

KOSTEN-NUTZEN-VERGLEICH RAUMKLIMASYSTEME

Behaglichkeit schaffen und trotzdem Kosten sparen

Im Rahmen der Projektentwicklung und Projektplanung wird es – nicht zuletzt aufgrund belastender CO₂-Emissionen und explodierender Energiepreise – immer wichtiger, frühzeitig valide Aussagen zu möglichen und sinnvollen Raumklimakonzepten zu treffen. Hierbei geht es gleichzeitig stets um die Frage: Welches Raumklimasystem ist für das Gebäude mit seiner spezifischen Nutzung und Bauweise optimal? Das Autoren-Duo Steffen Krüger und Bernhard Pfeifer gibt Antwort.

Zur Beantwortung der Frage wird eine strukturierte Kostenbewertung sowie eine Nutzenbewertung für unterschiedliche Anwendungsfälle durchgeführt und diese abschließend im Rahmen eines bewerteten Kosten-Nutzen-Faktors zusammengeführt. Mit dieser Bewertung wird eine Möglichkeit aufgezeigt, unterschiedliche Varianten im Rahmen einer Kennzahl zu verdichten und bezogen auf die Nutzung und das Zweck Gebäude eine optimale Variante herauszuarbeiten.

Der Faktor Behaglichkeit spielt dabei eine wichtige Rolle. Behaglichkeit stellt sich bei einem thermischen Gleichgewicht des Körpers mit den physikalischen Umwelteinflüssen und im Wechselspiel mit weiteren sich beeinflussenden Faktoren ein. Im Bezug auf den unbauten Raum beinhaltet Behaglichkeit auch die Wechselwirkung zwischen dem Menschen und dem Raum. Die temperatur- und feuchtigkeitsbeeinflussenden Parameter werden unter dem Begriff der thermischen Behaglichkeit subsumiert.

Raumklima und Einflussfaktoren

Im modernen Gebrauch umfasst das Wort Klima die physikalischen und physischen Einflüsse sowie Gegebenheiten in der Umwelt. Alle technischen Systeme, die die thermische Behaglichkeit beeinflussen, werden somit unter dem Begriff der Raumklimatechnik zusammengefasst, wobei immer das Innenraumklima gemeint ist.

Als Raumklimasystem ist somit eine variierende Kombination von verschiedenen Klimakomponenten, die ein zusammenhängendes, geordnetes Ganzes ergeben, zu verstehen. Dieses geordnete Ganze ist besonders wichtig, da die Erfahrung zeigt, dass vielfach unterschiedliche Systeme ohne erkennbaren Zusammenhang oder erkennbares Zusammenwirken kombiniert werden, was nicht zur Steigerung der thermischen Behaglichkeit und des Wohlbefindens beiträgt.

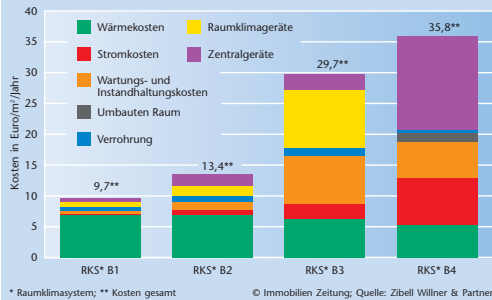
Die Raumlufttemperatur ist einer der Hauptausflussfaktoren für die Behaglichkeit. Für normale Bekleidung und Büro-tätigkeit wird im Winter eine Lufttemperatur von 22°C und im Sommer bei einer mittleren Außentemperatur eine Lufttemperatur von 22 bis 24°C empfohlen. Darüber hinaus ist die Raumlufttemperatur bei steigender Außenlufttemperatur anzuhöhen, so dass sie maximal 1 K höher (K) als die Außenlufttemperatur liegt. Aufgrund des Adaptionsverhaltens der Menschen ist jedoch für die Festlegung der Raumlufttemperatur auch die Aufenthaltsdauer zu berücksichtigen. So kann bei einem kurzen Aufenthalt in einem Kaufhaus eine geringe Differenz zur Außenlufttemperatur als behaglich empfunden werden, während die gleichen Temperaturen bei längerem Aufenthalt, wie z.B. Büro-nutzung, als unbehaglich gelten.

Ein weiterer wesentlicher Einflussparameter auf die Behaglichkeit ist die Temperatur der Raumschließungsflächen. Mit den Umschließungsflächen steht der Nutzer im Strahlungsaustausch, d.h. die Wärmeübergabe durch Strahlung und somit auch die der Konvektion und Verdunstungskühlung wird hierdurch beeinflusst. Günstig im Bezug auf die Behaglichkeit stellt sich eine möglichst gleichmäßige Temperaturverteilung sämtlicher Raumschließungsflächen in der Nähe der Raumtemperatur dar. Sollten einzelne Flächen stark über- oder untertemperiert werden, so spricht man von einer Strahlungstemperatur-Asymmetrie. Diese führt zu einer asymmetrischen thermischen Belastung des Körpers und damit zu Unbehagen. Günstig sind insofern alle thermisch regulierenden Systeme, die großflächig mit geringer Temperaturdifferenz zum Raum fasst man die Temperaturen der Raumluft und Raumschließungsflächen zusammen, so spricht man von der örtlich operativen Raumtemperatur oder Empfindungstemperatur. Sie wird näherungsweise als der Durchschnittswert von Temperatur der Raumluft und Raumschließungsflächen definiert. Die Temperaturdifferenz zwischen beiden Komponenten sollte nicht höher als 3 K sein.

Um einzelne Klimakonzepte bewerten zu können, ist es notwendig, eine entsprechende Nutzeranforderung mit Nutzungsprofil zugrunde zu legen. Hierzu sind im Folgenden fünf unterschiedliche Nutzungen in einer typischen Ausprägung in ein Büro-raum, Hotelzimmer, Bettzimmer, Krankenhaus, Aufenthaltsraum, Kindertagesstätte und ein Museumsausstellungsraum. Für alle Nutzungen wurden einzelne Raummodelle mit einem je Nutzung typischen

Kosten Raumklimasystem:

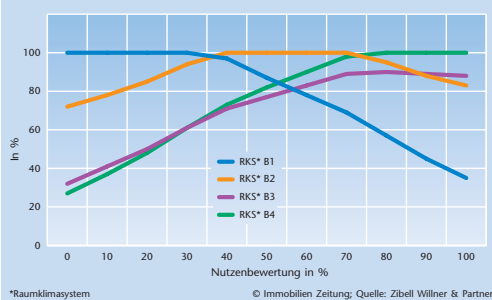
Die zentrale Lüftung geht ins Geld



* Raumklimasystem; ** Kosten gesamt © Immobilien Zeitung; Quelle: Zibell Willner & Partner

Kosten-Nutzen-Analyse Büro:

Variante B3 hat wenig Nutzen und ist zu teuer



*Raumklimasystem © Immobilien Zeitung; Quelle: Zibell Willner & Partner

Aufbau, der nachfolgend für einen Büro-raum dargestellt wird, zugrunde gelegt.

Gebäude- und Raumnutzungen

Als Büroraum für zwei Personen wird ein für heutige Bauweise typischer Aufbau in Form eines Dreiecks mit 1,35 m Achs-ster gewählt. Der Boden wird als Hohlraumboden flächendeckend ausgebildet, auf dem die Trennwände als Trockenbauwände bis zur Rohdecke angeordnet sind. Zugunsten der Speichermaße erhält der Raum keine Abhangdecke. Die Fassade ist durch ein Fensterband mit darunterliegender Brüstung aufgebaut.

Als Behaglichkeitskriterien werden die folgenden Parameter in der weiteren Bewertung berücksichtigt: operative Raumtemperatur, relative Raumluftfeuchte, notwendiger Außenluftvolumenstrom, zulässige Raumluftgeschwindigkeiten und zulässige Schalldruckpegel.

Innerhalb der einzelnen Nutzungen sind die Parameter unterschiedlich zu gewichten. So hat beispielsweise die Fußbodenoberflächen-temperatur in einer Kindertagesstätte eine andere Wertigkeit als in einem Büro oder Hotelzimmer. Darüber hinaus ist die Einhaltung der Raumluftfeuchte in einem

Museum ein höherwertiges Kriterium, als dies bei allen anderen Nutzungen darstellt.

Bei heutigen Projektentwicklungen ist vermehrt eine diversifizierte Bauherrenschicht bzw. Bauherrenfunktion festzustellen. In den seltensten Fällen ist der Bauherr Investor, Nutzer und Betreiber in einem. Meistens sind eine Vielzahl von Teilscheidungs-trägern wie Fondsmanager zur Finanzierung, Vermietungsmakler, verschiedene Nutzer, Projektentwickler, Projektsteuerer und Facility-Manager eingebunden. Alle wollen dabei abgesicherte Teilscheidungen treffen, die der Planer vorzubereiten hat. Diese Vorbereitung hat vor dem Hintergrund zu erfolgen, dass der Nutzer häufig erst sehr spät während der laufenden Planung feststeht.

Das Beispiel Büro-nutzung

Um die Investitionsentscheidung systematisch, nachvollziehbar und professionell vorzubereiten, wird im Folgenden die Kosten-Nutzen-Analyse angewendet. Sie versucht, die Wohlbefindenssteigerung unter Verwendung von knappen finanziellen Ressourcen zu maximieren. Letztlich handelt es sich immer um eine Effizienz-ent-

scheidung, bei der Kostengesichtspunkte mit dem Nutzen verknüpft werden.

Für die Analyse der Büro-nutzung werden für einen Büroraum folgende Raumklima-varianten untersucht:

- RKS B1: Fensterlüftung, Heizkörper;
- RKS B2: Fensterlüftung, Heizkörper, Umluftkühlung;
- RKS B3: dezentrale Lüftung, Umluft-heizung, Umluftkühlung;
- RKS B4: zentrale Lüftung.

Bei der Kostenanalyse sind sowohl die Investitionskosten als auch die Betriebskosten zu betrachten. Wichtig ist dabei, dass der Betrachtungshorizont die Nutzungsdauer beinhaltet, und alle Kostenbestandteile entsprechend abgezinst werden. Sinnvollerweise sollten auch inflationäre Einflüsse berücksichtigt werden. Hierdurch erfolgt ein Vergleich auf der Barwertgrundlage. Bei den Betriebskosten ist darüber hinaus die Veränderung der Energiekosten zu berücksichtigen. (Auszugsweise kann dies wie im nebenstehenden Balken-Diagramm abgebildet werden.)

Die größte Schwierigkeit bei der Kosten-Nutzen-Analyse ergibt sich daraus, dass der Nutzen von immateriellen Werten nicht oder kaum messbar ist. Hier gilt es, in geeigneter Weise eine Nutzenfunktion abzudeckeln. Der Nutzen einer Raumklimavariante ergibt sich vorwiegend aus den genannten Behaglichkeitskriterien wie auch aus übergeordneten Umweltgesichtspunkten. Dies wird durch eine Nutzenanalyse betrachtet. Die Nutzenwertanalyse ist nachvollziehbarer und überprüfbarer. Bei ihr werden keine Informationen aufgrund mangelnder Quantifizierbarkeit systematisch ausgeblendet.

Die Fokussierung liegt nicht ausschließlich auf dem finanziellen Nutzen und Betriebskosten einerseits sowie Nutzungsgesichtspunkte andererseits erfolgte auch in der Vergangenheit. Was bisher nicht erfolgte, ist die Aggregation der beiden Werte innerhalb einer Kennzahl. Anhand dieser Kennzahl sollte es dann möglich sein, entsprechend den Präferenzen von Kosten- und Nutzungsgesichtspunkten eine eindeutige Auswahl des Raumklimasystems zu treffen. So wird dann das Optimum aus der Kostenminimierung und Nutzenmaximierung bestimmt. Die Herstell- und Betriebskosten lassen sich einfach addieren, wobei auch hier je nach Präferenz eine Wertung vorgenommen werden kann.

Der Kosten-Nutzen-Faktor

Der Kosten-Nutzen-Faktor (KNF) ergibt sich nun aus der Summierung der beiden normierten Kosten- und Nutzenwerte (Variante mit maximalem Nutzen wird auf 100% gebracht), wobei hier eine Wertung entsprechend der Präferenz vorgenommen werden kann. Da steigende Kosten bei den einzelnen Raumklimavarianten zu einer Senkung der Auswahlwahrscheinlichkeit führen, sind die Kosten als reziproker Wert zu verwenden. Um die Kosten mit dem Nutzen in Verbindung zu bringen, würde ein einheitlicher Bezug mit prozentualer Kostenbewertung (Kosten der Variante im Verhältnis zu dem maximalen Kosten einer Variante) hergestellt (siehe folgende Formeladaption).

Nach der Bewertung der Raumklimavarianten hinsichtlich Kosten und Nutzen ist nun die Variante mit dem maximalen Kosten-Nutzen-Faktor zu wählen.

Da die Entscheidung zugunsten oder zulasten eines Raumklimasystems wesentlich von der Wertigkeit von Kosten und Nutzen (wk und wn) abhängt, werden die

$$KNF_i = kbw_{n,i} \cdot wk + nn \cdot wn$$

wobei $wk + wn = 1$

KNF: Kosten-Nutzen-Faktor der Variante i
 wk: Wertigkeit des Kosten
 wn: Wertigkeit des Nutzen
 kbw_{n,i}: bewertete reziproke Kosten, prozentual normiert
 nn: normierter Nutzen

Raumklimasysteme nachfolgend entsprechend der Nutzenpräferenz aufgetragen dargestellt. Die Wertigkeit der Kosten ist jeweils ergäuzend auf der Abszisse zu 100% abzulesen. Wie man der Abbildung (siehe das Linien-Diagramm) entnehmen kann, ist das Raumklimasystem B1 bis zu einer Nutzenbewertung von ca. 35% (d.h. die Kosten gehen mit 65% in die Bewertung ein) zu wählen. Ab einer Nutzenbewertung von 75% sollte das Raumklimasystem B4 angewendet werden. Das Raumklimasystem B3 ist aufgrund des zu geringen Nutzens bei zu hohen Kosten in keinem Fall zu wählen.

Robuste Planungsalternativen

Für Investoren, Projektentwickler, Vermietungsmakler und alle weiteren Projektbeteiligten mit Bauherrenfunktionen stellt die Kosten-Nutzen-Analyse für Raumklimasysteme ein geeignetes Instrument zur validen Auswahl eines Systems dar. Neben der Kostenbewertung aus Investitions- und Betriebskosten lassen sich mit der Nutzenbewertung Behaglichkeits-, Umwelt- und sonstige Aspekte bewerten. Durch die Ver-



„Innerhalb der einzelnen Nutzungen sind die Parameter unterschiedlich zu gewichten.“
Bernhard Pfeifer



„Die Fokussierung liegt nicht ausschließlich auf dem finanziellen Nutzen.“
Steffen Krüger

dichtung zu einer Kennzahl lassen sich unterschiedliche Raum- und Gebäudenutzen in vergleichender Art darstellen und gesichert auswählen. Darüber hinaus ist es möglich, die Rangfolge von Planungsalternativen unter Darlegung der Nutzenbewertung zu ermitteln und auf ihre Robustheit gegenüber Änderungen einzelner Parameter zu überprüfen. (ae)

Die Autoren: Dipl.-Ing. und Dipl.-Kfm. Bernhard Pfeifer und Dipl.-Ing. Steffen Krüger, Zibell Willner & Partner Ingenieurbüro für Technische Gebäudeausrüstung, Köln.

Variantevergleich für Raumklimasysteme

Hotelzimmer	Krankenzimmer
RKS H1: Fensterlüftung, Heizkörper	RKS K1: Fensterlüftung, Heizkörper
RKS H2: Fensterlüftung, Heizkörper, Umluftkühlung	RKS K2: Fensterlüftung, Heizkörper/BTA, Bauteilaktivierung
RKS H3: zentrale Lüftung, Heizkörper, Umluftkühlung	RKS K3: zentrale Lüftung, Heizkörper/BTA, Bauteilaktivierung
RKS H4: zentrale Lüftung, Umluftheizung, Umluftkühlung	RKS K4: zentrale Lüftung, Heizkörper, Umluftkühlung

Vergleicht man die Raumklimasysteme, wird deutlich, dass entweder die Low-Cost-Variante mit Fensterlüftung und statischen Heizkörpern oder die Variante mit zentraler Lüftung und Umluftheizung und -kühlung eingesetzt werden sollte. Bei den Varianten RKS H2 und RKS H3 mit Heizkörpern und Umluftkühlern steigen die Herstellkosten mehr als der Nutzwert.

Kindertagesstätte	Ausstellungsraum im Museum
RKS T1: Fensterlüftung, Heizkörper	RKS M1: Fensterlüftung, Heizkörper/BTA, Bauteilaktivierung
RKS T2: Fensterlüftung, Fußbodenheizung	RKS M2: dezentrale Lüftung, Bauteilaktivierung
RKS T3: Fensterlüftung, Fußbodenheizung, Fußbodenkühlung	RKS M3: zentrale Lüftung, Heizkörper/BTA, Bauteilaktivierung
RKS T4: zentrale Lüftung, Fußbodenheizung, Kühlung mit zentraler Lüftung	RKS M4: zentrale Lüftung, Heizkörper, Kühlung

Hier wird erkennbar, dass die Bauteilaktivierung als alleiniges System zum Heizen und Kühlen nicht ausreichend ist. Über große Teile der Nutzenbewertung ist die zentrale Lüftung mit statischen Heizflächen und Bauteilaktivierung zur ergänzenden Heizung und Kühlung anzusetzen. Das System mit Kühldecke wird erst dann sinnvoll, wenn erhöhte Innenlasten abgefahren werden müssen.