

Die Zweiflächen-Bauteilaktivierung (Teil 2)

Neue Wege für die Büroklimatisierung

Im zweiten Teil des Beitrages wird die Büroklimatisierung noch näher betrachtet. Insbesondere für die Zweiflächen-Bauteilaktivierung in der Variante aktiv/aktiv erfolgen detaillierte Untersuchungen.

■ Prof. Dr.-Ing. habil. Bernd Glück

F+E TGA, 08547 Jöbnitz (Plauen) und
Westsächsische Hochschule Zwickau (FH)

Anstelle des trägen nicht regelbaren Passivsystems (Speicherdecke) kann unter Beibehaltung der Deckenkühlfunktion diese auch aktiv betrieben werden. Damit sind beide Wärmeübertragerflächen im Raum direkt regelbar. Die im Bild 10 dargestellte Grundidee weist nachfolgende Merkmale auf:

- Das Kühlen und Heizen erfolgt mit einem konstruktiv einfachen System, das nur durch ein Wassernetz mit einem Regelkreis pro Raum versorgt wird. Damit ist dieses System auch unter dem Gesichtspunkt der Investitionskosten interessant.
- Die Kombination kompensiert alle in Büros anfallenden thermischen Lasten bei bester Behaglichkeit.
- Es arbeitet hochdynamisch und primärenergetisch günstig mit raumnahen Temperaturen, so dass in großem Umfang Umweltenergie einsetzbar ist.

Die konstruktiven Möglichkeiten gestalten sich vielfältig. Für aktive Bodenflächen gilt weiterhin Bild 4 (siehe Teil 1 in TAB 8/2002, Seiten 57 - 64). Für Decken- und Wandflächen finden sich im Bild 11 geeignete Lösungen, wobei die besonders rationelle Trockenbauvariante (Bild 12) konstruktiv interessant ist. Sie zeigt Möglichkeiten, wie die Verteilleitungen der Kapillarrohrmatten (so genannte Stämme) in die Bauteile integriert werden können. Matten mit geraden Rohren bieten den Vorteil, dass auf jeder Mattenseite nur ein Stamm einzubauen ist, ein Vorschlag, der sich beispielsweise für Brüstungen gut eignet.

Die Leistungen der aktiven Flächensysteme sind als Übersicht im Bild 13 zusammengestellt, die selbstverständlich konstruktionsabhängig noch einer Detaillierung bedürfen. Generell sei zu

den Kühlleistungen der thermisch aktiven Flächen angemerkt:

- Die Kühlleistungen von Putzkühldecken sind stets höher als die der Putzkühlwände mit gleichem Aufbau. Dies liegt an dem besseren Wärmeübergangskoeffizienten beim Wärmestrom von unten nach oben ($\alpha \approx 10 \dots 11 \text{ W/(m}^2\text{K)}$), als beim horizontalen Wärmefluss ($\alpha \approx 8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$).
- Die Putze besitzen, wie neuere Untersuchungen bereits ansatzweise zeigten, noch ein erhebliches Entwicklungspotential. Einfluss nehmen die:
 - Putzdicke – Mit Einführung der Tapezierfolie konnten die Putzdicken drastisch reduziert werden. Während im Normalputz integrierte Kapillarrohrmatten mit einer Gesamtdicke von etwa 13 mm ausgeführt werden, erreicht man mit Folimat Gesamtdicken um 7 mm. Die Deckschichten betragen teilweise nur 2 ... 3 mm bei glatter Oberfläche und ca. 3 mm bei strukturierter Oberfläche.

- Rauheit der Putzoberfläche (Strukturierung) – Die Vergrößerung der Oberfläche erhöht den konvektiven Wärmeübergang fast linear. Der Strahlungsfluss vergrößert sich aber nur geringfügig, da durch die Rauheit eine teilweise Verschattung auftritt.
- Wärmeleitfähigkeit der Beimischungen – Bei der bisherigen Entwicklung der Putze wurde auf eine gute Wärmeleitfähigkeit kein Wert gelegt, sondern im Gegenteil zur Erreichung einer Dämmwirkung sogar besonders schlechte Wärmeleiter – wie porige Zuschläge, beispielsweise Perlit – beigemischt.
- Die Normkühlleistung von Putzdecken mit üblichem Maschinenputz MP 75 beträgt ca. 80 W/m^2 .
- Durch optimales Zusammenwirken der oben genannten Verbesserungsmöglichkeiten (Basis Folimat) ergaben erste Messungen Normkühlleistungen bis ca. 95 W/m^2 .

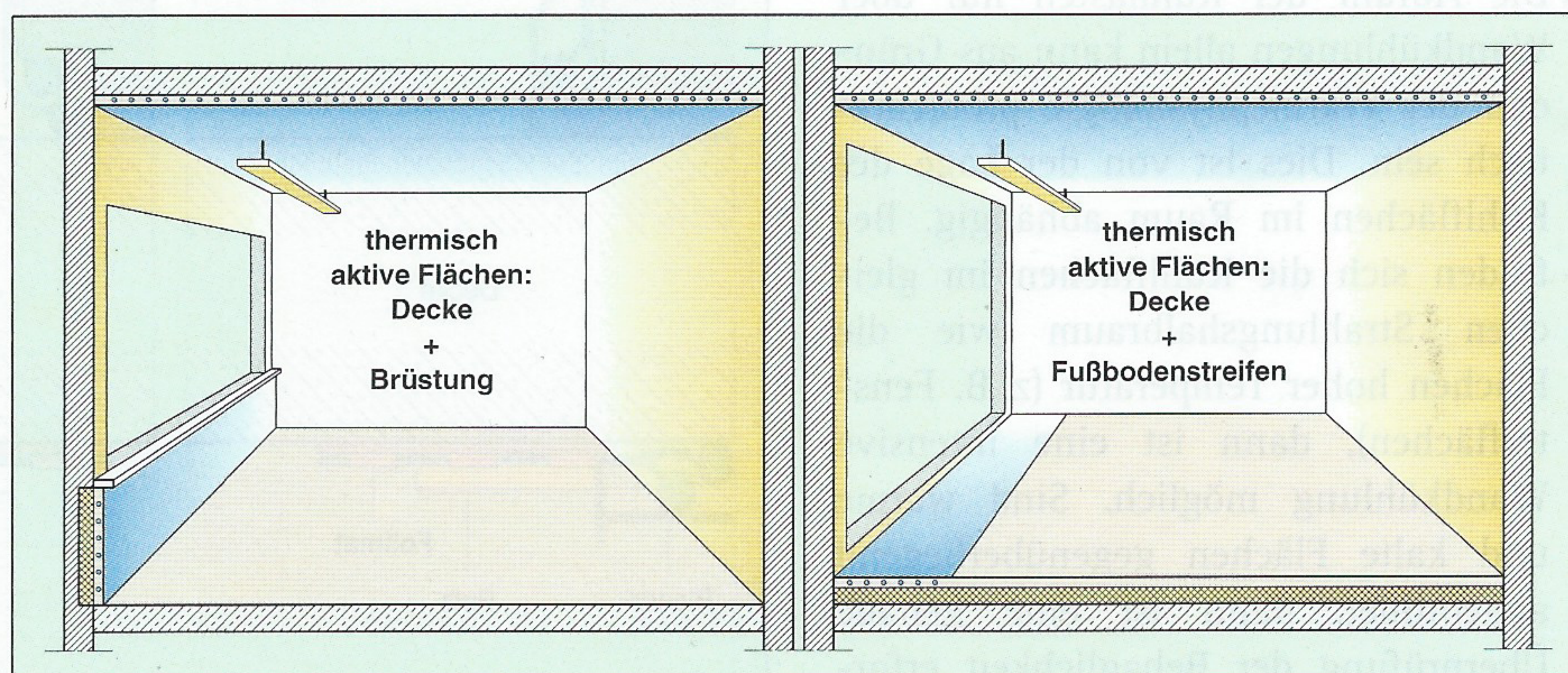


Bild 10: Vorgeschlagene Kombinationen für eine Zweiflächen-Bauteilaktivierung aktiv/aktiv. Vorzugsweise werden die Decke und die Brüstung aktiviert, bei Vollglasfassaden ersetzt ein Fußbodenstreifen die Brüstung als Aktivfläche

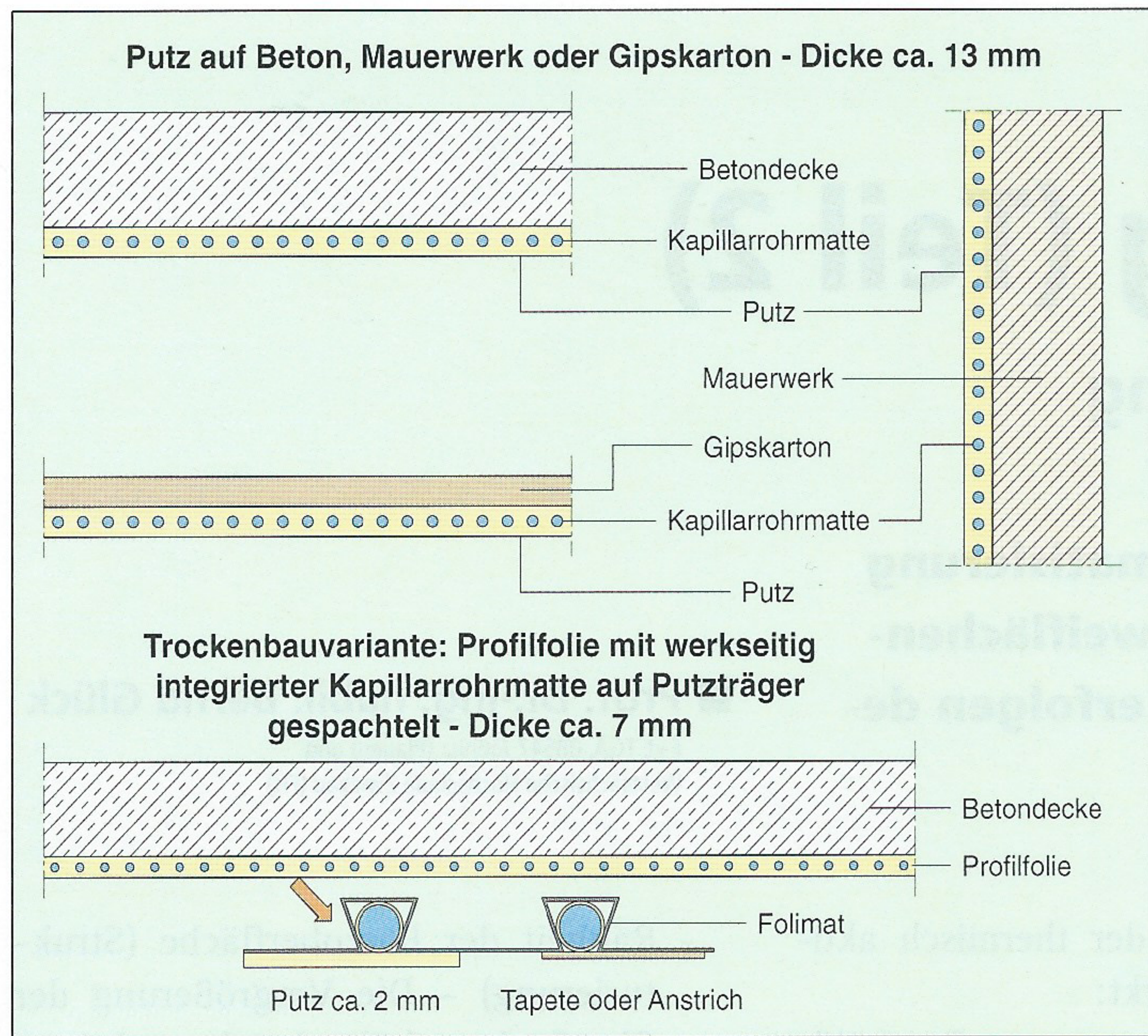


Bild 11: Varianten aktiver Decken- und Wandflächen auf beliebigen Putzträgern mit integrierten Kunststoff-Kapillarrohrmatten (Folimat Produkt der Fa. Clina, Berlin)

Verringerung der Estrichdicke (Einsatz von Folimat) und Verwendung eines Kunststoffbelages.

- Selbst bei Einsatz von Akustikputz sind Normkühlleistungen $\geq 70 \text{ W/m}^2$ erreicht worden. Hier ist selbstverständlich ein Optimum zwischen thermischer und akustischer Wirkung zu suchen.
- Generell sind hohe Leistungswerte bedeutungsvoll, nicht nur um große Kühllasten kompensieren zu können (in diesem Falle würde man die Entwicklungsanstrengungen falsch verstehen), sondern um übliche Raumkühllasten bei besonders hohen Kaltwassertemperaturen abzuführen. Dies bringt große energetische Vorteile, wie bereits eingangs festgestellt wurde.
- Aus wärmephysiologischer Sicht sind Kühldecken stets positiv zu bewerten. Die zulässige Strahlungstemperatur-Asymmetrie von 14 K wird in der Praxis nie erreicht und der vertikale Lufttemperaturgradient ϑ_k liegt in der Regel auch unter dem zulässigen Wert von 2 K/m.
- Die Abfuhr der Kühllasten nur über Wandkühlungen allein kann aus Gründen der Wärmephysiologie problematisch sein. Dies ist von der Lage der Kühlflächen im Raum abhängig. Befinden sich die Kühlflächen im gleichen Strahlungshalbraum wie die Flächen hoher Temperatur (z. B. Fensterflächen), dann ist eine intensive Wandkühlung möglich. Sind warme und kalte Flächen gegenüberliegend angeordnet, dann ist eine genaue Überprüfung der Behaglichkeit erforderlich. Bei niedrig temperierten Oberflächen muss auch der Kaltluftabfall beachtet werden.

- Kombinationen von Kühldecken und Wandkühlflächen ermöglichen besonders hohe Wassertemperaturen und ergeben positive wärmephysiologische Effekte.
- Die Kühlleistungen von Fußböden werden sehr stark vom konstruktiven Aufbau (Estrichdicke, Rohrabstand usw.) sowie vom Belag beeinflusst. Die hier zugrunde gelegten Daten sind als Normalwerte für die neuartigen Konstruktionen zu betrachten.
- Das Entwicklungspotential liegt in der

- Besonders hervorzuheben ist die hohe Leistungsdynamik. Untersuchungen zum Aufheizverhalten in [3] und zwischenzeitlich durchgeführte Messungen ergaben, dass 90 % der stationären Endleistung innerhalb von 30 ... 60 min erreichbar sind.
- Das Nutzen von hohen Kühlleistungen ist bei Fußböden aus wärmephysiologischen Gründen begrenzt. Die maximale Kühlleistung des Fußbodens ergibt sich für einen vertikalen Lufttemperaturgradienten von 2 K/m nach [4] bei bodennaher Lasteinbringung zu ca. 35 W/m^2 sowie bei Lasteinbringung in Sitzhöhe zu ca. 20 W/m^2 . Im Sonderfall der direkten Besonnung des Fußbodens – z. B. hinter Glasfassaden – können sehr große Kühlleistungen realisiert werden, was aber in üblichen Räumen bedeutungslos ist.
- Energetisch sehr vorteilhaft zu bewerten sind die hohen Kaltwassertemperaturen. Um eine Leistung von 20 W/m^2 zu realisieren, sind nur etwa 6 K Unter-temperatur erforderlich.
- Bei Kombinationen mit anderen thermisch aktiven Flächen muss eine Abstimmung (Kaltwassertemperatur, Leistung, wärmephysiologische Grenzwerte) erfolgen, die meistens keiner weiteren Leistungssteigerung des Bodensystems bedarf.

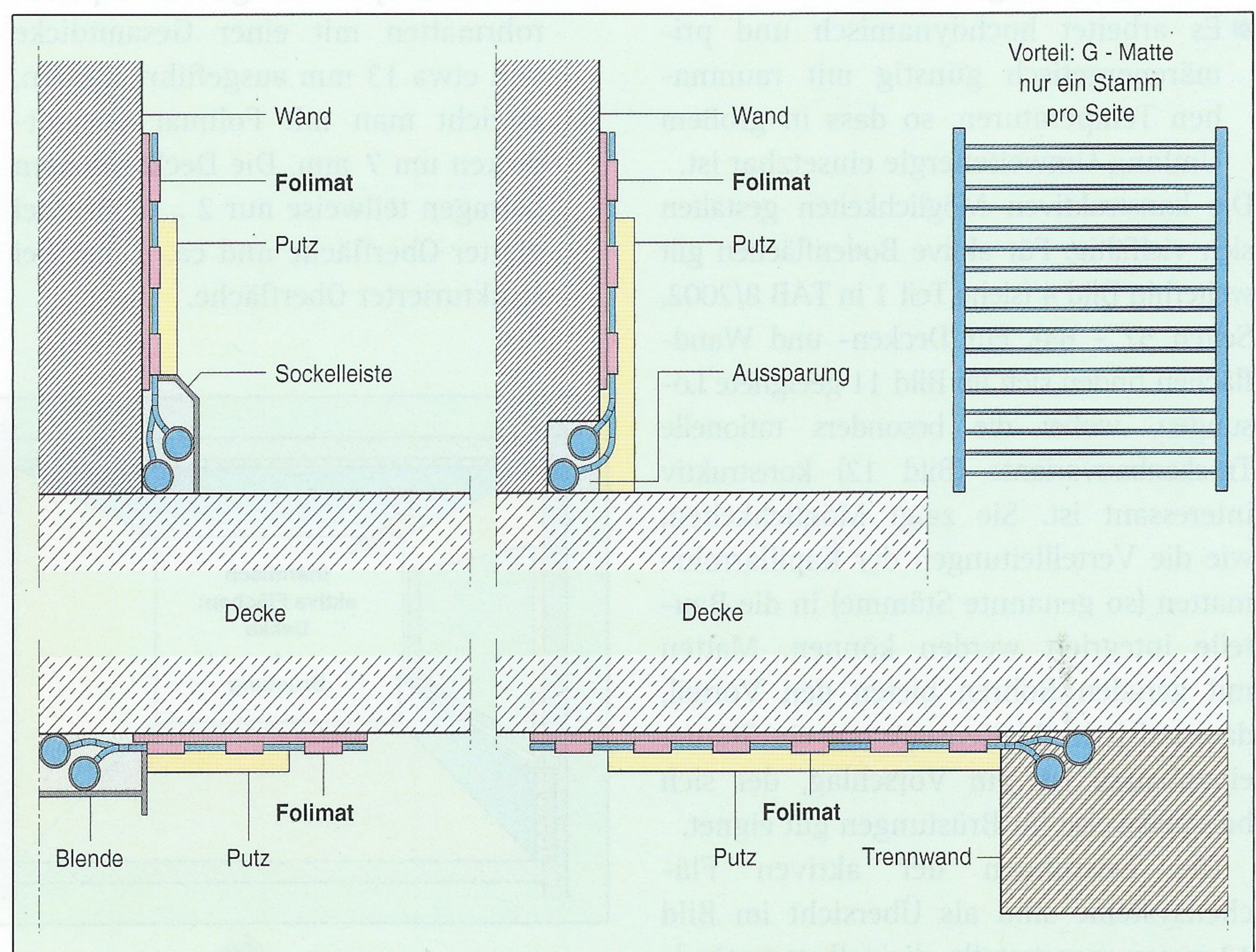


Bild 12: Detaillierte Konstruktionsbeispiele mit Folimat zur thermischen Bauteilaktivierung

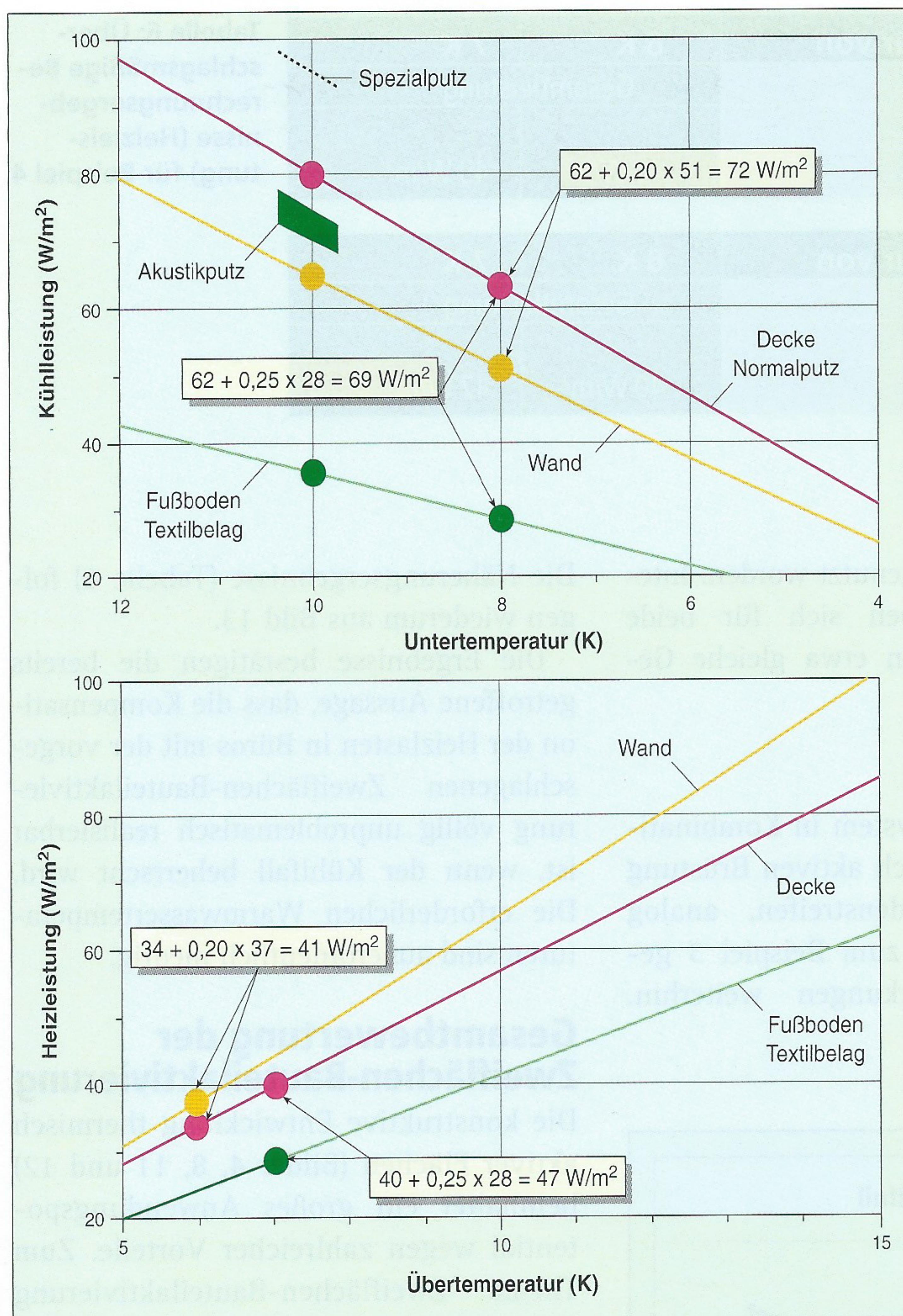
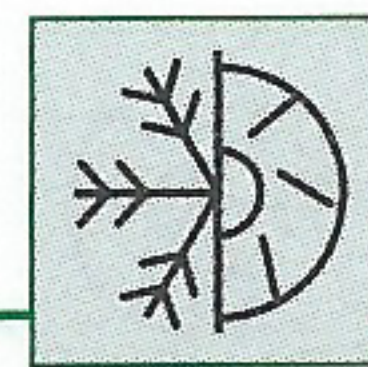


Bild 13: Kühl- und Heizleistungen in Abhängigkeit der Unter- bzw. Übertemperatur für ausgewählte Aktivsysteme zur überschlägigen Berechnung der realisierbaren Raumlastkompensation. Beispielhaft sind Flächenkombinationen betrachtet, die die vollaktive Deckenfläche ($\equiv$ Raumgrundfläche) plus eine aktive Brüstungsfläche von 20 % der Raumgrundfläche oder einen aktiven Fußbodenstreifen mit 25 % der Raumgrundfläche zugrunde legen. Für den thermisch aktiven Fußboden ist von der wärmetechnisch ungünstigen Variante Teppichbelag ausgegangen worden

Anmerkungen zur Heizleistung der thermisch aktiven Flächen:

- Die Heizleistung ist in gewerblichen Bauten (Bürobauten) von untergeordneter Bedeutung. Generell kann festgestellt werden: Wird die Kühlleistung kompensiert, dann ist die erforderliche Heizleistung mit der gleichen Aktivflächenkombination im Raum in der Regel mühelos zu erbringen.
- Die Transmissionswärmeverluste schwanken je nach Wärmedurchgangskoeffizient der Fassade und Raumgeometrie.

Die Werte liegen derzeit etwa zwischen 20 W/m^2 und 40 W/m^2 .

Diese Größenordnung dürfte auch für die Gebäudesanierung zutreffen, da in der Regel zu solchen Baumaßnahmen auch die energetische Erneuerung bzw. Verbesserung der Fassade gehört.

- Eine Volldeckenheizung könnte nach dem Diagramm (Bild 13) mit sehr kleinen Wasserübertemperaturen betrieben werden: $40 \text{ W/m}^2 \Rightarrow 7 \text{ K}$; $30 \text{ W/m}^2 \Rightarrow 6 \text{ K}$.
- Die Deckenheizung allein wäre aus wärmephysiologischen Gründen (Strahlungsasymmetrie und Kaltluftabfall an

der Fassade) nicht zweckmäßig. Kombinationen temperierter Decken- und Wandflächen (z. B. Brüstungen) wirken sehr positiv.

- Alle praktisch erforderlichen Heizleistungen sind mit Fußbodensystemen bekanntermaßen bei guten wärmephysiologischen Bedingungen erfüllbar. Selbst bei Verwendung eines Teppichbelages können die derzeit üblichen Transmissionswärmeverluste von etwa 20 W/m^2 bis 40 W/m^2 mit mittleren Wasserübertemperaturen von 5 K bis 10 K gedeckt werden.
- Die zusätzliche Aktivierung der Decke erlaubt es, nur einen Fußbodenstreifen zu beheizen und dennoch kleine Heizwassertemperaturen zu erzielen.

Beispiel 3

Es wird ein Deckenkühlsystem in Kombination mit einer thermisch aktiven Brüstung oder einem Fußbodenstreifen, Aktivflächen mit System „Folimat“ analog Bild 10 untersucht. Für die Aktivdecke und im Falle der aktivierten Brüstung gilt die im Bild 11 dargestellte Trockenbauvariante mit Putzauflage. Im Falle eines aktivierten Fußbodenstreifens sei gemäß Bild 4 eine Trockenbaukonstruktion ohne Estrich oder eine Nassverlegeart mit einer Estrichdicke von ca. 35 mm angenommen. Beide sind wärmetechnisch näherungsweise gleichwertig, da als Belag ein Teppich mit einem hohen Wärmeleitwiderstand (Dicke 10 mm , Wärmeleitfähigkeit $0,07 \text{ W/(mK)}$) zur Anwendung kommt. Für die Aktivflächen gilt: Decke Vollbelegung, Brüstung 20 % der Raumgrundfläche, Fußbodenstreifen 25% der Raumgrundfläche.

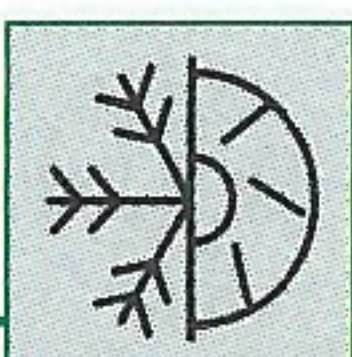
Die überschlägigen Berechnungsergebnisse (Tabelle 5) folgen direkt aus Bild 13.

Dies zeigt, dass alle relevanten Kühltlasten in Büros mit dem Kombinationssystem abgeführt werden können. Dabei ist das Entwicklungspotential des Putzes (vgl.

System arbeitet mit einer mittleren Wasseruntertemperatur von		8 K	10 K
Aktivfläche	Belegung	Gesamtleistung	
Kühldecke, Normalputz	Vollbelegung	72 W/m²	93 W/m²
Kühlbrüstung, Normalputz	20 % der Grundfläche		

System arbeitet mit einer mittleren Wasseruntertemperatur von		8 K	10 K
Aktivfläche	Belegung	Gesamtleistung	
Kühldecke, Normalputz	Vollbelegung	69 W/m²	89 W/m²
Kühlboden, Teppichbelag	25 % der Grundfläche		

Tabelle 5: Überschlagsmäßige Berechnungsergebnisse (Kühlleistung) für Beispiel 3



System arbeitet mit einer mittleren Wasserübertemperatur von		6 K	7 K
Aktivfläche	Belegung	Gesamtleistung	
Heizdecke, Normalputz	Vollbelegung		
Heizbrüstung, Normalputz	20 % der Grundfläche	41 W/m ²	49 W/m ²

Tabelle 6: Überslagsmäßige Berechnungsergebnisse (Heizleistung) für Beispiel 4

System arbeitet mit einer mittleren Wasserübertemperatur von		6 K	7 K
Aktivfläche	Belegung	Gesamtleistung	
Heizdecke, Normalputz	Vollbelegung		
Heizboden, Teppichbelag	25 % der Grundfläche	40 W/m ²	47 W/m ²

Bild 13) noch nicht genutzt worden. Interessanterweise ergeben sich für beide Flächenkombinationen etwa gleiche Gesamtleistungen.

Beispiel 4

Für ein Deckenheizsystem in Kombination mit einer thermisch aktiven Brüstung oder einem Fußbodenstreifen, analog Bild 10, gelten alle zum Beispiel 3 getroffenen Vorbemerkungen weiterhin.

Die Näherungsergebnisse (Tabelle 6) folgen wiederum aus Bild 13.

Die Ergebnisse bestätigen die bereits getroffene Aussage, dass die Kompensation der Heizlasten in Büros mit der vorgeschlagenen Zweiflächen-Bauteilaktivierung völlig unproblematisch realisierbar ist, wenn der Kühlfall beherrscht wird. Die erforderlichen Warmwassertemperaturen sind außerordentlich niedrig.

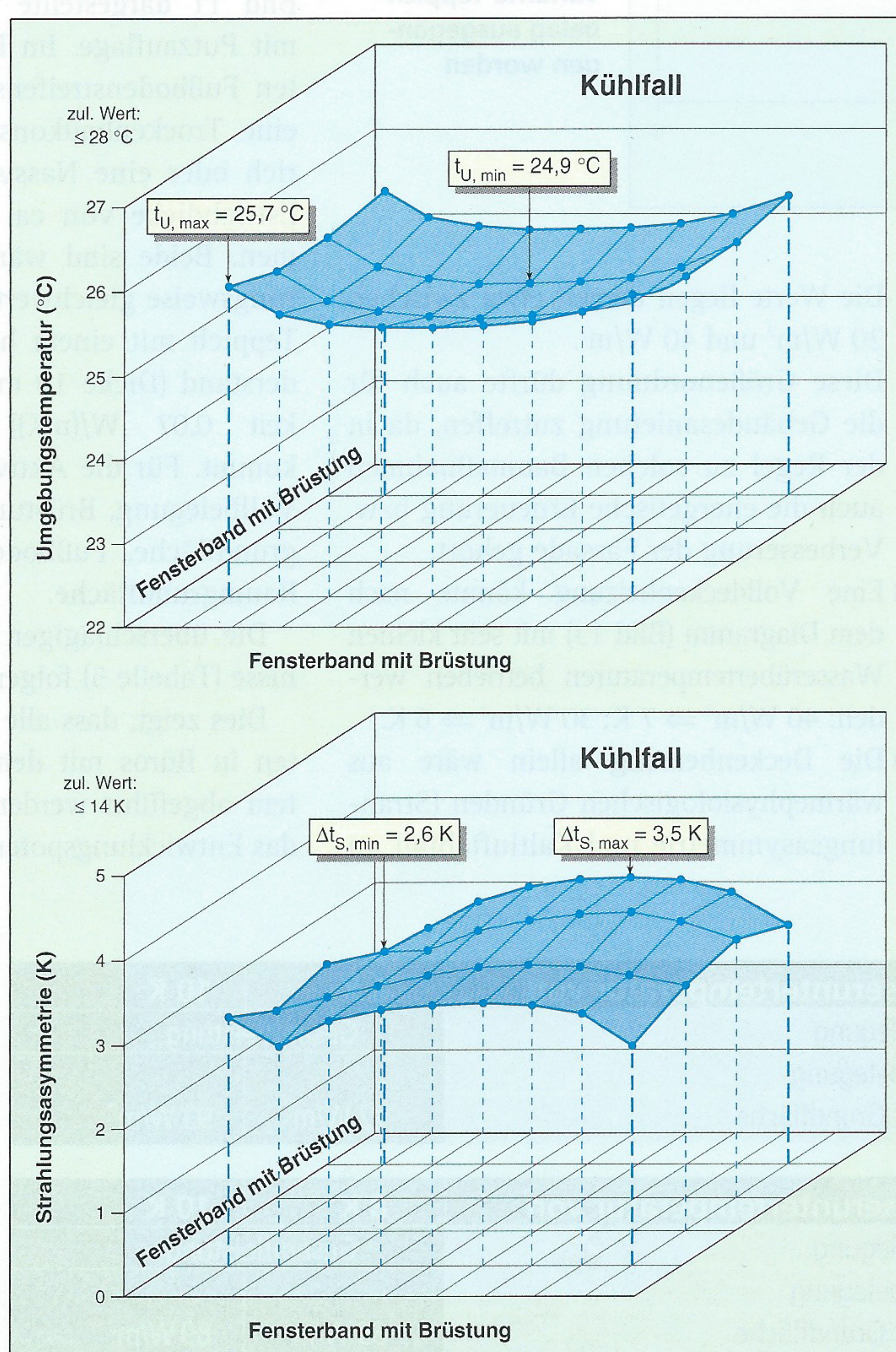
Gesamtbewertung der Zweiflächen-Bauteilaktivierung

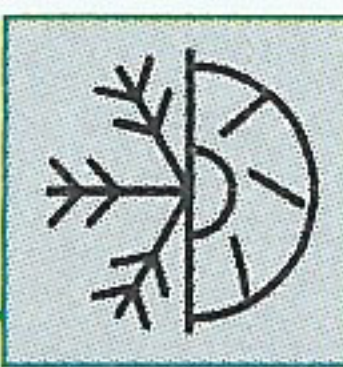
Die konstruktive Entwicklung thermisch aktiver Flächen (Bilder 4, 8, 11 und 12) beinhaltet ein großes Anwendungspotential wegen zahlreicher Vorteile. Zum Thema Zweiflächen-Bauteilaktivierung (aktiv/aktiv) erfolgte auch eine umfangreiche wissenschaftliche Untersuchung, deren Hauptergebnisse in [5] veröffentlicht sind.

Als wichtigste Vorteile für das neue, als zukunftsrelevant angesehene System sind zu nennen:

- Hohe Kühl- und Heizleistungen bei räumnahen Wassertemperaturen. Nach [5] sind zur Raumkühlung (90 ... 50 W/m²) Kaltwassertemperaturen im Bereich 16,6 ... 20,8 °C und zur Raumheizung Warmwassertemperaturen von 26,0 ... 28,6 °C ausreichend.
- Niedrige Betriebskosten durch Einsatz eines Wassersystems zum Wärmetransport und umfangreiche Nutzung der freien Kühlung zu über 80 % des Jahres.
- Senkung der Investitionskosten durch
 - Nutzung von Massenprodukten mit hohem Vorfertigungsgrad,
 - Anwenden einfacher Bautechnologien vorwiegend im Trockenbauverfahren,
 - Einsatz eines einzigen Wassersystems zur Versorgung aller thermisch aktiven Flächen,

Bild 14: Verteilung der Strahlungstemperatur der Umgebung (Bild oben) und der Strahlungstemperatur-Asymmetrie (Bild unten) über dem Raumgrundriss (10 m x 5 m) eines Eckraumes mit zwei Fensterbändern im Kühlfall bei einer flächenbezogenen Kühlleistung von 70 W/m² (Raumtemperatur 25 °C, Quell-Luft 22 °C, Luftvolumenstrom 6 m³/(m²h)). Die Kühlung erfolgt durch die gesamte Deckenfläche und die Brüstungen bei sehr guten Behaglichkeitsbedingungen





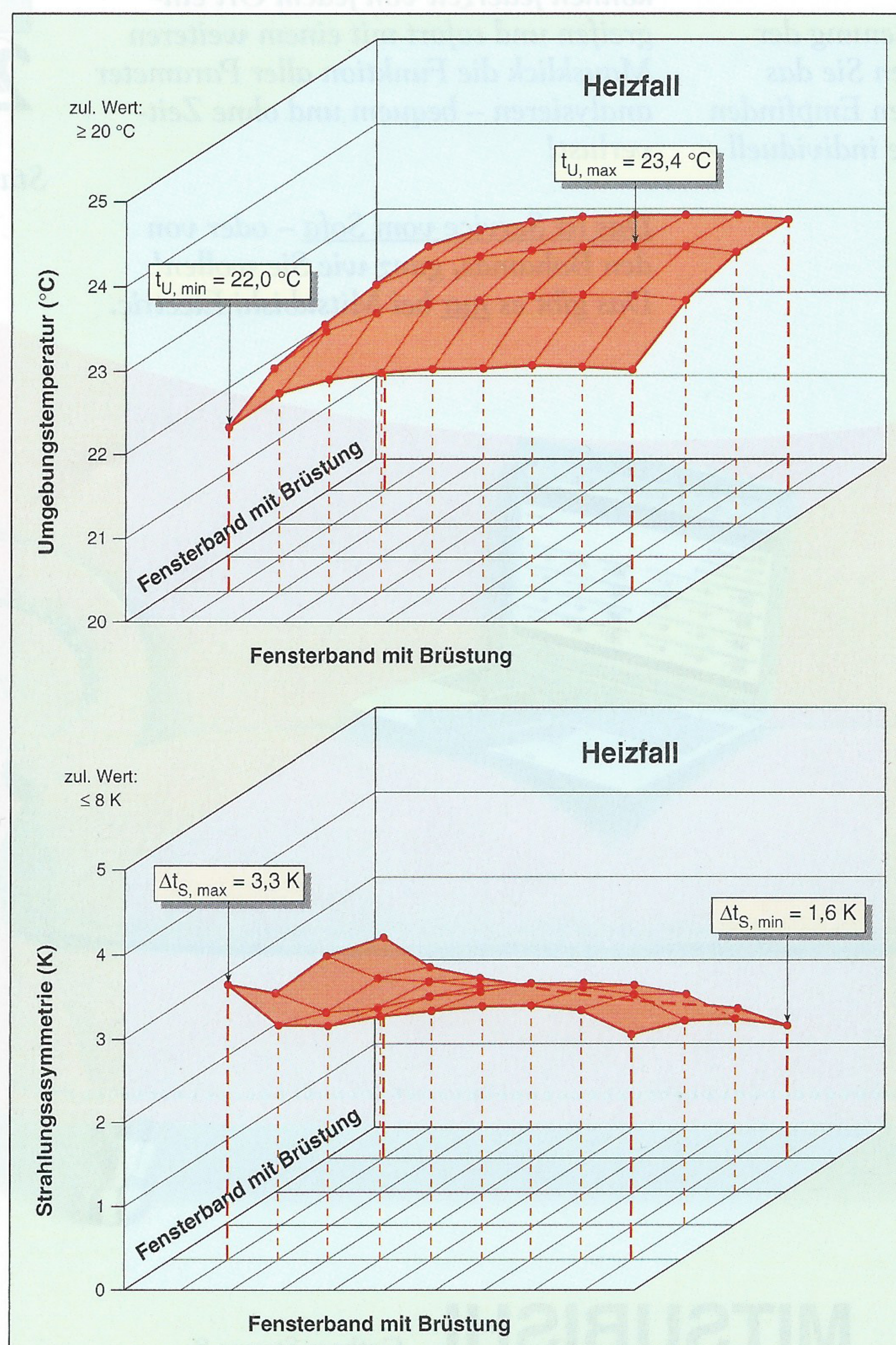
- Installation einer einfachen konventionellen Regelung,
- Vermeiden von Stellflächenverlusten im Raum (maximale Mietfläche erreichbar),
- minimalsten Platzbedarf im Gebäude.
- Ideale Nutzung des Systems auch bei Sanierungsbauten durch nachträgliche thermische Aktivierung der verschiedenen Raumumfassungen praktisch ohne Platzbedarf und bei allen Vorteilen, die das System im Neubau bietet.
- Einfache Planung durch Nutzung des baukastenförmigen Systemaufbaus.

■ Beste wärmephysiologische Bedingungen nach DIN 1946/02 und ISO 7730 sind selbstverständlich bei Gewährleistung der zulässigen Raumtemperaturen gegeben. In der Untersuchung [5] zeigte sich, dass der wärmetechnische und wärmephysiologische Extremfall – Eckraum mit zwei Fensterbändern oder sogar Vollglasfassaden – ohne Tangieren von Grenzwerten im Sommer und Winter beherrscht wird. Die Untersuchungen sind beispielsweise bis zu einer sommerlichen Kühllast von 90 W/m^2 und bis zu einer winterlichen Außentemperatur von -15°C geführt worden. Die Bilder 14 und 15 zeigen die Strahlungstemperatur der Umgebung und die Strahlungstemperatur-Asymmetrie für einen Eckraum mit zwei Fensterbändern im Sommer und Winter nach [5] mit idealen Ergebnissen.

Fazit

Damit kann mit Verantwortungsbewusstsein die Zweiflächen-Bauteilaktivierung zur Anwendung und Weiterentwicklung empfohlen werden. Das Einfügen in den Entwicklungsgang nach Tabelle 3 (letzte Zeile) erscheint beim derzeitigen Erkenntnisstand als schlüssig.

Bild 15: Verteilung der Strahlungstemperatur der Umgebung (Bild oben) und der Strahlungstemperatur-Asymmetrie (Bild unten) über dem Raumgrundriss (10 m x 5 m) eines Eckraumes mit zwei Fensterbändern im Heizfall bei einer flächenbezogenen Heizlast von 33 W/m^2 ($k_{\text{Fenster}} = 1,3 \text{ W/(m}^2\text{h)}$), Außentemperatur -15°C , Raumtemperatur 22°C , Quell-Luft 20°C , Luftvolumenstrom $6 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$. Die Heizung erfolgt durch die gesamte Deckenfläche und die Brüstungen bei sehr guten Behaglichkeitsbedingungen



Literatur

- [1] Glück, B.: Wärmetechnisches Raummodell - Gekoppelte Berechnungen und wärmephysiologische Untersuchungen. Heidelberg: C. F. Müller Verlag 1997 (ISBN 3-7880-7615-1)
- [2] Glück, B.: Thermische Bauteilaktivierung: Möglichkeit auch bei Bauwerkssanierungen, KI Luft- und Kältetechnik (2002) H. 4
- [3] Glück, B.: Wassertemperaturen und Aufheizzeiten von Fußbodenheizungen mit Estrichverlegung, Heizung-Lüftung-Haustechnik (2000) H. 6
- [4] Glück, B.; Gräff, B.: Leistungsbestimmung von Kühlböden. DKV-Tagung 1996
- [5] Glück, B.: Kombinationen verschiedener Aktivflächensysteme im Raum, ihre Einflüsse auf die Behaglichkeit und die erforderlichen Wassertemperaturen, Heizung-Lüftung-Haustechnik (2002) H. 4
- [6] Rudolf, H.: Psychosoziale Faktoren Hauptursache für Beschwerden in klimatisierten Gebäuden, TAB Technik am Bau (2002) H. 3