenn eine hydraulische Trennung zwischen Erzeugerkreis und Abgabekreis erfolgt. Üblicherweise geschieht dies mit einem parallel geschalteten technischen Speicher. Dieser Speicher führt allerdings zu einer Erhöhung der Kondensationstemperatur in der Wärmepumpe, und damit zu einer Verschlechterung der Arbeitszahl.

Aus diesem Grund ist die Übertemperatur im technischen Speicher (Differenz zwischen Speichertemperatur und Vorlauftemperatur Heizung) so gering wie möglich zu halten. Um dies zu erreichen, ist eine Leistungsanpassung bei der Wärmeerzeugung nötig (Einsatz einer mehrstufigen oder stufenlos regelbaren Wärmepumpe).

Figur 35 Einfluss der Speichertemperaturüberhöhung auf den Wärmepumpenbetrieb; Quelle: A. Huber, Energie-Praxis Seminar 2005; Wärmepumpen ohne Speicher mit tiefen Vorlauftemperaturen



Sicherstellung der Abnahme der gesamten Heizleistung der Wärmepumpe durch einen konstant hohen Volumenstrom.

[13] z.B. Oventrop „Regufloor HX" mit Systemtrennung
[14] Anders verhält es sich bei reinen Fussbodenheizungen, bei denen mit einer selbstregulierenden Bodenheizung (Vorlauftemperaturen für Funktion zwingend unter 30°C, siehe Graphik im Anhang) auf eine Trennung und einen Speicher verzichtet werden kann.

9 Untersuchung Referenzräume

Der Untersuchungsschwerpunkt bezüglich der Gebäudenutzung liegt bei Erneuerungen von Wohngebäuden und Schulhäusern. Für die Untersuchung wurden folgende drei typische Gebäudebeispiele verwendet:

- Wohnsiedlung Paradies: Aussendämmung möglich, jedoch Wärmebrücken sowie Attikaräume mit grossen Aussenwandflächen
- Schulhaus Lavater: Gebäude unter Denkmalschutz, nur Innendämmung möglich (z.T. nur mit Wärmedämmputz), eher geringe Glasflächenanteile
- Schulhaus Loogarten: Gebäude mit grossen Glasflächen, Sichtbetonfassade nur Innendämmung möglich (Multipor)

An diesen drei typischen Gebäudebeispielen wurden einige bezüglich der Beheizung kritische Räume analysiert. Dazu wurde für diese Räume die Norm-Heizlast gemäss SIA 384.201 berechnet und die möglichen Abgabeflächen bestimmt.

9.1 Wohnsiedlung Paradies

Bei dieser Siedlung hat vor allem die Wohnung im Attika einen hohen Leistungsbedarf, da dieser Wohnraum auf drei Seiten Aussenwände und zudem eine grössere Balkontüre aufweist. Im Weiteren ist ein Raum im Untergeschoss kritisch, welcher ebenfalls viele Aussenwände im Verhältnis zur Raumgrösse aufweist. Zudem ist bei diesem Raum der Boden gegen Erde nicht gedämmt, was zu einem erhöhten Leistungsbedarf führt.

Durch die gemäss dem Wärmedämmprojekt gute Hülle sind die ermittelten Heizleistungen für die untersuchten Räume mit etwa 30 - 60 W/m^2 dennoch relativ tief. Gegenüber den heute installierten Heizkörpern (betrieben bei 90/70°C) wird damit eine Überdimensionierung von Faktor 2 - 3 erreicht (Tabelle 4).

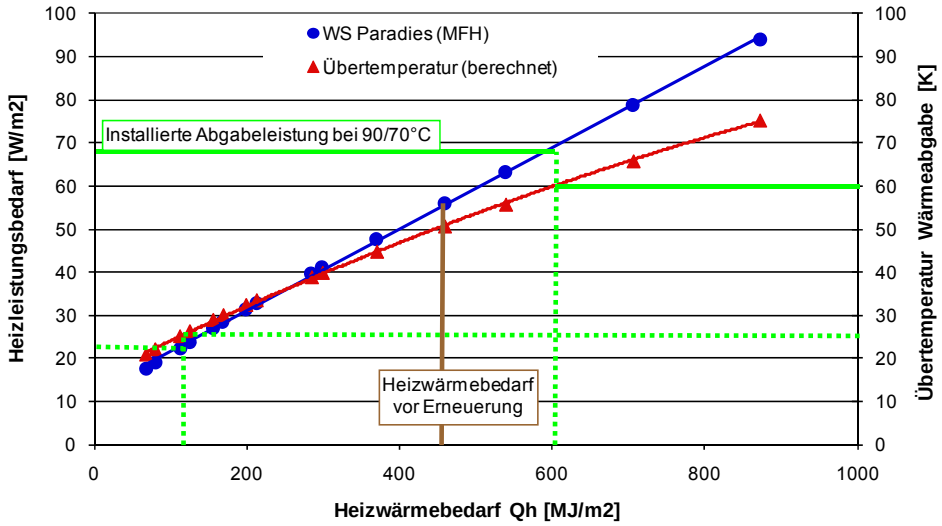
Tabelle 4 Wohnsiedlung Paradies, Kenndaten der untersuchten Räume

Bezeichnung	A	θ_{int}	$\theta_{e,korr}$	V	Φ_T	Φ_V	Φ_{HL}	q_{HL}	Φ_{HL}	
	m^2	°C	°C	m^3	W	W	W	W/m^2	W	%
Südräume 005 - 505										
Spielraum UG Süd (002, T1)	15	20	-8	39	725	141	866	60	1887	218%
Wohnen EG Süd (005)	15	20	-8	39	323	141	464	32	1387	299%
Wohnen OG Süd (105 - 405)	15	20	-8	39	316	141	457	31	1279	280%
Wohnen DG Süd (505)	15	20	-8	40	603	146	749	50	2390	319%
Nordräume 026 - 511										
Wohnen Nord EG 026	21	20	-8	56	601	201	802	39	2102	262%
Wohnen Nord OG 126 - 326	21	20	-8	56	405	201	606	29	1422	235%
Wohnen Nord 4. OG 426	21	20	-8	56	700	201	901	44	2159	240%
Wohnen Nord DG 510	21	20	-8	57	626	205	831	39	2580	311%
Wohnen DG, Attika 511	22	20	-8	59	1134	211	1345	62	3715	276%

Aus den Angaben zu den heute installierten Heizkörpern, dem Heizwärmebedarf vor der Erneuerung (Basis VHKA Untersuchung 1995) sowie dem Wärmedämmprojekt kann ermittelt werden, welche Systemtemperaturen für das sanierte Gebäude erreicht werden können.

In Figur 36 ist die Abhängigkeit von Heizwärmebedarf und Heizleistung sowie der dadurch notwendigen Übertemperatur an den Wärmeabgabeflächen dargestellt. Aus der Graphik ist ersichtlich, dass die bestehenden Wärmeabgabeflächen bereits heute eine Reserve besitzen. Nach der Erneuerung wird über das gesamte Gebäude eine gemittelte Heizleistung von 22 W/m^2 (bezogen auf die Energiebezugsfläche) erreicht. Mit den bestehenden Heizkörpern ist damit für einen Grossteil der Räume eine Systemtemperatur von 50/40°C erreichbar.

Figur 36 Wohnsiedlung Paradies, Abhängigkeit von Heizwärmebedarf und Heizleistung



Für eine weitere Senkung der Vorlauftemperatur sind die Abgabeflächen für alle Räume deutlich zu vergrössern, wie in Figur 6 dargestellt ist. In verschiedenen Räumen dürfte eine Verdoppelung der Abgabeflächen möglich sein (siehe Figur 37). Es sind allerdings auch diverse Räume vorhanden, wo dies nur begrenzt machbar sein dürfte (z.B. Konflikt mit Balkontüröffnung).

Figur 37 Wohnsiedlung Paradies, Bestehender Gliederheizkörper

Da die Heizung ursprünglich auf eine Auslegung von 90/70°C dimensioniert wurde (20 K Temperaturspreizung) könnten auch Dimensionen der Verteilleitungen hier ein kritischer Punkt sein. Dies wurde für fünf Steigstränge überprüft (Tabelle 5). Die ursprüngliche Dimensionierung basiert auf Druckverlusten in den Steigleitungen von bis zu 100 Pa/m. Durch die Gebäudehüllenerneuerung sinkt der Wärmeleistungsbedarf und dadurch der maximale Volumenstrom. Bei einer Temperaturspreizung von 10 K sinken die Druckverluste in den Rohrleitungen in allen untersuch-

ten Strängen. Wird jedoch mit einer Temperaturspreizung von nur 5 K gearbeitet, steigen die Druckverluste durch den höheren Volumenstrom in allen untersuchten Strängen auf etwa das 2-fache der ursprünglichen Dimensionierung.

Setzt man einen Wert von 150 Pa/m als Grenze für einen vertretbaren Druckverlust, so wäre eine Temperaturspreizung von bis zu min. 7 K mit den bestehenden Steigleitungen möglich. Ein kritischer Strang ist Strang Nr. 3, da hier bereits im bisherigen Auslegungsfall über 100 Pa/m erreicht werden.

Tabelle 5 Wohnsiedlung Paradies, Druckverluste in den Steigleitungen bei verschiedenen Temperaturspreizungen

Bestehend, Temperaturspreizung 20 K					
Strang Nr.	P_{HK} W	$dP_{Rohr, Max}$ Pa/m	$dP_{Rohr,Mittel}$ Pa/m	P_{Rohr} kPa	P_{Rohr} %
Strang 26	10'958	96	77	2.4	100%
Strang 11	8'588	60	46	1.0	100%
Strang 3	11'955	109	79	2.2	100%
Strang 24	5'012	95	40	1.1	100%
Strang 18	4'717	21	18	0.5	100%
Erneuert, Temperaturspreizung 10 K					
Strang Nr.	P_{HK} W	$dP_{Rohr, Max}$ Pa/m	$dP_{Rohr,Mittel}$ Pa/m	P_{Rohr} kPa	P_{Rohr} %
Strang 26	3'938	51	40	1.2	52%
Strang 11	3'547	42	33	0.7	72%
Strang 3	4'964	78	57	1.6	72%
Strang 24	2'083	71	30	0.8	74%
Strang 18	1'741	12	10	0.3	58%
Erneuert, Temperaturspreizung 5 K					
Strang Nr.	P_{HK} W	$dP_{Rohr, Max}$ Pa/m	$dP_{Rohr,Mittel}$ Pa/m	P_{Rohr} kPa	P_{Rohr} %
Strang 26	3'938	182	139	4.3	181%
Strang 11	3'547	150	115	2.5	252%
Strang 3	4'964	279	203	5.7	257%
Strang 24	2'083	246	103	2.9	255%
Strang 18	1'741	41	36	1.0	196%

9.2 Schulhaus Lavater

Bei diesem Gebäude sind vor allem die sehr massiven Aussenwände auffallend. Aus Denkmalschutzgründen können diese nur mit einem Innendämmputz gedämmt werden.

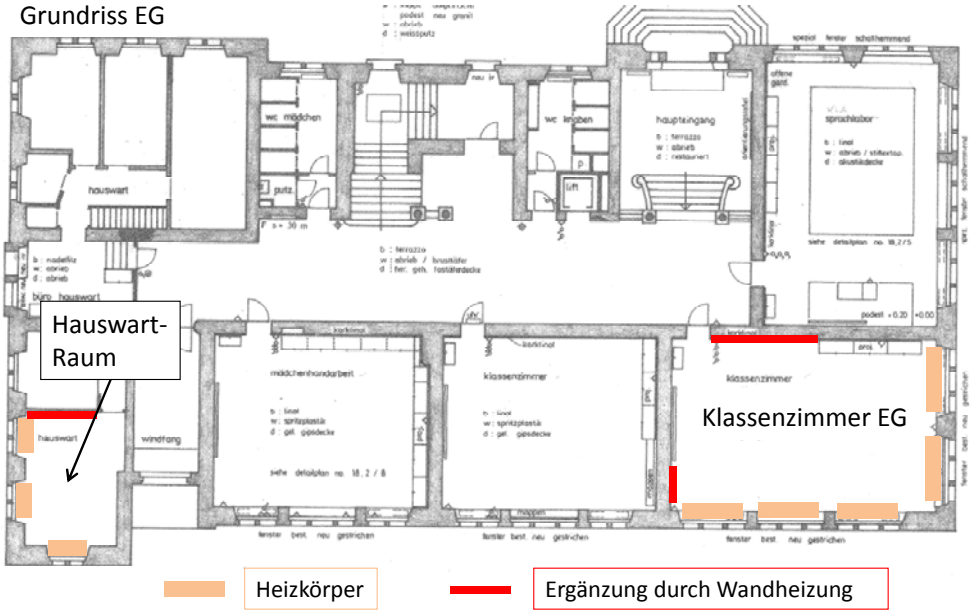
Es wurden zwei Raumtypen genauer untersucht:

- Hauswartraum im EG (mit Boden gegen Kellerraum und grossen Aussenwandanteilen)
- Klassenraum im EG (mit Boden gegen beheizten Raum im UG)
- Klassenraum im EG (mit Boden gegen unbeheizten Kellerraum)

Da bei diesem Gebäude aus dem Wärmedämmprojekt nicht klar hervorgeht, welche Räume im Untergeschoss beheizt werden (müssen), wurde für den Klassenraum im Erdgeschoss zwei Varianten berechnet (gegen beheiztes UG bzw. unbeheiztes UG).

Vor allem der Hauswartraum hat einen grossen Anteil Aussenflächen, welche wärmetechnisch nur geringfügig verbessert werden. Zudem bestehen nur beschränkte Möglichkeiten für die Installation von zusätzlichen Heizkörpern. Figur 38 zeigt den Grundriss der beiden Raumtypen sowie ein Vorschlag für eine mögliche Ergänzung der Wärmeabgabeflächen.

Figur 38 Grundriss / untersuchte Räume im Schulhaus Lavater



Der berechnete Leistungsbedarf für den Hauswartraum liegt mit 75 W/m^2 deutlich höher als für das Klassenzimmer mit etwa 40 W/m^2. Deutlich geringer ist der Leistungsbedarf des Klassenzimmers, wenn der darunter liegende Raum ebenfalls beheizt wäre (32 W/m^2). Tabelle 6 zeigt die ermittelten Kenndaten der untersuchten Räume.

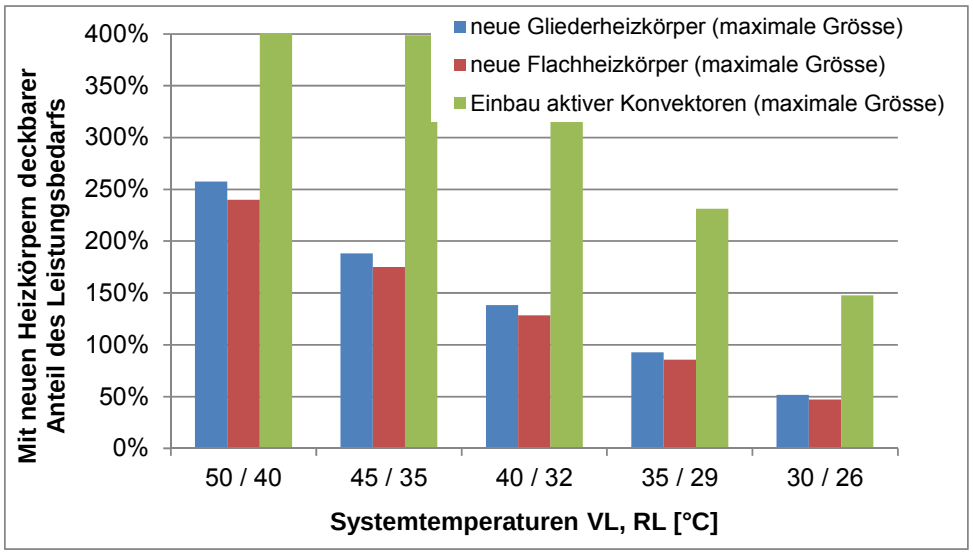
Tabelle 6 Schulhaus Lavater, Kenndaten der untersuchten Räume

Gebäude / Raum		Schulhaus Lavater		
		Hauswart EG	Klassenraum EG	Klassenraum EG gegen unbeheizt
Flächen [m^2]				
Boden (Innenmasse)		17.98 m^2	78.10 m^2	78.10 m^2
Decke (Innenmasse)		17.98 m^3	78.10 m^3	78.10 m^3
IW gegen beheizt		21.00 m^2	63.30 m^2	63.30 m^3
Nord	AW (ohne FE)	m^2	m^2	m^2
	Fenster	m^2	m^2	m^2
Süd	AW (ohne FE)	10.35 m^2	14.82 m^2	14.82 m^3
	Fenster	2.85 m^2	22.68 m^2	22.68 m^3
West	AW (ohne FE)	14.10 m^2	m^2	m^2
	Fenster	5.70 m^2	m^2	m^2
Ost	AW (ohne FE)	12.00 m^2	10.68 m^2	10.68 m^3
	Fenster	m^2	15.12 m^2	15.12 m^3
Ergebnisse				
Wärmeleistungsbedarf [W]		1354 W	2460 W	3075 W
spez. Wärmeleistung [W/m^2]		75.3 W/m^2	31.5 W/m^2	39.4 W/m^2
Transmissionsverluste [Q_T; W]		1209 W	1828 W	2443 W
Heizwärmebedarf [Q_H; kWh/m^2]		129.0 kWh/m^2	41.2 kWh/m^2	59.2 kWh/m^2
Heizwärmebedarf Gesamtgebäude [gem. Nachweis SIA 380/1]		48.6 kWh/m^2		

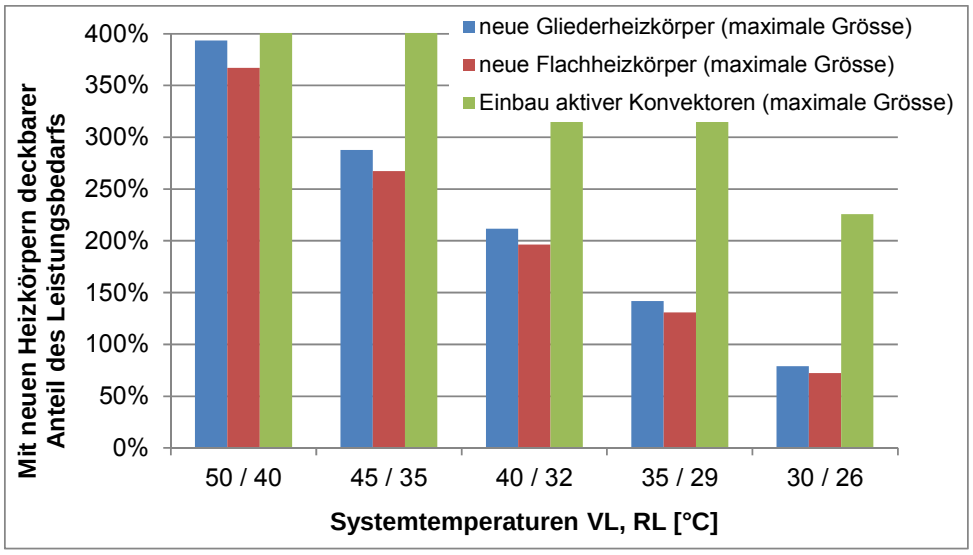
Aus dem Wärmeleistungsbedarf der Räume sowie den maximal verfügbaren Flächen für neue Heizkörper (Höhe, Tiefe) wurde für verschiedene Systemtemperaturen ermittelt, welchen Anteil des Leistungsbedarfs damit gedeckt werden könnte. Für die Wärmeabgabe mittels Heizkörper stehen in erster Linie die Brüstungsflächen unter den Fenstern zur Verfügung. Für den Hauswartraum könnte mit grossen Gliederheizkörpern die benötigte Leistung noch mit einer Vorlauftemperatur von 40°C erreicht werden. Durch die grössere Anzahl Heizkörpernischen könnte im Klassenzimmer der Leistungsbedarf auch noch mit 35°C Vorlauftemperatur gedeckt werden. Wird ein aktives Konvektorsystem eingesetzt, so kann mit den verfügbaren Heizkörpernischen auch bei tiefen Vorlauftemperaturen die benötigte Leistung erbracht werden. Figur 39 zeigt die Resultate für den Hauswartraum und Figur 40 für das Klassenzimmer (Basis unbeheiztes Untergeschoss).

Sollen die bestehenden Heizkörper nicht vergrössert werden, so sind zusätzliche Wärmeabgabeflächen nötig. Die Aussenwände sind aufgrund der ungenügenden Dämmung nicht geeignet für eine Wandheizung. Als zusätzliche Abgabeflächen könnten die in Figur 38 rot eingezeichneten Trennwände zwischen den Räumen genutzt werden. Mit diesen zusätzlichen Flächen könnte ein erheblicher Teil des Leistungsbedarfs gedeckt werden (siehe Figur 41). Falls aufgrund von Schränken oder Wandeinbauten diese Flächen nicht verfügbar sind, könnte mit einer Aktivierung der gesamten Decke vor allem im Klassenraum der ganze Leistungsbedarf gedeckt werden (siehe Figur 42). Da die Leistungsabgabe der Wand- wie auch der Deckenheizung stark vom eingesetzten System, dem Verlegeabstand und der Oberfläche abhängig sind, wurde für die berechneten Deckungsanteile von einer mittleren Systemauslegung ausgegangen.

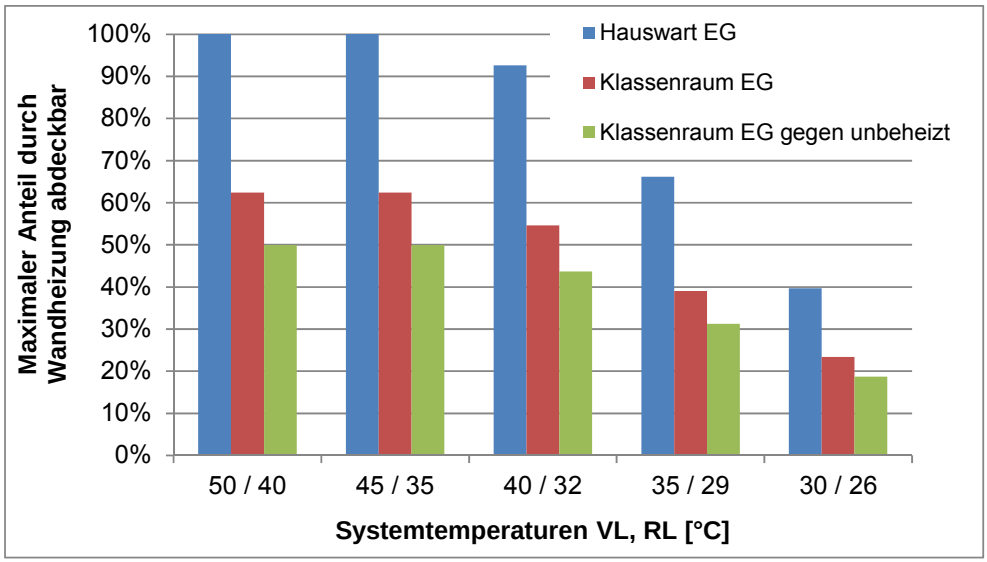
Figur 39 Hauswartraum EG; mit neuen Heizkörpern deckbarer Leistungsanteil



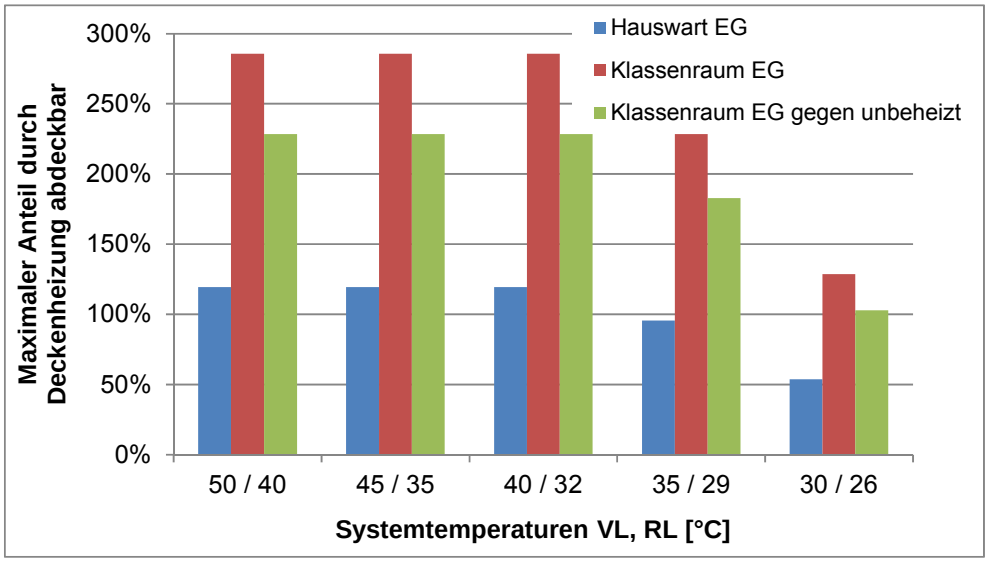
Figur 40 Klassenzimmer EG (Keller unbeheizt); mit neuen Heizkörpern deckbarer Leistungsanteil



Figur 41 Mit Wandheizung abdeckbarer Leistungsanteil (Aktivierung der rot eingezeichneten Zwischenwände)



Figur 42 Mit Deckenheizung abdeckbarer Leistungsanteil (Aktivierung der gesamten Decke)



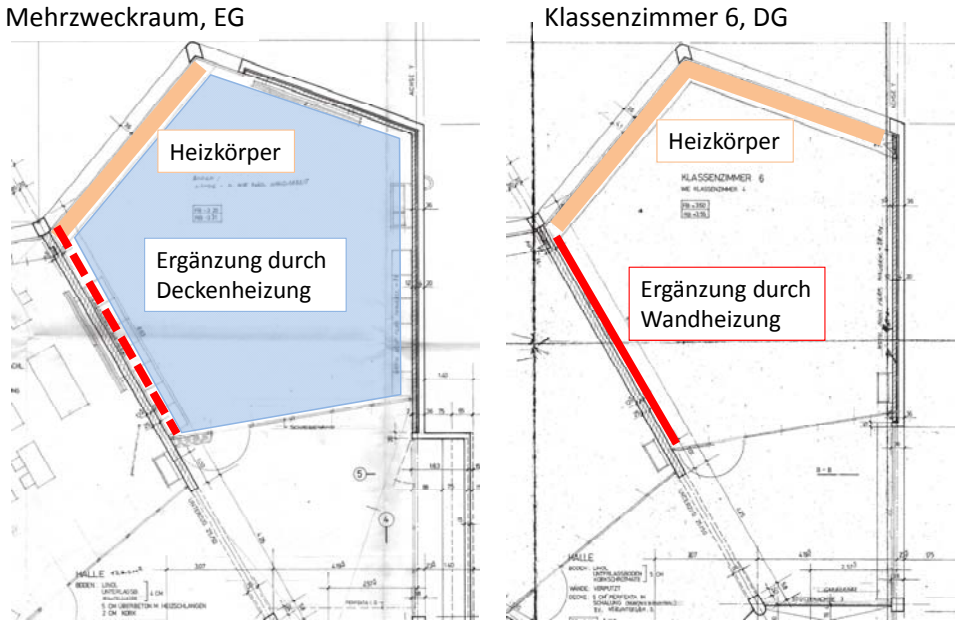
9.3 Schulhaus Loogarten

Bei diesem Gebäude ist die stark verglaste Fassade gegen Süden auffallend. Es wurden zwei Räume genauer untersucht:

- Klassenraum 6 im 2. OG (Dachgeschoss)
- Mehrzweckraum im EG (mit Boden gegen Kellerraum)

Beide Räume haben einen grossen Anteil Aussenflächen, was sie für eine Beheizung mit tiefen Vorlauftemperaturen kritisch macht, da ein höherer Leistungsbedarf zu erwarten ist. Figur 43 zeigt den Grundriss der beiden Räume sowie ein Vorschlag für eine mögliche Ergänzung der Wärmeabgabeflächen.

Figur 43 Grundriss / untersuchte Räume im Schulhaus Loogarten



Da bei diesem Gebäude gemäss dem Wärmedämmprojekt[15] (Variante 2) die Hülle nach der Erneuerung an grossen Teilen der Aussenfläche einen relativ guten U-Wert aufweist, liegen die berechneten Leistungsbedarfe für den äusseren Mehrzweckraum bzw. das Klassenzimmer mit etwa 40 W/m^2 relativ günstig. Dabei sind auch die Räume im EG und 2.OG vom Leistungsbedarf her vergleichbar. Tabelle 7 zeigt die ermittelten Kenndaten der untersuchten Räume.

[15] Bericht zur Beschreibung verschiedener Varianten zur energetischen Ausführung der Gebäudehülle, Schulhaus Loogarten, Wichser Akustik & Bauphysik AG, Feb. 2010

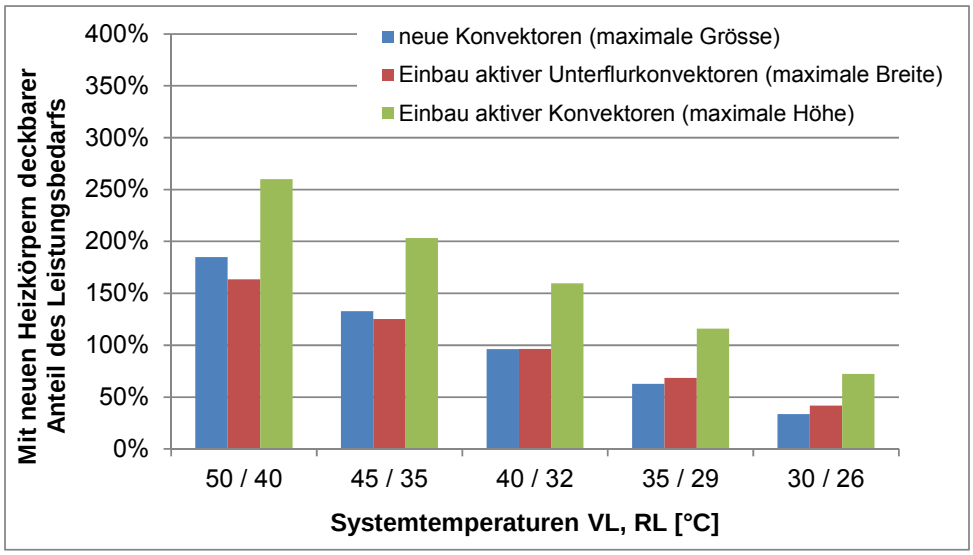
Tabelle 7 Schulhaus Loogarten, Kenndaten der untersuchten Räume

Gebäude / Raum		**Schulhaus Loogarten**	
		Klassenraum 6 2. OG	Mehrzweckraum EG
Flächen [m^2]			
Boden (Innenmasse)		98.00 m^2	98.00 m^2
Decke (Innenmasse)		98.00 m^3	98.00 m^3
IW gegen beheizt		58.14 m^2	58.14 m^2
Nord	AW (ohne FE)	32.57 m^2	34.62 m^2
	Fenster	17.41 m^2	15.36 m^2
Süd	AW (ohne FE)	11.73 m^2	6.76 m^2
	Fenster	31.62 m^2	36.59 m^2
West	AW (ohne FE)	m^2	m^2
	Fenster	m^2	m^2
Ost	AW (ohne FE)	m^2	m^2
	Fenster	m^2	m^2
Ergebnisse			
Wärmeleistungsbedarf [W]		3937 W	3659 W
spez. Wärmeleistung [W/m^2]		40.1 W/m^2	37.3 W/m^2
Transmissionsverluste [Q_T; W]		3038 W	2759 W
Heizwärmebedarf [Q_H; kWh/m^2]		65.1 kWh/m^2	55.3 kWh/m^2
Heizwärmebedarf Gesamtgebäude [gem. Nachweis SIA 380/1]		48.9 kWh/m^2	

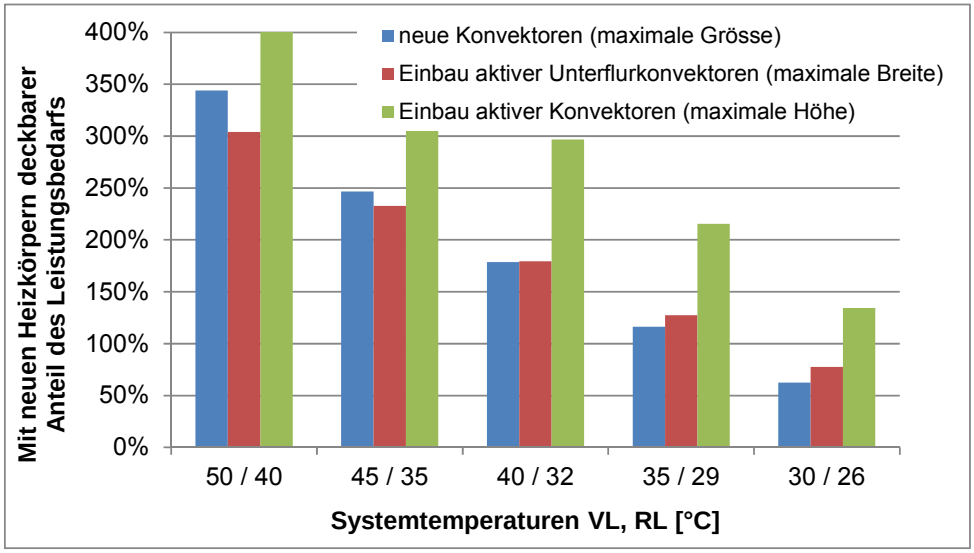
Für die Wärmeabgabe mittels Heizkörper (oder ev. auch mit Bodenkonvektoren) stehen in erster Linie die Brüstungsflächen unter den Fenstern zur Verfügung. Vor allem beim Mehrzweckraum ist die maximal verfügbare Einbaulänge jedoch beschränkt. Die übrigen Aussenwände sind aufgrund der durch die Innendämmung beschränkten Verbesserung des U-Wertes für eine Wandheizung eher ungünstig. Die Trennwände zwischen den Klassenräumen könnte jedoch für eine Ergänzung der Wärmeabgabefläche genutzt werden. Auch hier ist aus den Planangaben zu vermuten, dass im Mehrzweckraum diese Fläche nicht vollständig genutzt werden kann, da sie durch Einbauten teilweise abgedeckt wird. Für den Mehrzweckraum würde es sich zudem anbieten, mit einer Deckenheizung allfällige Leistungsdefizite zu decken.

Aus dem Wärmeleistungsbedarf der Räume sowie den maximal verfügbaren Flächen für neue Heizkörper (Höhe, Tiefe) wurde für verschiedene Systemtemperaturen ermittelt, welchen Anteil des Leistungsbedarfs damit gedeckt werden könnte. Figur 44 zeigt die Resultate für den Mehrzweckraum und Figur 45 für das Klassenzimmer 6. Klar zeigt sich, dass auch bei maximaler Grösse der Heizkörper unter den Fensterflächen im Mehrweckraum die Vorlauftemperatur nicht unter 40°C gesenkt werden kann. Um dies zu erreichen, müssten weitere Wärmeabgabeflächen realisiert werden oder es muss ein aktives Konvektorsystem eingesetzt werden. Für das Klassenzimmer im Dachgeschoss ist die Ausgangslage günstiger, da die verfügbare Brüstungslänge doppelt so gross ist.

Figur 44 Mehrzweckraum; mit neuen Heizkörpern deckbarer Leistungsanteil

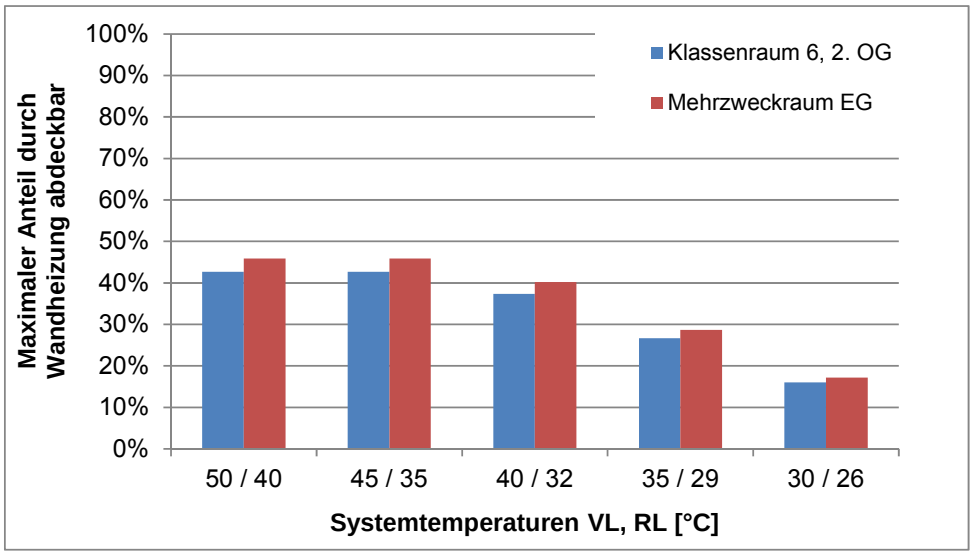


Figur 45 Klassenzimmer 6; mit neuen Heizkörpern deckbarer Leistungsanteil

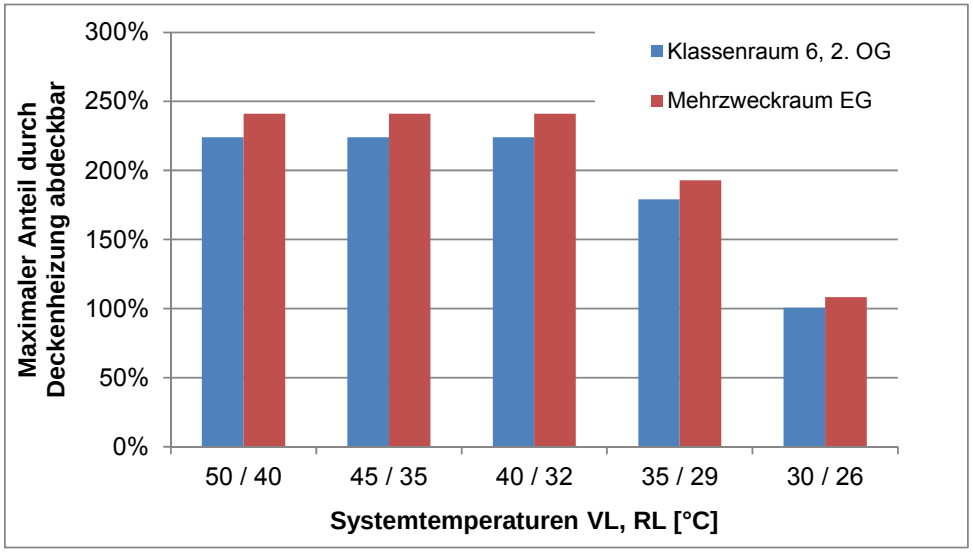


Würde zusätzlich die ganze Zwischenwand im Raum (in Figur 43 rot eingezeichnet) für eine Wandheizung genutzt, könnte damit ein erheblicher Teil des Leistungsbedarfs gedeckt werden (siehe Figur 46). Vor allem für den Mehrzweckraum könnte jedoch die zusätzliche Nutzung eines Deckensystems besser geeignet sein (Möblierungsflexibilität). Figur 48 zeigt, dass bei einer Aktivierung der gesamten Decke der ganze Leistungsbedarfs gedeckt werden kann. Da die Leistungsabgabe der Wand- wie auch der Deckenheizung stark vom eingesetzten System, dem Verlegeabstand und der Oberfläche abhängig sind, wurde für die berechneten Deckungsanteile von einer mittleren Systemauslegung ausgegangen.

Figur 46 Mit Wandheizung abdeckbarer Leistungsanteil (Aktivierung der gesamten Zwischenwand)



Figur 47 Mit Deckenheizung abdeckbarer Leistungsanteil (Aktivierung der gesamten Decke)



10 Anhang

10.1 Literaturverzeichnis

[1] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, SIA 384.201: Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast, 2003, Zürich

[2] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, SIA 384/1: Heizungsanlagen in Gebäuden - Grundlagen und Anforderungen, 2009, Zürich

[3] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, SIA 382/1: Lüftungs- und Klimaanlagen – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen, 2007, Zürich

[4] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, SIA 380/1: Thermische Energie im Hochbau, 2009, Zürich

[5] P. Benz-Karlström, et. al., Hocheffiziente Kühlsysteme für Gebäudesanierungen, P. Benz-Karlström, Basler & Hofmann AG im Auftrag des BFE, 2010, Bern

[6] Zehnder, Zehnder Como Decken-Kühl- und Heizsystem Planungsunterlage, 2006, Lahr

[7] AFC, Komfortuntersuchungen an Schulbauten mit hohem Glasanteil, 2004, Zürich

[8] B. Glück, Thermische Bauteilaktivierung, 1999, Jössnitz

[9] B. Glück, Umweltschonende Raumheizung und -kühlung mit Kunststoff-Kapillarrohrmatten, 2003, Jössnitz

[10] A. Huber, Wärmepumpen ohne Speicher mit tiefen Vorlauftemperaturen, Energie-Praxis Seminar 2005

[11] T. Afiej, et. al., Kostengünstige Niedrigtemperaturheizung mit Wärmepumpe, 1996, Bern

[12] Objektdokumentation VHKA, Wohnsiedlung Paradies, Basler & Hofmann AG im Auftrag der Liegenschaftenverwaltung der Stadt Zürich, 1995, Zürich

10.2 Faktenblätter

10.2.1 Gliederheizkörper

Charakteristik

Folgende Vor- und Nachteile sind für Gliederheizkörper von Bedeutung:

Tabelle 8 Vor-/Nachteile, Gliederheizkörper

Vorteile	Nachteile
Grosse Variation erhältlicher Einbaumasse	Höhere Trägheit als Flachheizkörper
Tolerant bezüglich der Einbausituation	Wärmeabgabeleistung durch Einbaugrösse beschränkt
Typen mit grossen Bautiefen erhältlich (6-Reiher)	

Kennwerte

Folgende Kennwerte wurden Gliederheizkörper ermittelt:

Tabelle 9 Kennwerte Gliederheizkörper bei verschiedenen Systemtemperaturen

Kennwert ; VL/RL/RT	50/40/20	45/35/20	40/32/20	35/29/20	30/26/20
Leistung pro Laufmeter [W/m]	1100 (210 - 2900)	800 (160 - 2100)	600 (120 - 1600)	400 (90 - 1100)	200 (50 - 600)
Leistung pro m^2 Ansichtsfläche [W/m^2]	1100 (600 - 1800)	800 (400 - 1400)	600 (300 - 1000)	400 (200 - 700)	300 (100 - 400)
Kosten in Fr. pro Watt Abgabeleistung *)	1.3 (0.9 - 2.4)	1.7 (1.3 - 3.2)	2.3 (1.7 - 4.3)	3.3 (2.5 - 6.1)	5.5 (4.1 - 10.1)
*) Kosten ohne Installation (Listenpreise), exkl. MWSt.					

10.2.2 Flachheizkörper

Charakteristik

Folgende Vor- und Nachteile sind für Flachheizkörper von Bedeutung:

Tabelle 10 Vor-/Nachteile, Flachheizkörper

Vorteile	Nachteile
Grosse Variation erhältlicher Einbaumasse	Empfindlicher bezüglich Minimaldistanzen
Schnellere Reaktion als Gliederheizkörper	Höhere Verschmutzungsgefahr bei Typen mit Lamellen
Bei gleichem Bauvolumen leicht höhere Wärmeabgabeleistung als Gliederheizkörper möglich	Höhere Verschmutzungsgefahr bei leistungsstarken Typen mit Lamellen (v.A. konvektive Wärmeabgabe)
	Wärmeabgabeleistung durch Einbaugrösse beschränkt

Kennwerte

Folgende Kennwerte wurden Flachheizkörper ermittelt:

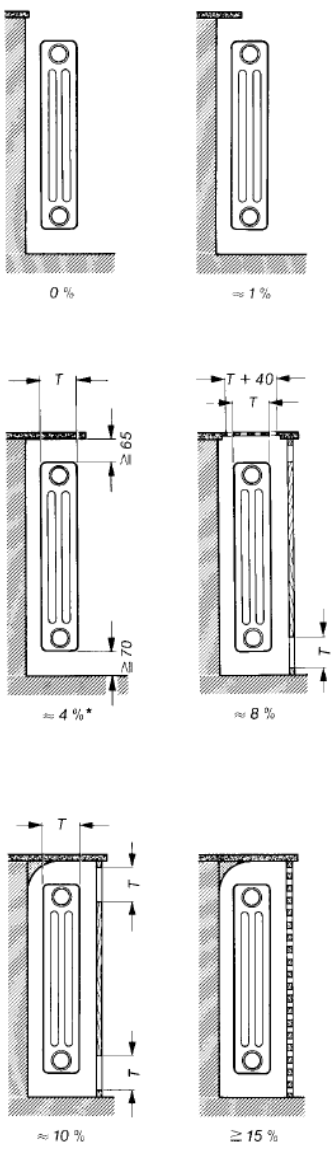
Tabelle 11 Kennwerte Flachheizkörper bei verschiedenen Systemtemperaturen

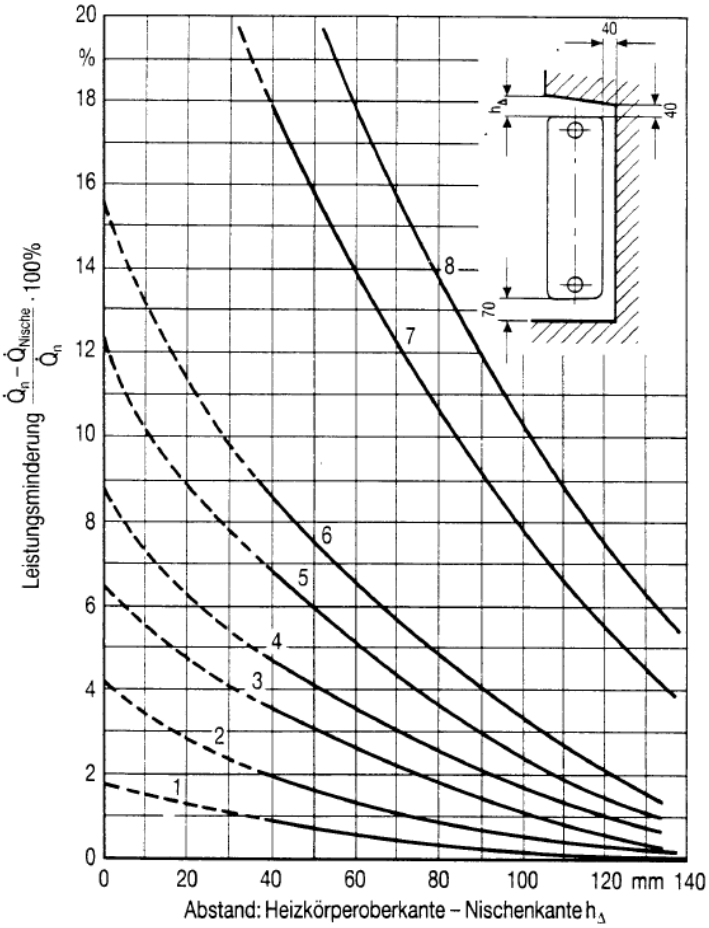
Kennwert ; VL/RL/RT	50/40/20	45/35/20	40/32/20	35/29/20	30/26/20
Leistung pro Laufmeter [W/m]	600 (140 - 1700)	500 (100 - 1200)	300 (80 - 900)	200 (50 - 600)	100 (30 - 400)
Leistung pro m^2 Ansichtsfläche [W/m^2]	900 (400 - 1900)	600 (300 - 1400)	500 (200 - 1000)	300 (100 - 700)	200 (100 - 400)
Kosten in Fr. pro Watt Abgabeleistung *)	1.1 (0.6 - 2.2)	1.4 (0.8 - 3)	1.9 (1.1 - 3.9)	2.8 (1.6 - 5.6)	4.7 (2.8 - 9.4)
*) Kosten ohne Installation (Listenpreise), exkl. MWSt.					

Wichtige Einflussfaktoren

Beim Einbau sind diverse Einschränkungen zu beachten, welche zu einer Leistungsreduktion führen können (gilt in deutlich geringerem Mass auch für Gliederheizkörper):

Figur 48 Leistungsminderung durch Einbausituation (v.A. beim Einbau in Nischen)





1 Röhrenradiator/Schmalsäuler (Gliederheizkörper mit Bauhöhe 975 mm, Bautiefe 75 mm)
2 Gußradiator/Stahlradiator nach DIN 4703 Teil 1
3 Plattenheizkörper 1.0/geschlossener Gliederheizkörper
4 Plattenheizkörper 1.1
5 Plattenheizkörper 2.0
6 Plattenheizkörper 3.0
7 Plattenheizkörper 2.2
8 Plattenheizkörper 3.3

Die Bezeichnungen für die Plattenheizkörper bedeuten:

1. Ziffer: Anzahl der Heizplatten
2. Ziffer: Anzahl der Konvektorblechreihen

10.2.3 Konvektoren (mit natürlicher Konvektion)

Charakteristik

Folgende Vor- und Nachteile sind für Konvektoren mit natürlicher Konvektion von Bedeutung:

Tabelle 12 Vor-/Nachteile, Konvektoren mit natürlicher Konvektion

Vorteile	Nachteile
Bei raumhohen Festverglasungen gut einsetzbar	Wärmeabgabe überwiegend durch Konvektion
Verhindert Kaltluftabfall an raumhohen Fenstern	Geringere Leistungsabgabe pro Laufmeter
Gute Abgabeleistung bei geringen Bauhöhen	Verschmutzungsgefahr
Schnelle Reaktion	Erhöhter Mindestwasserstrom nötig (30% von qms)
	Empfindlich gegenüber verhinderter Luftzirkulation

Kennwerte

Folgende Kennwerte wurden für Konvektoren mit natürlicher Konvektion ermittelt:

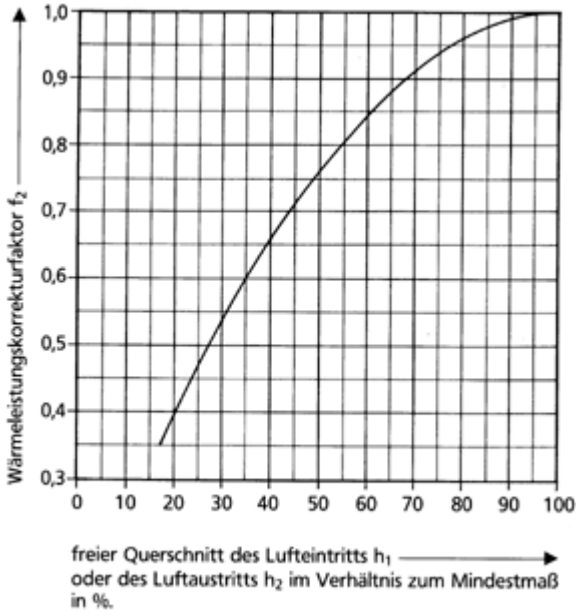
Tabelle 13 Kennwerte für Konvektoren mit natürlicher Konvektion bei verschiedenen Systemtemperaturen

Kennwert ; VL/RL/RT	50/40/20	45/35/20	40/32/20	35/29/20	30/26/20
Leistung pro Laufmeter [W/m]	500 (90 - 1000)	300 (70 - 700)	300 (50 - 500)	200 (40 - 400)	100 (20 - 200)
Leistung pro m^2 Ansichtsfläche [W/m^2]	3000 (900 - 7000)	2200 (600 - 5300)	1600 (500 - 4000)	1100 (300 - 2800)	700 (200 - 1700)
Kosten in Fr. pro Watt Abgabeleistung *)	1.3 (0.9 - 2.3)	1.8 (1.3 - 3.1)	2.4 (1.7 - 4.1)	3.6 (2.3 - 5.8)	6.1 (3.8 - 9.5)
*) Kosten ohne Installation (Listenpreise), exkl. MWSt.					

Wichtige Einflussfaktoren

Beim Einbau ist zu beachten, dass eine Reduktion des freien Anströmquerschnittes zu einer deutlichen Leistungsreduktion führen kann:

Figur 49 Leistungsminderung durch eingeschränkten Anströmquerschnitt (Quelle: IKZ-HAUSTECHNIK, 1996)



10.2.4 Aktive Heizkörper (mit erzwungener Konvektion)

Charakteristik

Folgende Vor- und Nachteile sind für aktive Heizkörper mit erzwungener Konvektion von Bedeutung:

Tabelle 14 Vor-/Nachteile, aktive Heizkörper mit erzwungener Konvektion

Vorteile	Nachteile
Einbaumasse vergleichbar wie übliche Heizkörper	Wärmeabgabe mehrheitlich durch Konvektion
Schnelle Reaktion	Verschmutzungsgefahr
Stark erhöhte Leistungsabgabe ggü. passivem System	Teurer im Einbau (Elektroanschluss)
Leistungsabgabe gut individuell regelbar	Stromverbrauch durch Ventilator
Je nach System auch Kühlbetrieb möglich	

Weitere Bauarten:

- Als Brüstungselement: Mit zusätzlichen interagierbaren Funktionen wie z.B. Kabelkanal für Stark- / Schwachstrom, Lüftungskanal für Raumlüftung oder eine Brüstungsdämmung.
- Mit Lüftungsgerät: Mit zusätzlicher Funktion als Lüftungsgerät mit WRG für Situationen, wo ein Einzelraumlüftungsgerät vorgesehen ist.

Kennwerte

Folgende Kennwerte wurden für aktive Heizkörper mit erzwungener Konvektion ermittelt:

Tabelle 15 Kennwerte für aktive Heizkörper mit erzwungener Konvektion bei verschiedenen Systemtemperaturen

Kennwert ; VL/RL/RT	50/40/20	45/35/20	40/32/20	35/29/20	30/26/20
Leistung pro Laufmeter [W/m]	900 (540 - 2500)	700 (420 - 1900)	600 (340 - 1600)	400 (250 - 1200)	300 (170 - 800)
Leistung pro m^2 Ansichtsfläche [W/m^2]	1600 (800 - 4400)	1300 (600 - 3500)	1100 (500 - 2800)	800 (400 - 2100)	500 (200 - 1400)
Kosten in Fr. pro Watt Abgabeleistung *)	1.2 (0.5 - 1.6)	1.4 (0.7 - 2.1)	1.8 (0.8 - 2.6)	2.4 (1.1 - 3.5)	3.6 (1.7 - 5.3)
el. Leistungsbedarf [% der Abgabeleistung]	1.1% (0.2 - 2.3%)	1.4% (0.2 - 2.9%)	1.8% (0.3 - 3.5%)	2.3% (0.4 - 4.7%)	3.5% (0.6 - 6.9%)
*) Kosten ohne Installation (Listenpreise), exkl. Elektroanschluss, exkl. MWSt.					

10.2.5 Bodenkonvektoren (passiv)

Charakteristik

Folgende Vor- und Nachteile sind für Bodenkonvektoren mit natürlicher Konvektion von Bedeutung:

Tabelle 16 Vor-/Nachteile, Bodenkonvektoren mit natürlicher Konvektion

Vorteile	Nachteile
Bei raumhohen Balkonfenstern gut einsetzbar	Bodenvertiefung muss realisierbar sein
Verhindert Kaltluftabfall an raumhohen Fenstern	Geringe Leistungsabgabe pro Laufmeter
Schnelle Reaktion	Verschmutzungsgefahr
	Wärmeabgabe überwiegend durch Konvektion
	Teuer im Einbau (bauliche Kosten)
	Erhöhter Mindestwasserstrom nötig (30% von qms)

Kennwerte

Folgende Kennwerte wurden für Bodenkonvektoren mit natürlicher Konvektion ermittelt:

Tabelle 17 Kennwerte für Bodenkonvektoren mit natürlicher Konvektion bei verschiedenen Systemtemperaturen

Kennwert ; VL/RL/RT	50/40/20	45/35/20	40/32/20	35/29/20	30/26/20
Leistung pro Laufmeter [W/m]	80 (150 - 110)	60 (110 - 90)	50 (80 - 70)	30 (60 - 50)	20 (40 - 30)
Leistung pro m^2 Ansichtsfläche [W/m^2]	500 (400 - 600)	400 (300 - 500)	300 (200 - 400)	200 (200 - 200)	100 (100 - 100)
Kosten in Fr. pro Watt Abgabeleistung *)	4 (3 - 5.3)	5.4 (4 - 7.1)	7.2 (5.4 - 9.5)	10.4 (7.8 - 13.8)	17.5 (13.1 - 23.3)
*) Kosten ohne Installation (Listenpreise), exkl. bauliche Anpassungen, exkl. MWSt.					

10.2.6 Aktive Bodenkonvektoren (mit erzwungener Konvektion)

Charakteristik

Folgende Vor- und Nachteile sind für aktive Bodenkonvektoren mit erzwungener Konvektion von Bedeutung:

Tabelle 18 Vor-/Nachteile, aktive Bodenkonvektoren mit erzwungener Konvektion

Vorteile	Nachteile
Bei raumhohen Balkonfenstern gut einsetzbar	Bodenvertiefung muss realisierbar sein
Verhindert Kaltluftabfall an raumhohen Fenstern	Verschmutzungsgefahr
Schnelle Reaktion	Wärmeabgabe überwiegend durch Konvektion
Stark erhöhte Leistungsabgabe ggü. passivem System	Teuer im Einbau (bauliche Kosten, Elektroanschluss)
Leistungsabgabe gut individuell regelbar	Stromverbrauch durch Ventilator
Je nach System auch Kühlbetrieb möglich	

Kennwerte

Folgende Kennwerte wurden für aktive Bodenkonvektoren mit erzwungener Konvektion ermittelt:

Tabelle 19 Kennwerte für aktive Bodenkonvektoren bei verschiedenen Systemtemperaturen

Kennwert ; VL/RL/RT	50/40/20	45/35/20	40/32/20	35/29/20	30/26/20
Leistung pro Laufmeter [W/m]	600 (390 - 900)	500 (310 - 700)	400 (240 - 500)	300 (180 - 400)	200 (110 - 300)
Leistung pro m^2 Ansichtsfläche [W/m^2]	1800 (1400 - 2200)	1400 (1100 - 1700)	1100 (900 - 1300)	800 (700 - 1000)	500 (400 - 600)
Kosten in Fr. pro Watt Abgabeleistung *)	1.7 (0.9 - 2.4)	2.2 (1.2 - 3.1)	2.8 (1.5 - 3.9)	3.8 (2.1 - 5.3)	5.9 (3.2 - 8.3)
el. Leistungsbedarf [% der Abgabeleistung]	1.8% (1.2 - 1.8%)	2.2% (1.5 - 2.3%)	2.8% (1.9 - 3%)	3.9% (2.6 - 4.1%)	6% (4 - 6.3%)
*) Kosten ohne Installation (Listenpreise), exkl. bauliche Anpassungen, exkl. Elektroanschluss, exkl. MWSt.					

10.2.7 Fussbodenheizungen

Charakteristik

Folgende Vor- und Nachteile sind für Fussbodenheizungen von Bedeutung:

Tabelle 20 Vor-/Nachteile, Fussbodenheizungen

Vorteile	Nachteile
Strahlungswärme	Nachträglich nicht mehr zugänglich
Kaum Einschränkungen durch Raumnutzung	Je nach Aufbau erhöhte Trägheit (v.A. Nasssysteme)
Neben Heizbetrieb auch leichter Kühlbetrieb möglich	Je nach System erhöhte Aufbauhöhen
	Erhöhte Druckverluste im Vergleich zu Heizkörper
	Leistungsabgabe stark vom Bodenbelag abhängig

Kennwerte

Folgende Kennwerte wurden für Fussbodenheizungen ermittelt:

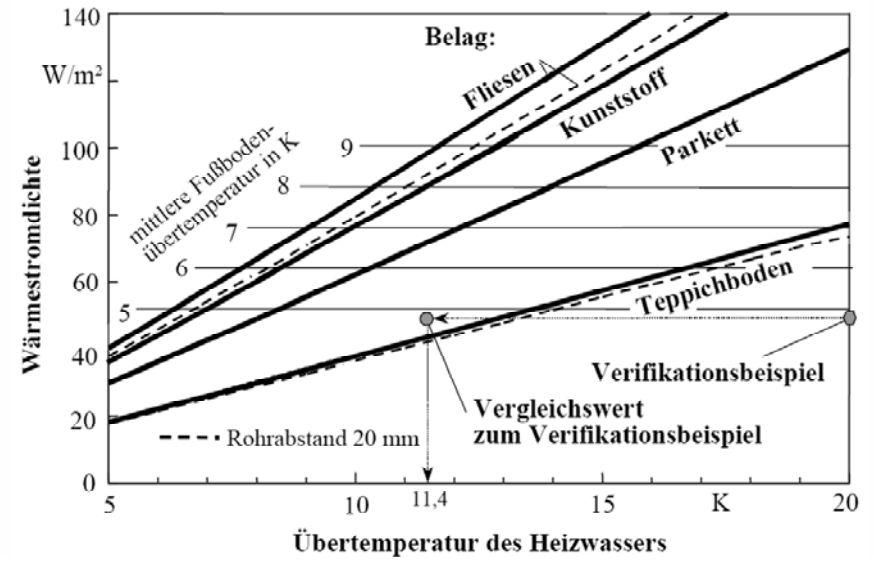
Tabelle 21 Kennwerte für Fussbodenheizungen bei verschiedenen Systemtemperaturen

Kennwert ; VL/RL/RT	50/40/20	45/35/20	40/32/20	35/29/20	30/26/20
Leistung pro m^2 aktive Fläche [W/m^2]	80 (60 - 100)	60 (50 - 80)	50 (40 - 60)	40 (30 - 50)	30 (20 - 30)
Kosten in Fr. pro Watt Abgabeleistung *)	1.5 (1.4 - 1.7)	1.9 (1.7 - 2.1)	2.3 (2.1 - 2.5)	2.9 (2.6 - 3.3)	4.3 (3.9 - 4.8)
*) Kosten inkl. Verteiler und Montage, exkl. Bauliches (übriger Bodenaufbau), exkl. MWSt.					

Wichtige Einflussfaktoren

Bei Fussbodenheizungen hat die Art des Bodenbelages einen grossen Einfluss auf die realisierbare Abgabeleistung:

Figur 50 Einfluss auf Abgabeleistung durch Bodenbelag (Quelle: B. Glück Thermische Bauteilaktivierung, 1999)



10.2.8 Kapillarrohr Heiz-/ Kühlflächen

Charakteristik

Folgende Vor- und Nachteile sind für Kapillarrohr Heiz-/ Kühlflächen von Bedeutung:

Tabelle 22 Vor-/Nachteile, Kapillarrohr Heiz-/ Kühlflächen

Vorteile	Nachteile
Strahlungswärme	Nachträglich nicht mehr zugänglich
Geringere Trägheit als übliche Fussbodenheizung	Bei Deckensystemen krit. bez. Strahlungsasymmetrie
Hohe Leistungen und geringe Temperaturwelligkeit	Höhere Druckverluste als Heizkörper
Geringe Bautiefen möglich	
Geringere Druckverluste als übliche Fussbodenheizung	
Grundsätzlich Heiz- und Kühlbetrieb möglich	

Kapillarrohr Heiz-/ Kühlflächen sind sowohl als Wand-, Boden- oder Deckensysteme erhältlich.

Kennwerte

Folgende Kennwerte wurden für Kapillarrohr Heiz-/ Kühlflächen ermittelt:

Tabelle 23 Kennwerte für Kapillarrohr Heiz-/ Kühlflächen bei verschiedenen Systemtemperaturen

Kennwert ; VL/RL/RT	50/40/20	45/35/20	40/32/20	35/29/20	30/26/20
Leistung pro m^2 aktive Fläche [W/m^2]	200 (170 - 240)	160 (130 - 190)	120 (110 - 140)	90 (80 - 100)	60 (50 - 60)
Kosten in Fr. pro Watt Abgabeleistung *)	1.5 (1.3 - 1.7)	1.9 (1.7 - 2.2)	2.4 (2.1 - 2.7)	3.3 (3 - 3.6)	5.1 (4.7 - 5.4)
*) Kosten inkl. Montage, exkl. Bauliches (exkl. Deckenplatten etc.), exkl. MWSt.					

Wichtige Einflussfaktoren

Mit Kapillarrohr-Flächenheizungen sind deutlich höhere Wärmeabgabeleistungen realisierbar als mit konventionellen Rohrregistern:

Figur 51 Vergleich Kapillarrohrmatte und konv. Rohrregister (Quelle: B. Glück Thermische Bauteilaktivierung, 1999)

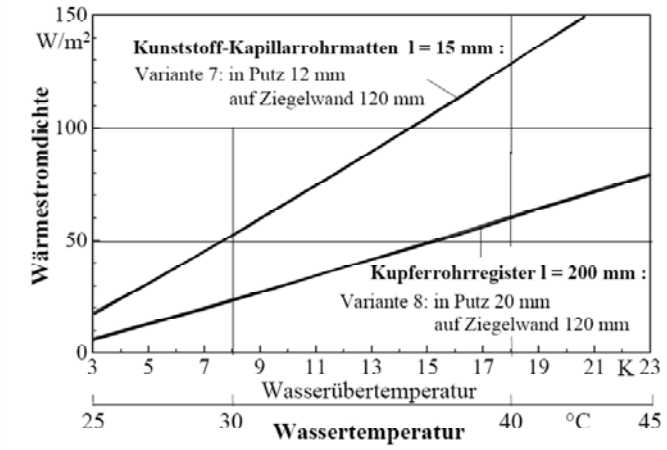


Bild 14.6 Berechnete Wärmeleistungen für Wandheizungen mit Kapillarrohrmatten und Kupferrohrregister integriert in einen Gipsputz auf einer Halbstein-Ziegelwand (Bauart II)

10.2.9 Metall bzw. Gips Heiz-/ Kühldecken

Charakteristik

Folgende Vor- und Nachteile sind für Metall bzw. Gips Heiz-/ Kühldecken von Bedeutung:

Tabelle 24 Vor-/Nachteile, Metall bzw. Gips Heiz-/ Kühldecken

Vorteile	Nachteile
Strahlungswärme	Je nach Verschaltung hohe Druckverluste
Geringere Trägheit als übliche Fussbodenheizung	Deckenoptik wird je nach System stark verändert
Hohe Leistungsabgabe möglich	Genügend Deckenhöhe notwendig
Schallabsorbierende Ausbildung möglich	Bei Deckensystemen krit. bez. Strahlungsasymmetrie
Grundsätzlich Heiz- und Kühlbetrieb möglich	

Kennwerte

Folgende Kennwerte wurden für Metall bzw. Gips Heiz-/ Kühldecken ermittelt:

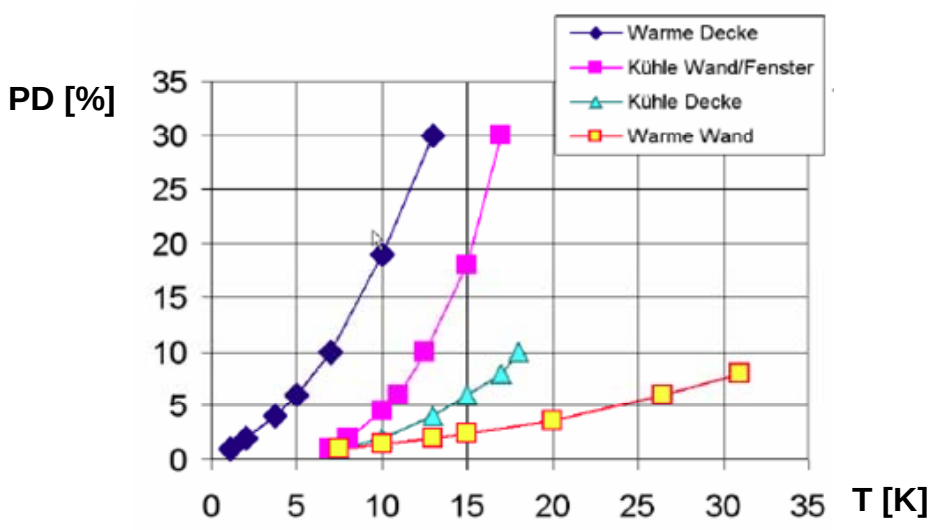
Tabelle 25 Kennwerte für Metall bzw. Gips Heiz-/ Kühldecken bei verschiedenen Systemtemperaturen

Kennwert ; VL/RL/RT	50/40/20	45/35/20	40/32/20	35/29/20	30/26/20
Leistung pro m2 aktive Fläche [W/m2]	240 (190 - 290)	180 (150 - 220)	140 (120 - 170)	110 (90 - 120)	70 (60 - 80)
Kosten in Fr. pro Watt Abgabeleistung *)	1.7 (1 - 2.9)	2.2 (1.3 - 3.6)	2.8 (1.7 - 4.5)	3.8 (2.3 - 6)	5.8 (3.7 - 9)
*) Kosten inkl. Montage, exkl. Bauliches (exkl. Deckenplatten etc.), exkl. MWSt.					

Wichtige Einflussfaktoren

Bei Deckenheizungen sind die Strahlungsverhältnisse ungünstiger als bei Wand- oder Bodenheizungen. Daher ist die Begrenzung der Strahlungsasymmetrie bei diesen Systemen wichtig für die Einhaltung der Komfortbedingungen:

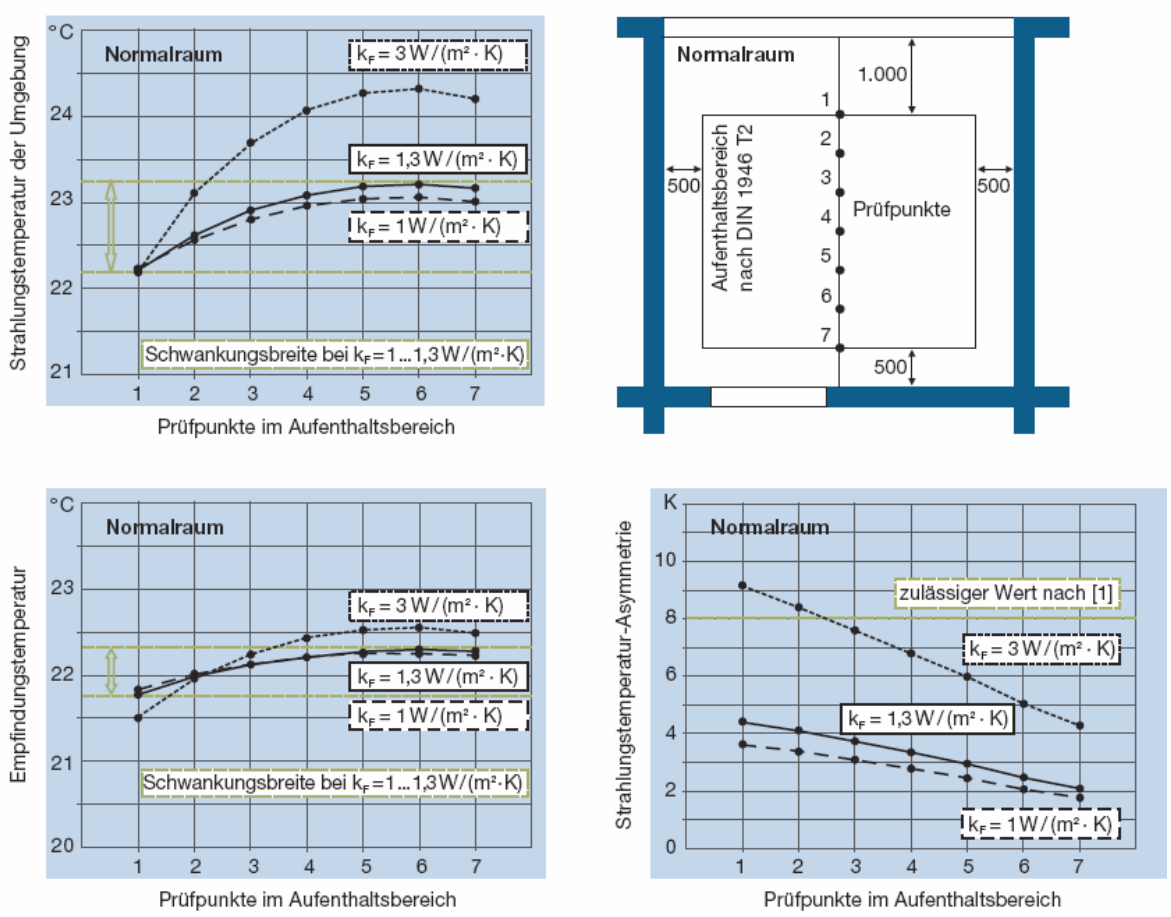
Figur 52 Bei Deckenheizungen ist die Begrenzung der Strahlungsasymmetrie aus Komfortgründen wichtig.
Quelle: AFC, Komfortuntersuchungen an Schulbauten mit hohem Glasanteil (2004)



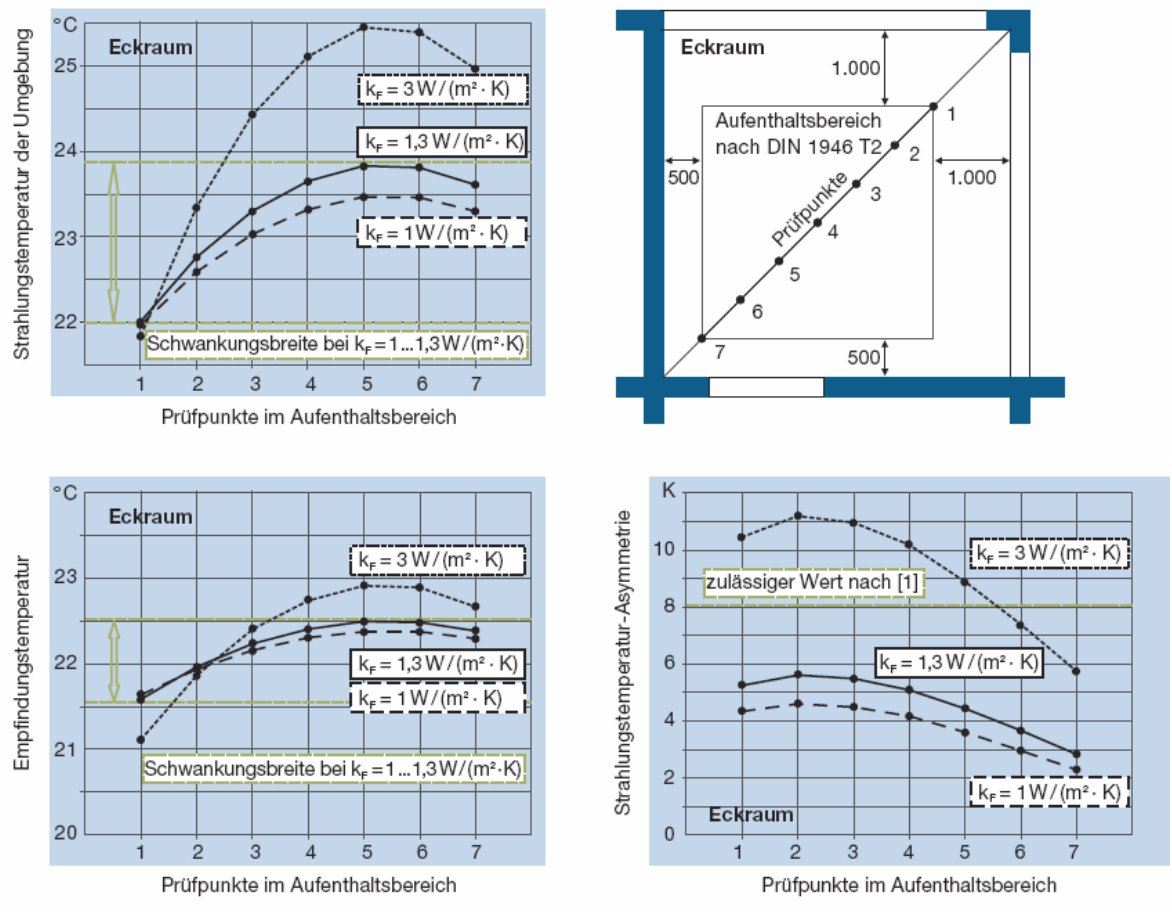
10.3 Analyse der zulässigen Strahlungsasymmetrie bei Deckenheizungen

Detailergebnisse aus der Planungsunterlage Zehnder Como Decken- Kühl- und -Heizsystem:

Figur 53 Analyse der zulässigen Strahlungsasymmetrie, Detailergebnisse für Normalraum;
Quelle: Planungsunterlage Zehnder Como Decken- Kühl- und -Heizsystem



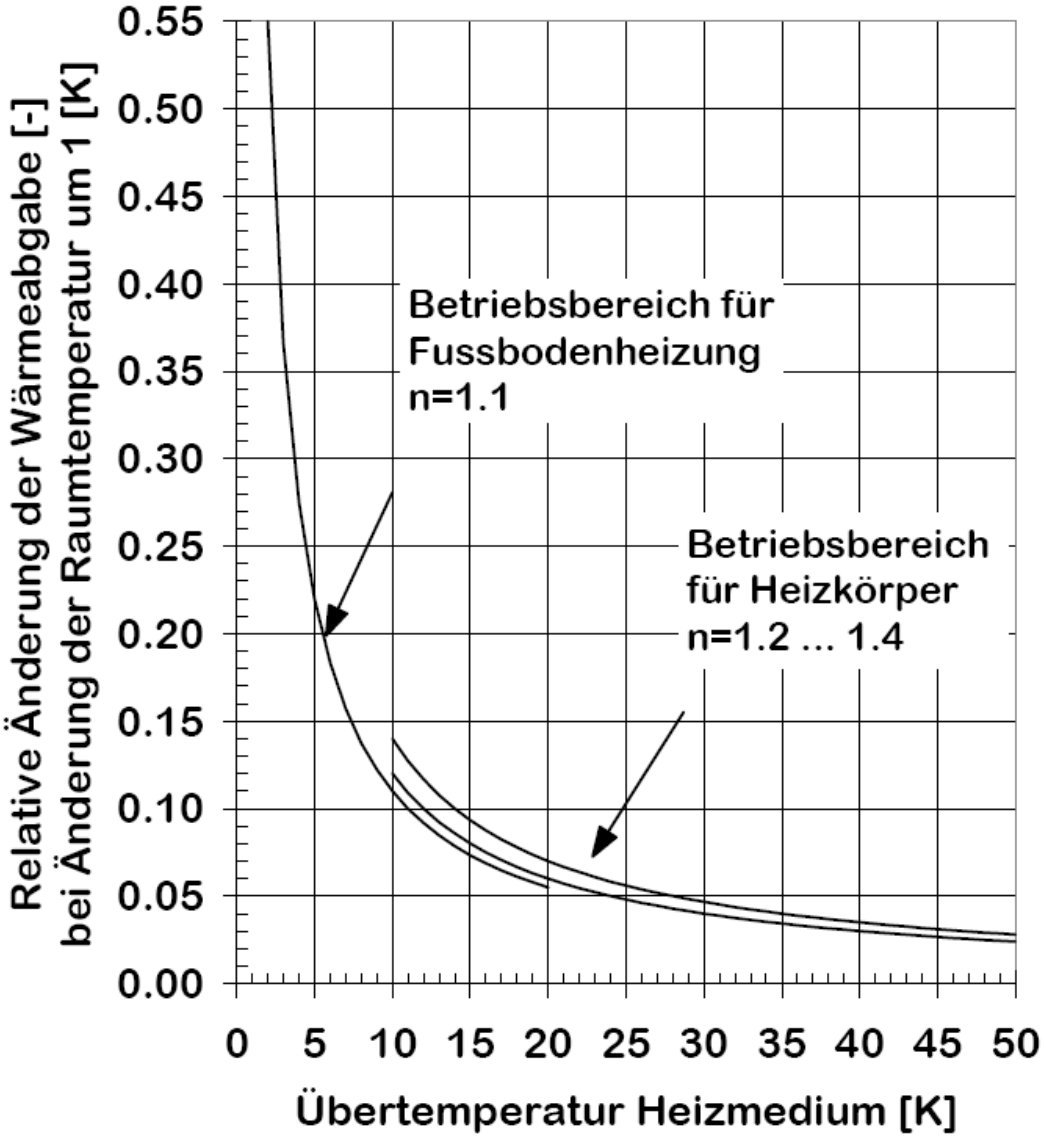
Figur 54 Analyse der zulässigen Strahlungsasymmetrie, Detailergebnisse für Eckraum;
Quelle: Planungsunterlage Zehnder Como Decken- Kühl- und -Heizsystem



10.4 Selbstregeleffekt von Wärmeabgabesystemen

Selbstregeleffekt von Wärmeabgabesystemen bei Übertemperaturveränderung von 1 K gemäss Afiej (1996).

Figur 55 Selbstregeleffekt von Wärmeabgabesystemen;
Quelle: Afiej (1996), Kostengünstige Niedrigtemperaturheizung mit Wärmepumpe



10.5 Hersteller nach Systemtyp (Zusammenstellung)

Diese Zusammenstellung erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit, sondern ist eine Auswahl an im Projekt konsultierten Herstellerunterlagen.

10.5.1 Heizkörper

Kermi GmbH (www.kermi.de)

Prolux (www.prolux-ag.ch)

Purmo DiaNorm Wärme AG (www.purmo.de)

Zehnder AG (www.zehnder-heizkoerper.ch)

Arbonia AG (www.arbonia.ch)

Korado (www.korado.de)

Vogel&Noot (www.vogelundnoot.com)

Kampmann (www.kampmann.de)

Runtal (www.runtal.ch)

10.5.2 Aktive Systeme (Konvektoren)

Kampmann, PowerKon NT (www.kampmann.de)

Jaga GmbH, DBE Wärmepumpenheizkörper (www.jaga.de)

STIEBEL ELTRON, Austauschkonvektor AUK (www.stiebel-eltron.de)

Erich Keller, Riotherm (www.erichkeller.com)

eds GmbH, ecofresh XL, Omnia HL C-CM (www.ecomulti.de)

10.5.3 Kapillarrohrsysteme

BeKa Heiz- und Kühlmatten GmbH (www.beka-klima.de)

Tobler System AG, Stramax (www.haustechnik.ch)

Clina Heiz- und Kühlelemente GmbH (www.clina.de)

10.5.4 Wandheizung

Variotherm Heizsysteme AG (www.variotherm.at)

Hafnertec Bicker GmbH (www.hafnertec.com)

Multibeton GmbH Deutschland (www.multibeton.de)

Purmo DiaNorm Wärme AG (www.purmo.de)

Zewotherm GmbH (www.zewotherm.de)

Roth Werke GmbH (www.roth-werke.de)

KME Germany AG, Hypoplan (www.kme.com)

Aquatherm-climasystem (www.aquatherm.de)

Kermi GmbH (www.kermi.de)

Uponor (www.uponor.de)

WEM Wandheizung GmbH (www.wandheizung.de)

10.5.5 Fussbodenheizung

Hafnertec Bicker GmbH (www.hafnertec.com)

Purmo DiaNorm Wärme AG (www.purmo.de)

Zewotherm GmbH (www.zewotherm.de)

Aquatherm-climasystem (www.aquatherm.de)

JK Fußbodenheizung GmbH (www.JK-de.com)

Rotex Heating Systems GmbH (www.rotex.de)

Roth Werke GmbH (www.roth-werke.de)

Viega GmbH & Co. KG (www.viega.de)

KME Germany AG, Cuprotherm (www.kme.com)

Kermi GmbH (www.kermi.de)

Pipelife Austria GmbH & Co KG (www.pipelife.at)

Variotherm Heizsysteme AG (www.variotherm.at)

Multibeton GmbH Deutschland (www.multibeton.de)

Uponor (www.uponor.de)

10.5.6 Deckenheizung

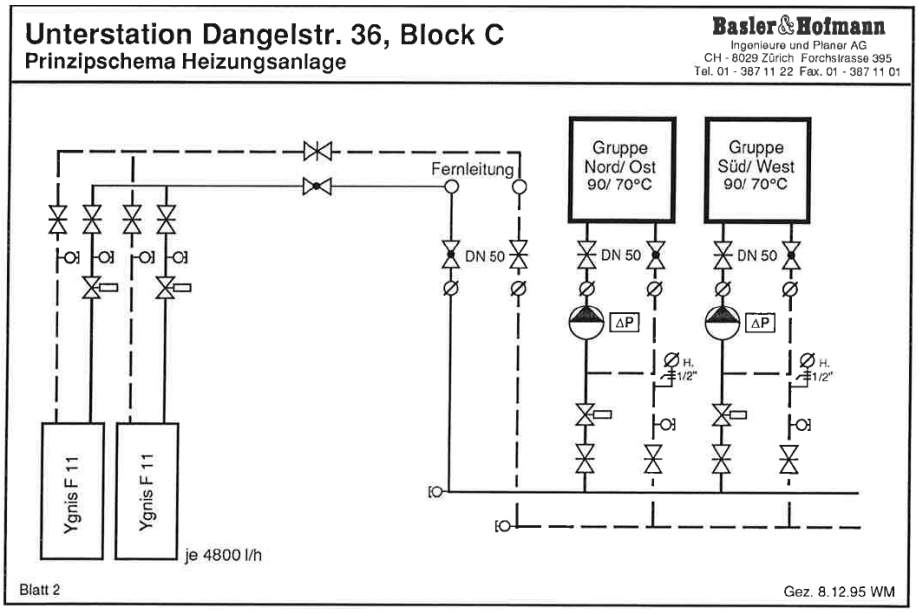
Aquatherm-climasystem (www.aquatherm.de)

Lindner AG (www.lindner-group.com)

Zehnder AG (www.zehnder-heizkoerper.ch)

Uponor (www.uponor.de)

WEM Wandheizung GmbH (www.wandheizung.de)

10.6 Prinzipschema Ist-Zustand Heizungsversorgung Wohnsiedlung Paradies

Figur 56 Prinzipschema Istzustand Heizungsversorgung Wohnsiedlung Paradies, Haus C;
Quelle: Objektdokumentation VHKA, Wohnsiedlung Paradies (1995)