



Sanierung von RLT-Anlagen

Um dem erklärten Ziel der Bundesregierung, die CO_2 -Emission um 25 % bis zum Jahre 2005 zu reduzieren, näherzukommen, ist die Einbeziehung des vorhandenen Altbaubestandes in eine ganzheitliche Energiepolitik notwendig. Auf dem Gebiet der Raumheizung werden mit der Heizungsanlagenverordnung vom 22.03.1994 auch Forderungen an die Umrüstung von Altanlagen gestellt. Im Bereich der RLT-Anlagen fehlen bisher ähnliche Festlegungen, obwohl beim 20- bis 30-jährigen Bestand von Klimaanlage ein enormes Energieeinsparpotential besteht. Als Ziel des Forschungsthemas sollen objektive Aussagen für Sanierungsmaßnahmen von RLT-Anlagen getroffen werden.

Heizung

- Die Wärmeschutzverordnung (16.08.94) legt den zulässigen Jahresheizenergiebedarf für Gebäude fest,
- Die Bemessungsvorschriften sind über ein Jahrhundert gewachsen und in Normen festgeschrieben. Sie beinhalten genaue Angaben zum Wärmebedarf mit den zugehörigen Auslegungstemperaturen; zur Leistungsmessung von Wärmeerzeugern und Heizkörpern; zur Leistungsminderung bei

Bild 1: RLT-Anlage mit unterschiedlicher Regelungsstrategie und beispielhaften Zustandsverläufen bei Winter- und Sommerbetrieb

Dr.-Ing. habil. Bernd Glück,
22012 Hamburg *

Raumlufttechnische Anlagen früherer Generationen zeichnen sich durch hohe Energieverbrauchswerte aus. Die Gründe sind:

- es bestand kein Energiesparzwang,
- alle wärmetechnischen Transportvorgänge erfolgten hauptsächlich mit dem Medium Luft (Die ohnehin großen Volumenströme stiegen mit der Zunahme der inneren Lasten weiter an.),
- energetisch ungünstige Betriebsweise (Taupunktregelung, Mischungsverluste bei Zweikanalanlagen und Induktionsanlagen mit Zweileitersystem – Change over – bzw. Dreileitersystem),
- überholte Regelungstechnik,
- Betriebspunkte der Aggregate oft weit entfernt vom Optimum (Alter der

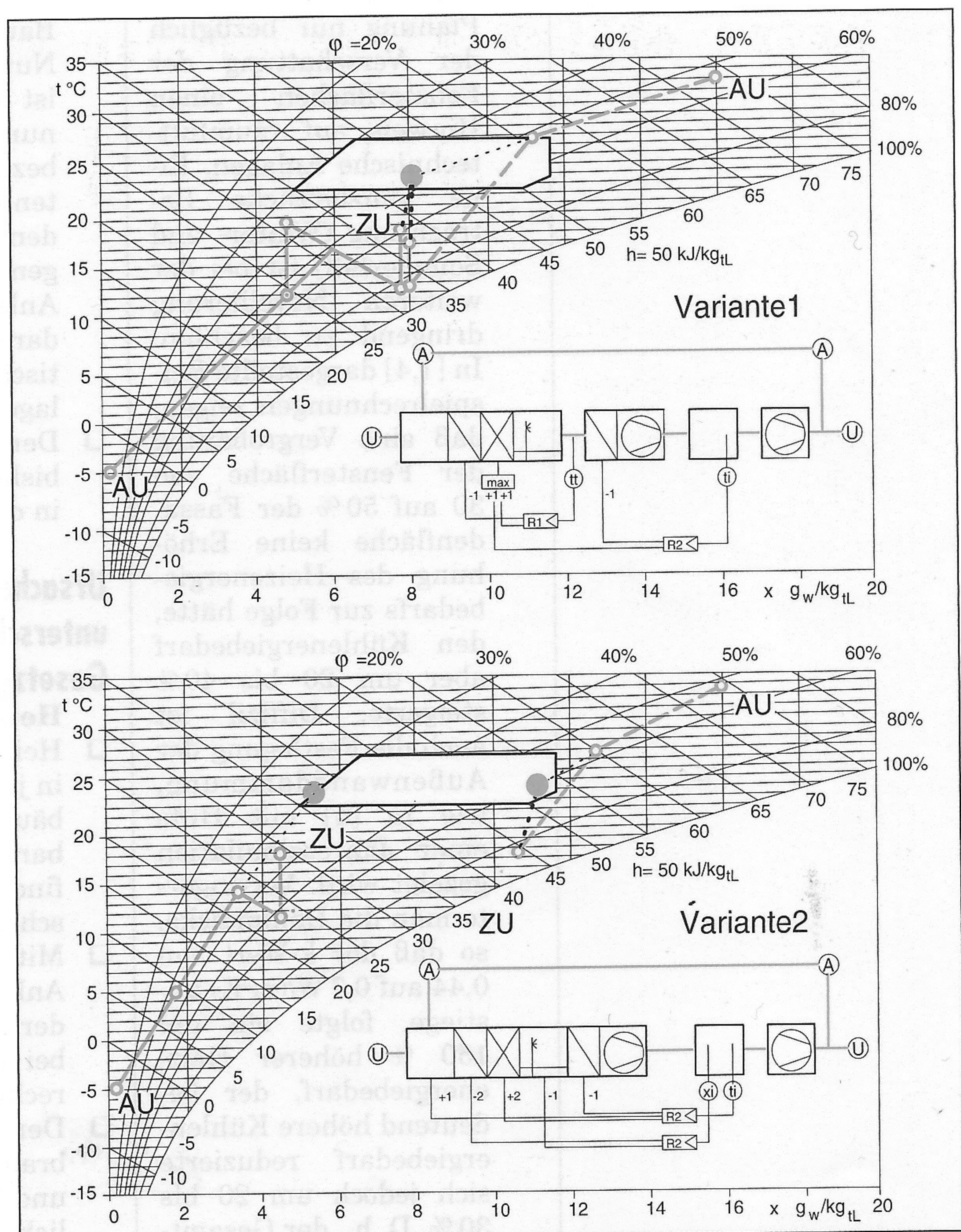
Anlagen, vorgenommene Umbauten bzw. Ergänzungsbauten),

- mitunter sehr schlechte Wartung (keine Fernüberwachungs- und Diagnosesysteme),
- Vorgaben des Gesetzgebers fehlen.

Sporadisch erarbeitete Sanierungskonzepte ergaben jedoch stets Energieeinsparungen von mindestens 20... 30 %.

Stand der Gesetzgebung

Das Verordnungs- und Vorschriftenwerk für die Gewerke Heizung und Raumlufttechnik zeigt sehr deutliche Unterschiede auf. Sie werden durch die nachfolgende Auflistung verdeutlicht.



*RUD. OTTO MEYER (Zentrale),
22012 Hamburg



Heizkörperverkleidungen usw.,

- Die Heizungsanlagenverordnung (22.03.94) trifft weitere detaillierte Festlegungen bezüglich
 - Kesselersatz (Mindestkesselwirkungsgrade),
 - Begrenzung von Betriebsbereitschaftsverlusten,
 - Wärmedämmung von Verteilanlagen,
 - Steuerungs- und Regelungseinrichtungen,
 - Leistungsanpassung von Umwälzpumpen bereits ab 50 kW Heizleistung,
 - Wartung, Bedienung und Instandhaltung.
- In der Heizungsanlagenverordnung sind Fristen für Altanlagen vorgegeben.

RLT

- Die Wärmeschutzverordnung gibt für die Planung nur bezüglich der Verschattung der Fensterflächen einen Hinweis auf raumlufttechnische Anlagen. Eine ganzheitliche Betrachtung (Winter- und Sommerfall) ist bei der weiteren Novellierung dringend zu beachten. In [1,4] dargestellte Beispielrechnungen zeigen, daß eine Vergrößerung der Fensterfläche von 30 auf 50 % der Fassadenfläche keine Erhöhung des Heizenergiebedarfs zur Folge hätte, den Kühlenergiebedarf aber um 20 bis 40 % steigerte. Diffizil ist auch die Festlegung der Außenwanddämmung, wie in [4] mit Hilfe einer Jahressimulation gezeigt wird. Verringerte man die Dämmdicke, so daß der k-Wert von 0,44 auf 0,7 W/(m²K) anstiege, folgte ein um 150 % höherer Heizenergiebedarf, der bedeutend höhere Kühlenergiebedarf reduzierte sich jedoch um 20 bis 30 %. D. h., der Gesamt-

energiebedarf würde sich in diesem Fall verringern.

- Die Bemessungsvorschriften für Klimaanlagen sind nicht so detailliert festgelegt wie bei den Heizungsanlagen. Zum Beispiel nimmt die Kühllastberechnung nur Bezug auf Nur-Luft-Kühlanlagen und nicht auf den verstärkten Einsatz von Kühldecken [2, 3].
- Anstelle eindeutiger Festlegungen auf der Grundlage ganzheitlicher Betrachtungen diskutiert man oftmals mit wenig Sachkenntnis über die Sinnhaftigkeit von Klimaanlagen, möchte gelegentlich sogar Verbote (»Hamburger Klimaschutzgesetz«) einführen. Unsachlich an diesen Diskussionen ist der fehlende Bezug zur Baukonstruktion und Nutzung. Völlig falsch ist es, die Diskussionen nur auf Neuanlagen zu beziehen, denn Neubauten im Bürobereich werden nur in relativ geringem Umfang mit RLT-Anlagen ausgerüstet, dann aber mit energetisch gut gestalteten Anlagen.
- Der Anlagenbestand ist bisher überhaupt nicht in der Diskussion.

Ursachen des unterschiedlichen Gesetzgebungsstandes Heizung

- Heizungsanlagen sind in jedem bewohnten Gebäude bisher unverzichtbarer Bestandteil und finden deshalb uneingeschränkte Akzeptanz.
- Mit der energetischen Anlageneffizienz wird jeder Bürger – spätestens bei der Heizkostenabrechnung – konfrontiert.
- Der Heizenergieverbrauch ist in Ursache und Wirkung übersichtlich.

- Es besteht eine jahrzehntelange Kontrolltradition in öffentlichen Gebäuden, so z.B. in Schulbauten.
- Es existiert eine Lobby für die Verbesserung des Anlagenbestandes, in der auch die Komponentenhersteller integriert sind.

RLT

- Raumluftechnische Anlagen verfügen über eine geringe Akzeptanz. Dies ist teilweise verursacht durch schlecht gewartete Anlagen, durch veraltete Anlagenkonzeptionen und zu hohe Grenzwerte – z.B. bezüglich der Luftgeschwindigkeit, die in der Vergangenheit galten. Vielfach liegt die Ursache aber auch in ungenügender Sachkenntnis.
- Die Anlageneffizienz bleibt dem Nutzer der Klimaanlagen in der Regel verborgen.
- Der Energieverbrauch und das Einsparpotential können nur über komplexe Simulationen ermittelt werden. Die Maßnahmen zur Reduzierung sind sehr vielfältig, wobei die Einflüsse – z.B. Sommerfall, Winterfall – oft gegenläufig sind. Die Komplexität des Themas erlaubt keine sofortige Zuordnung von Ursache und Wirkung und führt – wie bei komplizierten Zusammenhängen meist üblich – zu emotional beeinflussten Schwarz-Weiß-Diskussionen.

Verbundforschungsvorhaben SANIREV

Ausgehend von der vorhandenen Gebäudesubstanz und den Anforderungen an den Ausstattungsstandard sollen aus heutiger Sicht allgemeingültige, wissenschaftlich begründete Sanierungskonzepte für RLT-Anlagen erarbeitet werden.



Das Vorhaben wird vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie gefördert und vom Projektträger BEO koordiniert. Es beteiligen sich daran mit speziellen, genau abgestimmten Arbeitsprogrammen

- Rud. Otto Meyer (Zentralbereich Ingenieurtechnik),
 - TU Berlin (Hermann-Rietschel-Institut, Prof. Dr.-Ing. K. Fitzner),
 - TU München (Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Kraftwerkstechnik, Prof. Dr.-Ing. habil. L. Rouvel),
- mit den Hauptinhalten:
- Ermittlung notwendiger Einsatzbereiche von raumlufttechnischen Anlagen,
 - Energieoptimierte RLT-Anlagen von raumlufttechnischen Anlagen,
 - Energieoptimierte Raumheiz- und Kühlflächen,
 - Energieoptimierte Sanierung bestehender RLT-Anlagen,
 - Energieoptimierte Fasadensysteme.

Die Ergebnisse sollen in direktanwendbaren Kennziffern, Grenzwerten, Rangfolgen und Kriterien oder mit Hilfe von PC-Programmen darstellbar gestaltet werden. Sie wären für die Sanierung von allgemeiner Bedeutung.

Die aus dem Forschungsprojekt abzuleitenden Schlussfolgerungen könnten als Entscheidungsgrundlage für eine Verordnung für RLT-Anlagen dienen.

Die bisher verabredeten Arbeitsschritte werden nachfolgend aufgelistet und kurz erläutert.

Ermittlung notwendiger Einsatzbereiche

Die bisher sehr subjektiven Meinungen über die Notwendigkeit des Einsatzes von RLT-Anlagen bedürfen einer Objektivierung. Gerade im Sanierungsfall

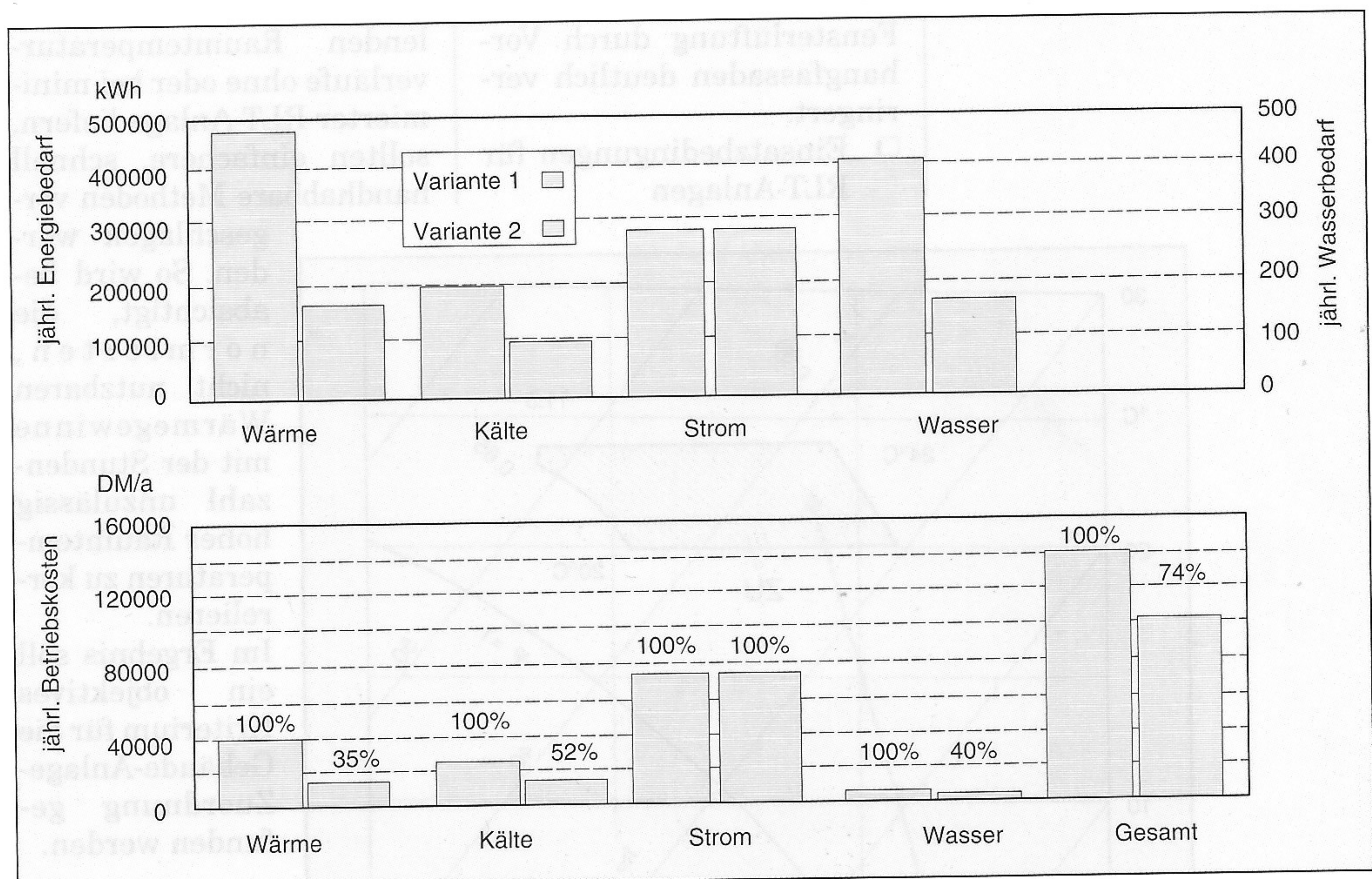
ist eine Beeinflussung des Innenraumklimas durch bauklimatische Maßnahmen nur sehr beschränkt möglich. Aus diesem Grund werden fachlich ausgewiesene Institutionen (TU Berlin, TU München) federführend daran arbeiten.

- Zulässige Raumzustandsbereiche (thermischer Zustand, Luftqualität).

Ausgehend von neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen sind die kon-

Größe hängt beispielsweise stark davon ab, in welchem Maße die Be- und Entfeuchtungsarbeit ohne Komforteinbuße reduziert werden kann. Die Kenntnis der Behaglichkeitsgrenzen sind demzufolge ebenso wichtig, wie die der notwendigen Luftmengen, um die geforderte Luftqualität zu erreichen.

- Raumzustandsbereiche bei Fensterlüftung üblicher Bauten.



kreten Anforderungen an den Raumluftzustand abzuleiten. Dabei sind zulässige Toleranzen für die thermischen Parameter sowie Grenzwerte der Raumluftqualität zu bestimmen und für Sanierungskonzepte aufzubereiten. Wie wichtig diese Aufgabe ist, zeigen die Bilder 1 und 2 nach [4]. Bei Variante 1 handelt es sich um eine taupunktgeregelte Anlage mit konstantem Raumzustand. Variante 2 besitzt bei gleicher Aggregatereihung einen geregelten Wäscher sowie eine geregelte Mischkammer, und es wird mit variablen Raumzuständen innerhalb des zulässigen Behaglichkeitsbereiches gearbeitet. Die Betriebskosten reduzieren sich auf 74%. Diese

Der Einfluß der Fensterlüftung auf den Raumluftzustand ist zu quantifizieren. Unterschiedliche Bauweisen und die wechselnden äußeren Witterungsbedingungen sind zu berücksichtigen und statistisch zu bewerten.

- Raumzustandsbereiche bei Fensterlüftung von Bauten mit vorgehängter Glasfassade und Möglichkeiten zur solarthermischen Luftförderung.

Für Gebäude mit vorgehängter Glasfassade ist zu beurteilen, in welchem Maße die Fassadengestaltung eine mit Fensterlüftung mögliche Raumkonditionierung beeinflusst. Anhand von Meßergebnissen ist der Einsatz der numeri-

Bild 2: Ergebnisse der RLT-Anlagensimulation gemäß Testreferenzjahr (Anlagenvarianten nach Bild 1)



schen Strömungssimulation zu testen, um die Zulässigkeit dieses Verfahrens für spätere Untersuchungen festzustellen.

Der irreführende Sprachgebrauch, die vorgehängten Glasfassaden als »Klimafassaden« zu bezeichnen, führt sehr oft zum Trugschluß, daß solche Fassaden die Klimaanlage ersetzen könnten. Die bisherigen Ergebnisse der Strömungssimulation zeigen, daß sich der Effekt der Fensterlüftung durch Vorgehängtassaden deutlich verringert.

□ Einsatzbedingungen für RLT-Anlagen

In Abhängigkeit von der Gebäudebauweise und unter Berücksichtigung der Ergebnisse der vorgenannten Aufgaben sind objektive Kriterien für die Notwendigkeit mechanischer Lüftungssysteme und verschiedener Luftbehandlungsfunktionen aufzustellen, die zur Entscheidungsfindung bei Sanierungsmaßnahmen führen. Außer den bekannten energetischen Simulationsverfahren, die z. B. Aussagen über die sich einstellenden Raumtemperaturverläufe ohne oder bei minimierter RLT-Anlage liefern, sollten einfachere, schnell handhabbare Methoden vor-

geschlagen werden. So wird beabsichtigt, die normierten, nicht nutzbaren Wärmegewinne mit der Stundenzahl unzulässig hoher Raumtemperaturen zu korrelieren.

Im Ergebnis soll ein objektives Kriterium für die Gebäude-Anlage-Zuordnung gefunden werden.

Energie-optimierte RLT-Anlagen

Falls eine RLT-Anlage unerlässlich ist, dann sollte diese Anlage mit einem Minimum an Energie anforderungsgerecht arbeiten. ROM wird sich mit diesem Forschungsschwerpunkt beschäftigen. Die technischen Voraussetzungen (Hardware) für RLT-Anlagen mit einer höherwertigen

Intelligenz als bisher (qualitativer Sprung) sind gegeben. Bei der praktischen Umsetzung (Software) kann

dieses Energieeinsparungspotential zur Zeit nur partiell genutzt werden. Bei sanierungsbedürftigen Alt-Anlagen ist dieses Potential am größten.

Von besonderer Bedeutung ist es, einen optimalen Vergleichsprozess allgemeingültig für Luftzustandsänderungen analog zu [5] zu erarbeiten, an dem dann alle realen Prozesse bezüglich ihrer Wirtschaftlichkeit gespiegelt werden können. Damit wären erstmals Anlagen mit reduziertem regelungs- und anlagentechnischen Aufwand objektiv bewertbar. Man sollte dabei stets von der Grundaufgabe eines klimatechnischen Prozesses – Luft vom Außenluftpunkt AU energieoptimal in den Raumzustandsbereich ZU (Bild 3) zu überführen – ausgehen und nichtkonventionelle Luftzustandsänderungen in neuartigen Aggregaten besonders intensiv betrachten.

□ Optimale Vergleichsprozesse.

Der Prozeß zur thermodynamischen Luftaufbereitung ist als Optimierungsproblem mit dem Ziel der Minimierung des betriebswirtschaftlichen oder ökologischen Aufwandes aufzufassen.

Davon ausgehend sind Algorithmen für optimale Vergleichsprozesse vorhandener Anlagen zu erstellen, an denen die »Intelligenz« der eingebauten bzw. für den Sanierungsfall geplanten Regelungstechnik zu messen ist.

□ Optimale Aggregatebestückung.

Für verschiedene Versorgungsaufgaben sollen in Erweiterung der bisher vorgestellten Aufgabe optimale Aggregatebestückungen – auf der Grundlage einer optimalen Prozeßführung – ermittelt werden.

□ Optimale Regelstrategien.

Die Algorithmen für optimale Vergleichsprozesse sind weitestgehend auf den

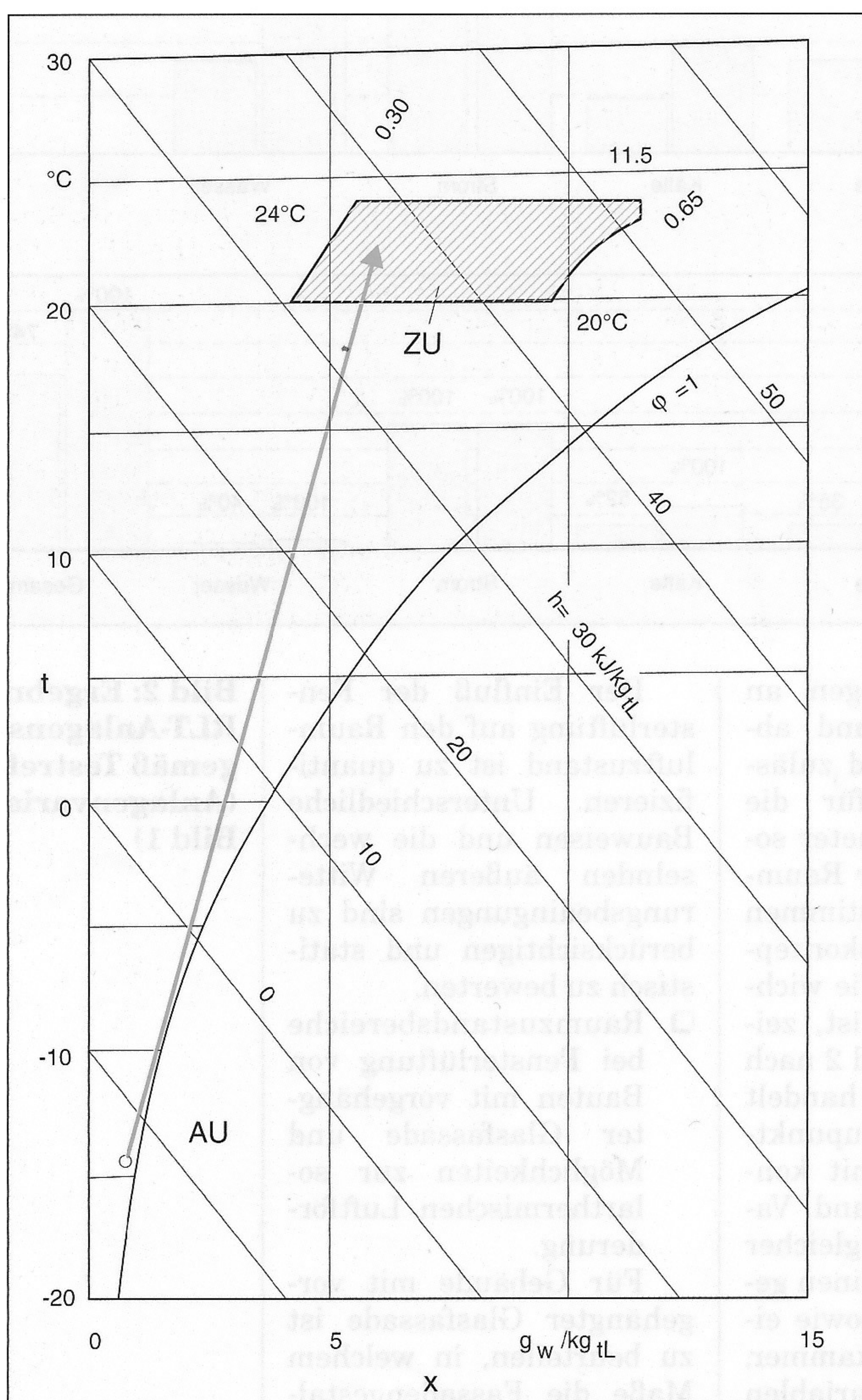


Bild 3: Theoretisch erforderliche Luftzustandsänderung im klimatechnischen Prozeß, die durch neuartige Aggregate mehr oder weniger genau angenähert werden sollte



Anlagenbetrieb zu übertragen. Die zulässigen Raumluftzustandsbereiche sind möglichst umfassend auszunützen.

- Meßtechnische Beurteilung und rechnerische Simulation neuartiger Komponenten für den Einsatz in alternativen Entfeuchtungs- und Kühlsystemen.

Neuartige Komponenten, die für den Einsatz in alternativen Entfeuchtungs- und Kühlsystemen geeignet erscheinen, müssen meßtechnisch untersucht und beurteilt werden.

Die Meßergebnisse sind in die Simulationsmodelle zu implementieren, um die Gesamtsysteme wirtschaftlich und ökologisch vergleichbar zu machen.

Im Ergebnis soll ein objektives Kriterium für den Anlagenbetrieb gefunden werden.

Energieoptimierte Raumheiz- und Kühlflächen

Eine energetisch optimale RLT-Anlage muß bei großen thermischen Lasten die Aufgaben »Luftversorgung« und »Abfuhr von thermischen Lasten« trennen. Für die letztgenannte Aufgabe empfehlen sich wasserbeaufschlagte Heiz- und Kühlflächen. Der Wärmeträger Wasser mit seiner großen spezifischen Wärmekapazität verursacht verhältnismäßig geringe Transportenergie, und das zugehörige Rohrnetz hat nur geringen Platzbedarf.

Großflächige Heiz- und Kühlflächen sind ästhetisch ansprechend und energetisch günstig, da die Heiz- bzw. Kühlmedientemperaturen nur wenig von den Raumtemperaturen abweichen. Dies ist auch die Voraussetzung, Umweltenergie in größerem Maße einzusetzen.

Die erzielbaren Leistungen, die Wirtschaftlichkeit und der geringe Platzbedarf machen sie für die Sanierung besonders geeignet.

ROM wird diesen Schwerpunkt praxisorientiert bearbeiten.

Die partiellen Behaglichkeitskriterien – wie die Strahlungstemperatur Asymmetrie – müssen praxisrelevant und erfahrungskonform definiert werden.

Auslegungsrichtlinien für großflächige Raumheiz- und Kühlflächen, die in der Regel in den Raumumfassungen integriert werden sollen, sind zu erarbeiten. Die energetischen Effekte gegenüber herkömmlichen Systemen sind nachvollziehbar darzustellen.

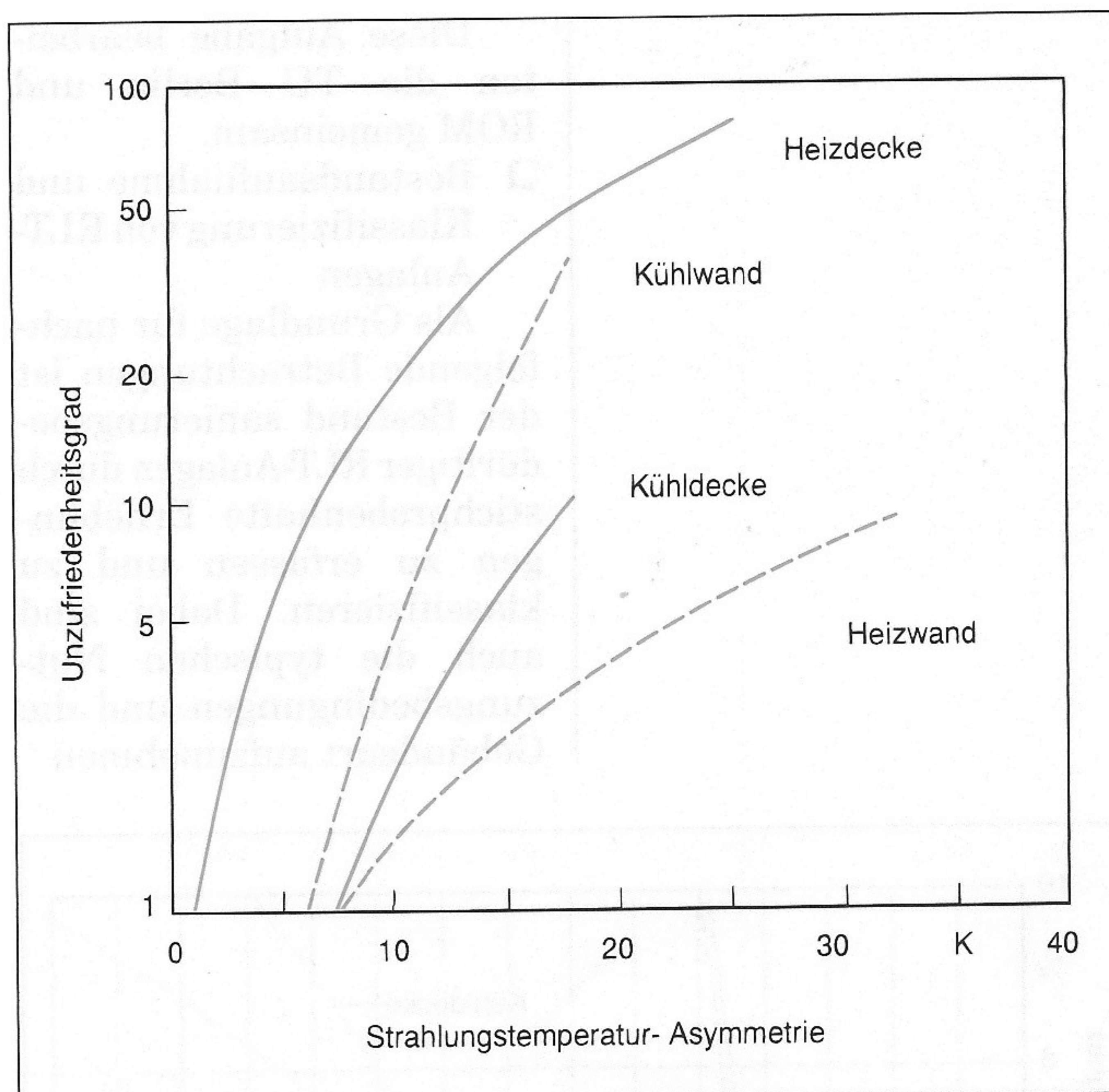
- Raummodelle mit integrierten Heiz- und Kühlflächen.

Herkömmliche Berechnungsverfahren für den Heiz- bzw. Kühlenergiebedarf berücksichtigen den inneren Wärmestrahlungsaustausch im Raum nicht oder nur ungenügend. Es sind rechnerische Raummodelle zu erstellen, die die Funktionsweise großflächiger Heiz- und Kühlflächen und deren Wirkung auf den Menschen genauer beschreiben.

- Behaglichkeitskriterien
- Die behaglichkeitsrelevanten Kriterien für den Einsatz thermisch aktiver Flächen sind zu untersuchen und gegebenenfalls zu ergänzen. Speziell trifft dies für die Strahlungstemperatur-Asymmetrie zu. Die bisherigen Aussagen in prEN 1752 (Entwurf 12/94) (Bild 4) und DIN 1946/02 zu diesem Thema halten einer wissenschaftlichen Überprüfung nicht stand und sind auch nicht erfahrungskonform. Nach [6] ist die zulässige Strahlungstemperatur-Asymmetrie entsprechend Bild 5 zutreffend.

- Auslegung, Kombinationsmöglichkeiten

Mit den Ergebnissen der beiden vorgenannten Punkte sind praxisgerechte Regeln und Richtlinien für die Auslegung zu erarbeiten, die einen wirtschaftlichen und gleichermaßen komfor-



tablen Betrieb gestatten. Dabei sollten die Möglichkeiten für den kombinierten Einsatz als Heiz- und Kühlflächen und die dazu erforderlichen regelungstechnischen Anforderungen untersucht werden.

- Energetische Vergleiche mit anderen Heiz- und Kühlsystemen

Die zu erwartenden energetischen Vorteile großflächiger Heiz- bzw. Kühlflächen gegenüber herkömmlichen Systemen, resultierend aus Wärmetransport- und Wärmeübertragungsmechanismen, sind herauszuarbeiten und nachvollziehbar darzustellen.

Im Ergebnis soll ein objektives Kriterium für den Heiz- und Kühlflächeneinsatz vorliegen.

Energieoptimierte Sanierung bestehender RLT-Anlagen

Die wichtigsten Typen von sanierungsbedürftigen Altanlagen sind zu erfassen und zu klassifizieren und dafür optimale Sanierungskonzepte zu erarbeiten.

Daraus lassen sich dann die Energieeinsparpotentiale ermitteln und Empfehlungen für gesetzgeberische Verordnungen ableiten.

Bild 4: Zulässige Strahlungstemperatur-Asymmetrie bezogen auf ein Flächenteilchen in 0,6 m Höhe über dem Fußboden (Anordnung waagrecht bei Deckenheizung und -kühlung; Anordnung senkrecht bei Wandheizung und -kühlung) nach FANGER



Diese Aufgabe bearbeiten die TU Berlin und ROM gemeinsam.

□ Bestandsaufnahme und Klassifizierung von RLT-Anlagen

Als Grundlage für nachfolgende Betrachtungen ist der Bestand sanierungsbedürftiger RLT-Anlagen durch stichprobenhafte Erhebungen zu erfassen und zu klassifizieren. Dabei sind auch die typischen Nutzungsbedingungen und die Gebäudeart aufzunehmen.

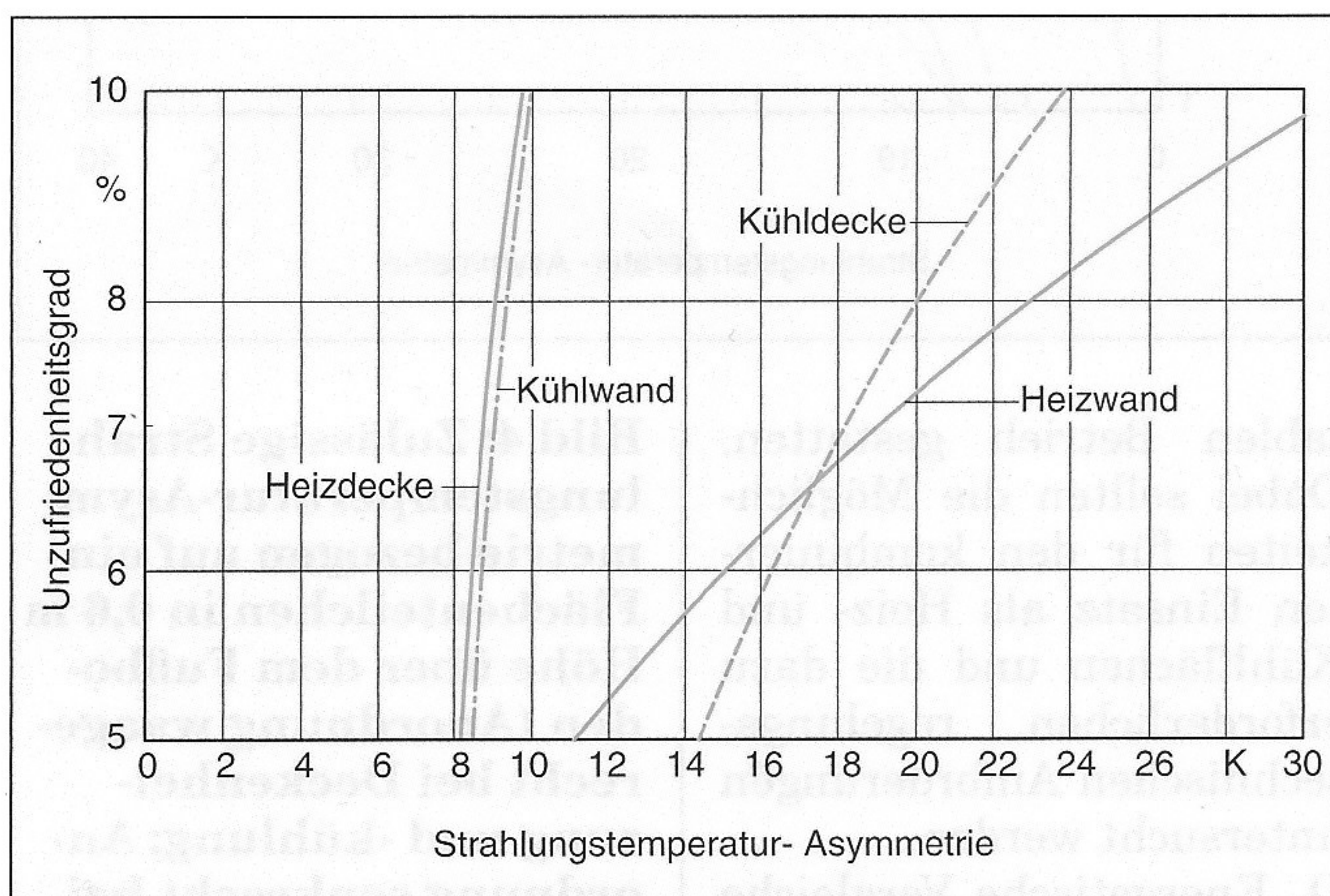


Bild 5: Zulässige Strahlungstemperatur-Asymmetrie bezogen auf ein würfelförmiges Element in Kopfhöhe nach GLÜCK auf Grundlage der FANGERschen Untersuchungsergebnisse

□ Sanierungskonzepte, Entscheidungshilfen und Rangfolgen

Für unterschiedliche Anlagensysteme sind Sanierungsmaßnahmen vorzuschlagen und hinsichtlich ihrer Effizienz zu bewerten. Daraus ableitend sind möglichst allgemeingültige, praxiserprobte Entscheidungshilfen für die richtige Wahl der Rangfolge verschiedener Sanierungsmaßnahmen zu erstellen.

□ Abschätzung des Energieeinsparpotentials und der Investitionen

Für die klassifizierten Anlagentypen und die vorgeschlagenen Sanierungsmaßnahmen sind das zu erwartende Energieeinsparpotential und der dafür nötige Investitionsaufwand zu bestimmen.

Die Ergebnisse sollen als Grundlage für Einzelentscheidungen bzw. gesetzgeberische Verordnungen verwendbar sein.

Energieoptimierte Fassadensysteme

Die sanierungsbedürftigen Klimaanlage, die hier betrachtet werden, befinden sich in Gebäuden, welche vor 20 bis 30 Jahren gebaut wurden. Diese Gebäude haben in der Regel keine gesteuerten äußeren Verschattungseinrichtungen. Sie wären – soweit architektonisch vertretbar – nachzurüsten. Dies bedarf einer neuen Fassadengestaltung. Dabei sind auch die Möglichkeiten zur passiven, eventuell auch zur aktiven Solarenergienutzung mit einzubeziehen. Die Hauptaufgaben werden von der TU München untersucht.

□ Systeme zur verstärkten Solarenergienutzung

Vor dem Hintergrund der Gebäudesanierung werden die Möglichkeiten zur verstärkten Solarenergienutzung unterschiedlicher Fassadensysteme untersucht.

□ Energetische Simulationsmodelle

Mit Hilfe von Modellen für die energetische Simulation werden die verschiedenen Fassadensysteme und die erarbeiteten Systemvorschläge untersucht und hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit energetisch bewertet.

□ Vereinfachte Auswahlkriterien

Aus den vorstehenden Ergebnissen sollen vereinfachte, praxiserprobte Berechnungsverfahren entwickelt werden, die bei Sanierungsvorhaben zur Entscheidungsfindung beitragen können.

□ Einbindung der Systeme in die RLT-Anlage

Im Hinblick auf neue Möglichkeiten zur solaren Kühlung werden Vorschläge für die Einbindung in die RLT-Anlage erstellt, um den jährlichen Nutzungsgrad von Solarfassaden zu maximieren. An Hand energetischer Simulationen ist der wirtschaftliche Effekt nachzuweisen.

Im Ergebnis sind die Grundlagen für eine praxiserprobte Entscheidungsfindung zur Nutzung der solaren »Fassadenenergie« darzulegen.

Verlauf der Arbeiten

Die umfangreiche, komplexe Aufgabe kann nur durch eine gemeinsame, gut abgestimmte Arbeit der Vertragspartner gelöst werden. Der Beginn der Arbeiten erfolgte leider nicht zeitgleich, mittlerweile arbeiten aber alle Partner sehr intensiv an diesem Thema. Der Abschlußtermin ist 1998.

Literatur

- [1] Diehl, J.; Glück, B.: Wärmeschutzverordnung – echte Energiesparverordnung? CCI 10/1995
- [2] Esdorn, H.: Einzelheiten zur Kühllastberechnung. Einfluß des Raumkühlverfahrens und der Bezugstemperatur auf die Kühllast von Räumen. HLH 4/1994
- [3] Glück, B.: Kühldeckenleistung: Vom Prüfstand in die Praxis? CCI 11/1995
- [4] Glück, B.: Komplexe Simulation – Voraussetzung zur Energieoptimierung. Planung von Gebäude- und Anlagentechnik erfordert Systembetrachtung. HLH 3/1995
- [5] Glück, B.: Optimierung eines klimatechnischen Prozesses. GI 3...5/1994
- [6] Glück, B.: Zulässige Strahlungstemperatur-Asymmetrie. GI 6/1994