

Entwicklung einer Methode zum Vergleich der tatsächlichen Energieeffizienz von Gebäuden

Prof. Brian Cody, Graz (Österreich)

Alle reden heute von Energieeffizienz; viele meinen dabei jedoch in Wirklichkeit Energieverbrauch und dessen Senkung. Die aktuellen Vorschriften und Gesetze, die sich mit der Energieeffizienz von Gebäuden befassen, einschließlich der neuen EU-Direktive über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden [1] und insbesondere die Methoden, welche derzeit in den verschiedenen Mitgliedsstaaten vorgeschlagen werden, um die Energieeffizienz von Gebäuden gemäß dieser Richtlinie zu berechnen, befassen sich lediglich mit Energiebedarf und nicht mit Energieeffizienz.

Autor



Prof. Brian Cody ist Universitätsprofessor und Vorstand des Instituts für Gebäude und Energie an der Technischen Universität Graz, wissenschaftlicher Berater des weltweit operierenden Ingenieurbüros Arup und Gastprofessor an der Universität für angewandte Kunst in Wien.

In diesem Beitrag wird eine Methode beschrieben, welche einen umfassenden Vergleich der Energieeffizienz von verschiedenen Gebäudeoptionen ermöglicht. Energieeffizienz wird hier als das Verhältnis zwischen der Qualität des Raumklimas und der Quantität des notwendigen Energiebedarfs, um dieses Raumklima aufrecht zu halten, verstanden. Die vorgeschlagene Methode berücksichtigt den Zusammenhang zwischen Energiebedarf und Raumklima und der berechnete BEEP-Wert ist ein Indikator für die Gesamtpformance des Gebäudes hinsichtlich Energiebedarf und Raumklima (Building Energy and Environmental Performance).

Einleitung

Die wirkliche Bedeutung von Energieeffizienz muss sowohl die raumklimatischen Bedingungen berücksichtigen als auch den Energieaufwand, der notwendig ist, um diese aufrecht zu erhalten. Ich behaupte, dass die Energieeffizienz eines Gebäudes, zumindest aus thermischer Sicht, als Verhältnis zwischen der Qualität des Raumklimas in einem Gebäude und der Quantität des Energiebedarfs, der aufgewendet werden muss, um dieses Raumklima zu erhalten, ausgedrückt werden kann und sollte. Die ökonomische Bedeutung der Beziehung zwischen thermischer Behaglichkeit und Produktivität wird zunehmend erkannt [2]. Die wirkliche Herausforderung ist, optimierte thermische Behaglichkeit und minimierten Energiebedarf in Einklang zu bringen. Zukünftige Mieter und Käufer von Gebäuden sollen über wesentliche Gebäudeeigenschaften informiert sein, wenn sie ein Gebäude anmieten bzw. kaufen – ein Zertifikat mit einem Energiebedarfskennwert sagt nicht viel aus, wenn Informationen über die Qualität des damit einhergehenden thermischen Raumklimas nicht zur Verfügung stehen. Der derzeitige einseitige Ansatz mit Schwerpunkt auf Energiebedarfsbetrachtungen kann zu Situationen führen, bei denen hohe Energieeffizienz nur auf dem Papier erreicht wird. Ist das Raumklima unbefriedigend, so werden Systeme nachjustiert und auf-

gerüstet bzw. neue Systeme installiert, um das Raumklima zu verbessern – auf Kosten des Energiebedarfs. Wir brauchen eine Methode, bei der sowohl das Ausmaß des Energiebedarfs als auch die Qualität des Raumklimas quantitativ beurteilt werden können, um einen wirklichen Vergleich verschiedener Gebäudeoptionen zu erlauben.

Methodik

Ziel der Studie war die Entwicklung einer Methode, bei der die Abbildung verschiedener Gebäudeoptionen als Punkte in einem Diagramm den Vergleich der Energieeffizienz der Optionen ermöglicht. Um die Energieeffizienz der untersuchten Optionen festzustellen, ist es notwendig, die Qualität des Raumklimas mit dem hierfür notwendigen Energieaufwand in eine Beziehung zu setzen. Es wird hier vorgeschlagen, dass die Qualität des Raumklimas durch die Anzahl der Stunden mit unzureichender Behaglichkeit repräsentiert werden soll. Diese wiederum werden der Anzahl der Arbeitsstunden mit der Kondition PPD > 10 % gleichgesetzt. PPD („Predicted Percentage Dissatisfied“) gibt den Prozentsatz der Personen wieder, welche mit der thermischen Umgebung wahrscheinlich unzufrieden sein würden [3]. In der ISO 7730 wird ein PPD-Wert von kleiner als ca. 10 % empfohlen [4].

Um die Eignung der vorgeschlagenen Methode zu überprüfen, wurden vier Entwurfsvarianten für ein Bürogebäude mittels thermischer Simulationen untersucht und in das BEEP-Diagramm eingetragen. Die untersuchten Optionen sind verschiedene Entwurfsvarianten für ein hypothetisches Bürogebäude mit Orientierung der Hauptfassaden nach Osten und Westen in der Stadt Wien (s. Bild 1). Die erste Entwurfsvariante sieht eine Fassade mit einem Fensteranteil von ca. 70 % und nicht offenbaren Fenster vor und ist vollklimatisiert. Die zweite Variante hat eine voll verglaste Fassade mit einem hochselektiven Sonnenschutzglas, innen liegenden Verschattungseinrichtungen und nicht offenbaren Fenster. Eine Vollklimatisierung ist hier ebenfalls vorgesehen. Das dritte Gebäude hat ei-

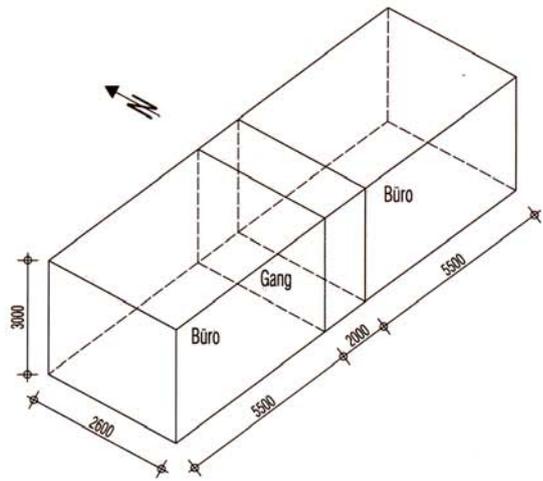
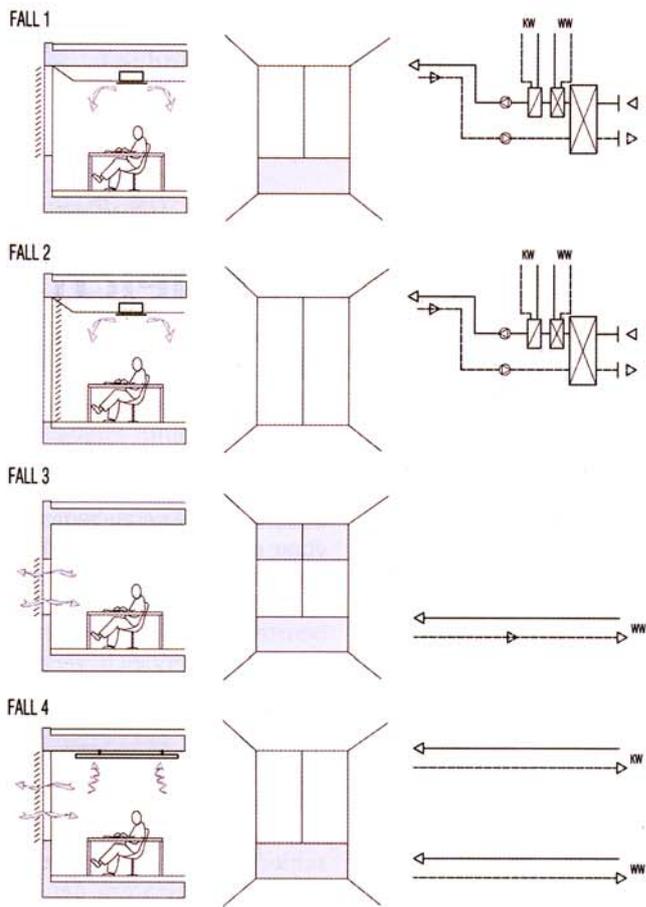


Bild 1
Fallstudien und Modellgeometrie

nen 40 %-igen Fensteranteil, außen liegende Sonnenschutzvorrichtungen und öffentbare Fenster. Eine Kühlung ist nicht vorgesehen. Freiliegende Betondecken in Kombination mit nächtlicher Lüftung werden verwendet, um eine sommerliche Überhitzung zu entgegnen. Beim vierten Gebäude sind Fassaden mit einem ca. 70 %-igen Fensteranteil und außen liegenden Sonnenschutzvorrichtungen, Fensterlüftung, Kühlung sowie freiliegende Betondecken in Kombination mit nächtlicher Lüftung vorgesehen. Für die thermischen Simulationen wurde ein repräsentativer Gebäudeausschnitt

verwendet (s. Bild 1). Folgende Annahmen wurden dabei getroffen:

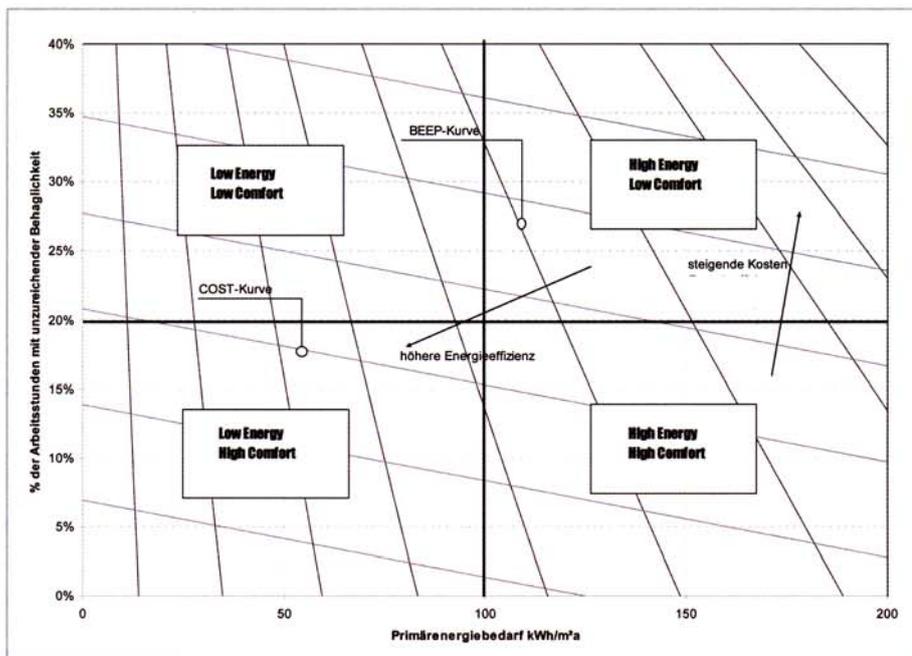
- Bürozeiten von 09:00 bis 17:00 Uhr
- Raumsollwert im Sommer 24 °C
- Raumsollwert im Winter 22 °C (Nachabsenkung auf 16 °C)
- normale Innenlasten (1 Person je 14 m², 15 W/m² Büromaschinen, 15 W/m² Beleuchtung)
- Fensterrahmen 10 %
- keine Befeuchtung im Winter
- Zulufttemperatur 20 °C ganzjährig
- Flurbereich nicht belüftet
- Lüftungsanlage im Betrieb von 08:00 bis 18:00 Uhr

- nächtliche Lüftung von 00:00 bis 06:00 Uhr, Mai bis Sept., Annahme 1,5 LW/h konstant
- eine konstante Luftwechselrate von 2 LW/h wird bei natürlicher Lüftung angenommen
- Fensteranteil ist bezogen auf die innere Wandfläche (vom Büro aus gesehen)
- Innenwände werden als adiabat angenommen

Die Annahme eines konstanten 2-fachen Luftwechsels bei den Varianten mit natürlicher Lüftung ist natürlich eine starke Vereinfachung, die möglicherweise zur Überschätzung des Heizbedarfs im Winter und der sommerlichen Überhitzung führen könnte. Vergleiche mit früheren detaillierten Studien zu energetischen Aspekten der natürlichen Lüftung in Bürogebäuden zeigen jedoch, dass die Ergebnisse mit denen der mittels viel komplexerer Modelle erzielten Untersuchungen gut übereinstimmen

	Alternative 1	Alternative 2	Alternative 3	Alternative 4
Fensteranteil	73 %	100 %	40 %	73 %
U-Wert des Fensters	1.3	1.5	1.5	1.3
g-Wert des Glases	62 %	36 %	62 %	62 %
Lichttransmissionsgrad des Glases	80 %	66 %	80 %	80 %
Öffentbare Fenster	nein	nein	ja	ja
Position des Sonnenschutzes	außen liegend	innen liegend	außen liegend	außen liegend
Sonnenschutz-Schwellenwert	200 W/m ²	200 W/m ²	200 W/m ²	200 W/m ²
U-Wert der Wand	0.3		0.5	0.3
Abgehängte Decke	ja	ja	nein	nein
Kühlung	ja	ja	nein	ja
Lüftung	mechanisch	mechanisch	natürlich	natürlich
Luftwechselrate	2.5 LW/h	2.5 LW/h	2 LW/h	2 LW/h
Entfeuchtung	ja	ja	nein	nein
Wärmerückgewinnungswirkungsgrad	70 %	50 %	keine	keine
Verfügbare Wärmeleistung (W/m ²)	70	70	70	70
Verfügbare Kühlleistung (W/m ²)	50	50	0	50
Nächtliche Lüftung	nein	nein	ja	ja

Tabelle 1
Parameter



[5]. Vor dem Hintergrund des nicht exakt vorhersagbaren Verhaltens der Fensterlüftung durch Personen wird dieser Ansatz für den vorliegenden Zweck als adäquat betrachtet. Weitere Details über die verwendeten Parameter der verschiedenen Optionen enthält die **Tabelle 1**.

Heiz- und Kühllasten wurden mittels dynamischer thermischer Simulation ermittelt. Die Berechnung des Strombedarfs der Ventilatoren basiert auf einen Wert von 3 kW je m³/s Zuluft, ein für mechanische Lüftungsanlagen in europäischen Gebäuden typischer Kennwert. Der Beleuchtungsenergiebedarf wurde anhand einer einfachen Methode überschlägig ermittelt, welche an unserem Institut entwickelt wurde. Damit repräsentiert der Primärenergiebedarf ca. 90 % des gesamten nutzungsunabhängigen Primärenergiebedarfs eines normalen Bürogebäudes (d.h. ohne Büromaschinen, Computer etc.). Warmwasserbereitung, Pumpen und Aufzüge sind nicht inkludiert.

Ergebnisse

Zum Vergleich der Energieeffizienz verschiedener Gebäudeoptionen wurde das BEEP-Diagramm (**Bild 2**) entwickelt. Die x-Koordinate eines gegebenen Punktes im Diagramm repräsentiert den Primärenergiebedarf (Heizung, Kühlung, Beleuchtung, Luftförderung) des Gebäudes und die y-Koordinate den Prozentsatz der Arbeitsstunden im Jahr, bei denen der PPD-Wert > 10 % ist, als Indikator des erreichten Behaglichkeitsniveaus. Es wird hier vorgeschlagen, Energieeffizienz dem Verhältnis zwischen der Anzahl der Stunden mit akzeptabler Behaglichkeit zu dem Primärenergiebedarf, der notwendig ist, um dieses Behaglichkeitsniveau aufrecht zu erhalten, gleichzusetzen. Dieser Wert wird BEEP-Wert genannt und wird wie folgt berechnet:

Bild 2

BEEP-Diagramm

$$BEEP = \frac{NOH(100 - N)}{100PED} \quad (1)$$

- BEEP Building Energy and Environmental Performance (Einheit: Anzahl der Stunden mit akzeptabler Behaglichkeit je kWh/m²a)
- NOH Anzahl der Stunden im Jahr, bei denen das Büro belegt ist (2080 Stunden wurden bei den vorliegenden Fallstudien angenommen)
- PED Primärenergiebedarf (Heizung, Kühlung, Beleuchtung, Luftförderung) (kWh/m²a)
- N Prozentsatz der Arbeitsstunden mit unzureichender Behaglichkeit (PPD > 10%)

Um einen Vergleich der ökonomischen bzw. finanziellen Auswirkungen der Alternativen im Betrieb zu ermöglichen, wird hier vorgeschlagen, die Energiekosten und die Auswirkungen des Produktivitätsverlustes aufgrund von unzureichender Behaglichkeit zu summieren, und den so ermittelten Wert als Indikator der ökonomischen Kosten der verschiedenen Optionen zu verwenden.

$$COST = (EC)(PED) + (PL) \frac{(SC)(N)}{10000} \quad (2)$$

- COST Indikator der ökonomischen Kosten der untersuchten Variante (Euro/ m²a)
- EC Kosten einer Primärenergieeinheit (0,04 Euro / kWh wurde bei den vorliegenden Fallstudien angenommen)
- SC Personalkosten (EUR 7200/ m²a wurden hier angenommen)
- PL angenommener Produktivitätsverlust (%) für die Zeit, wenn PPD > 10%

Es wird an dieser Stelle angenommen,

dass ein 1%-iger Verlust an Produktivität eintritt, wenn der PPD-Wert größer als 10 % ist. Dies stellt womöglich eine grobe Unterschätzung der Wirkung unzureichender Behaglichkeit auf die Produktivität dar. Die Annahme, dass der Verlust unabhängig der Höhe des PPD-Wertes bei 1 % bleibt, ist natürlich ebenfalls eine Vereinfachung und wahrscheinlich eine Unterschätzung der hier zugrunde liegenden Wechselwirkung. Roelofsen gibt Werte für den Produktivitätsverlust, welche von 3 % bei 10 % PPD anfangen und bis zu 20 % bei 60 % PPD ansteigen [6]. Für den in dieser Studie vorliegenden Zweck – einen Indikator abzubilden, der im Vergleich von verschiedenen Optionen unter ökonomischen Gesichtspunkten herangezogen werden kann – wird dieser Effekt zunächst bewusst unterschätzt. Wie die Ergebnisse der untersuchten Fallstudien hier zeigen werden, ist der mit dem Produktivitätsverlust assoziierte Kosteneffekt sogar bei dem hier angenommenen konstanten Wert von 1 % weitaus gewichtiger als die auftretenden Energiekosten. Weitere Forschungen, die sich mit der Anwendung der verfügbaren Daten hinsichtlich des Zusammenhanges zwischen Behaglichkeit und Produktivitätsverlust bei Methoden wie der hier vorgeschlagenen beschäftigen, sind notwendig.

Das resultierende BEEP-Diagramm kann in vier Felder aufgeteilt werden (s. Bild 2). Das Ziel eines Gebäudeentwurfes sollte natürlich das untere linke Feld sein. Häufig sind Entscheidungen zwischen dem unteren rechten und dem oberen linken Feld zu fällen. Das obere rechte Feld sollte natürlich vermieden werden. BEEP-Kurven im Diagramm verbinden Punkte mit gleichen BEEP-Werten. Gebäude, welche auf der gleichen BEEP-Kurve liegen, haben die gleiche Energieeffizienz. Kurven, die Punkte mit gleichen COST-Werten verbinden, werden COST-Kurven genannt. Gebäude, welche auf der gleichen COST-Kurve liegen, haben ähnliche ökonomische Implikationen im Betrieb. Je höher der BEEP-Wert, desto energieeffizienter ist die Lösung. Ein niedriger COST-Wert bedeutet niedrigere Kosten im Betrieb. Der Grenzwert zwischen Hochenergie- und Niedrigenergielösungen wurde mit 100 kWh/m²a Primärenergiebedarf angenommen. Dieser Wert wird beispielsweise als Grenzwert zur Definition eines Niedrigenergiebürogebäudes in einem deutschen Forschungsprojekt aus dem Jahr 2005 verwendet [7].

Als Grenzwert zwischen hohem und niedrigem Komfort wurde ein Wert von

	Energiebedarf Primärenergie kWh/m ² a	Behaglichkeit		BEEP Wert
		Stunden PPD > 10%	% der Arbeitsstunden	
Alternative 1	117	114.0	5.5%	17
Alternative 2	152	666.0	32.0%	9
Alternative 3	87	704.0	33.8%	16
Alternative 4	85	255.0	12.3%	22

Tabelle 2

Ergebnisse

20 % der Arbeitsstunden mit unzureichender Behaglichkeit gewählt. Dieser Wert mag zunächst hoch erscheinen. Hier muss man sich jedoch vor Augen führen, dass ein Großteil der Bürogebäude in Mitteleuropa im Sommer nicht gekühlt wird, und daher über eine lange Periode im Sommer unbehagliche Raumklimata aufweist. Diese Werte sind naturgemäß in gewissen Maßen beliebig gewählt und müssen ggf. nach weiterer Forschung angepasst werden. Die technologische und gesellschaftliche Entwicklung hat ohnehin zufolge, dass diese nicht statisch sein können. **Tabelle 2** zeigt die Ergebnisse der dynamischen thermischen Simulationen für die vier Entwurfsvarianten, einschließlich der berechneten BEEP-Werte. Der Primärenergiebedarf aus der Simulation des ausgewählten Gebäudeausschnittes wurde mit einem Faktor von 0,85 multipliziert, um den Primärenergiebedarf auf die Bruttogeschoßfläche des Gebäudes zu beziehen. Dieser Faktor basiert auf typischen Erfahrungswerten für die Beziehung zwischen Bürofläche und BGF einerseits und für das Verhältnis zwischen Primärenergiebedarf in den Bürobereichen und in den restlichen Bereichen des Gebäudes andererseits.

Bild 3 zeigt die Aufteilung des Primärenergiebedarfs in die verschiedenen Energienutzungsarten für die untersuchten Alternativen. Im **Bild 4** sind die vier Lösungen im BEEP-Diagramm aufgetragen. Wenn die Lösungen nach den

BEEP- und COST-Werten gereiht werden, ergeben sich beim Vergleich mit einer auf intuitiver Basis vorgenommenen Reihung einige Überraschungen. Interessanterweise ist der BEEP-Wert und somit die Energieeffizienz der Alternative 1 höher als die der Alternative 3. Vom ökonomischen Standpunkt ist die Alternative 1 laut Ergebnis der BEEP-Methode bei weitem am wirtschaftlichsten im Betrieb. Vor der Auftragung ins BEEP-Diagramm wären diese beiden Ergebnisse vielleicht nicht zu erwarten. Vor einer endgültigen Entscheidung müssten natürlich auch die Investitions-, Wartungs- und Instandsetzungskosten der verschiedenen Lösungen berücksichtigt werden. Alternative 2 stellt die ungünstigste Art der Lösung dar; hoher Energiebedarf und niedrige Behaglichkeit. Hinsichtlich der Kosten im Betrieb sind die Alternativen 2 und 3 ähnlich, auch ein eher unerwartetes Ergebnis. Natürlich wären die mit Alternative 2 assoziierten Investitionskosten wahrscheinlich höher. Die Alternative 4 stellt eine "Low Energy High Comfort" Lösung dar und hat den höchsten BEEP-Wert. Bedenkt man, dass die Investitionskosten der Alternative 1 wahrscheinlich höher als die der Alternative 4 sind und, dass der absolute Primärenergiebedarf der Alternative 4 beträchtlich niedriger als der der Alternative 1 sein wird, dann scheint Alternative 4 die beste Lösung darzustellen. Der relativ hohe Prozentsatz der Arbeitsstunden, bei denen das Raumklima

nicht behaglich ist, muss jedoch bedacht werden. Andererseits bestehen verschiedenste bekannte Lösungsansätze für „Low Energy High Comfort“ Gebäude bereits, die deutlich bessere Leistungen als Alternative 4 erbringen würden. Zu beachten ist auch, dass eine Verbesserung der Behaglichkeit der Alternative 4 (und der Alternative 3) durch eine Reduzierung der natürlichen Lüftung im Winter bzw. eine Erhöhung im Sommer wahrscheinlich zu erzielen wäre (s. Annahme bei der Lüftungsrate im Falle der natürlichen Lüftung). Mit anderen Worten besteht ein Potential bei den Alternativen 3 und 4, die Energieeffizienz durch Optimierung der Strategien der natürlichen Lüftung zu verbessern. Beachtenswert ist auch, dass obwohl der Primärenergiebedarf der Alternativen 3 und 4 ähnlich sind, die mittels der vorliegenden Methode ermittelte Energieeffizienz von Alternative 4 deutlich höher ist.

Eine interessante Frage stellt sich hinsichtlich der Alternative 3. Was würde passieren, sollte dieses Gebäude zu einem späteren Zeitpunkt mit einem System der Raumkühlung nachgerüstet werden? Auch diese Option wurde simuliert. Das Ergebnis ist im Bild 4 als Punkt 3' abgebildet. Das Kühlsystem ist das Gleiche wie in Alternative 4. Obwohl eine signifikante Verbesserung der Behaglichkeit und eine Erhöhung des BEEP-Wertes (die Neigung der Nachrüstungskurve ist steiler als die in der Umgebung der Punkte liegenden BEEP-Kurven) hier eintreten, der BEEP-Wert und damit die gesamte Performance hinsichtlich der Energieeffizienz liegt immer noch unter der der Alternative 4. Dieses Ergebnis legt nahe, dass der BEEP-Wert sowohl für den gegenwärtigen Zustand als auch für den nach einer eventuellen Nachrüstung, die zur Erreichung eines gewissen Maßes an Behaglichkeit notwendig wäre, eingetretenen Zustand, berechnet werden sollte.

Diskussion und Schlussfolgerungen

Die hier vorgestellte Methode skizziert einen Ansatz, welcher die Basis für weitere Arbeiten bilden könnte, die sich mit der Entwicklung eines Systems beschäf-

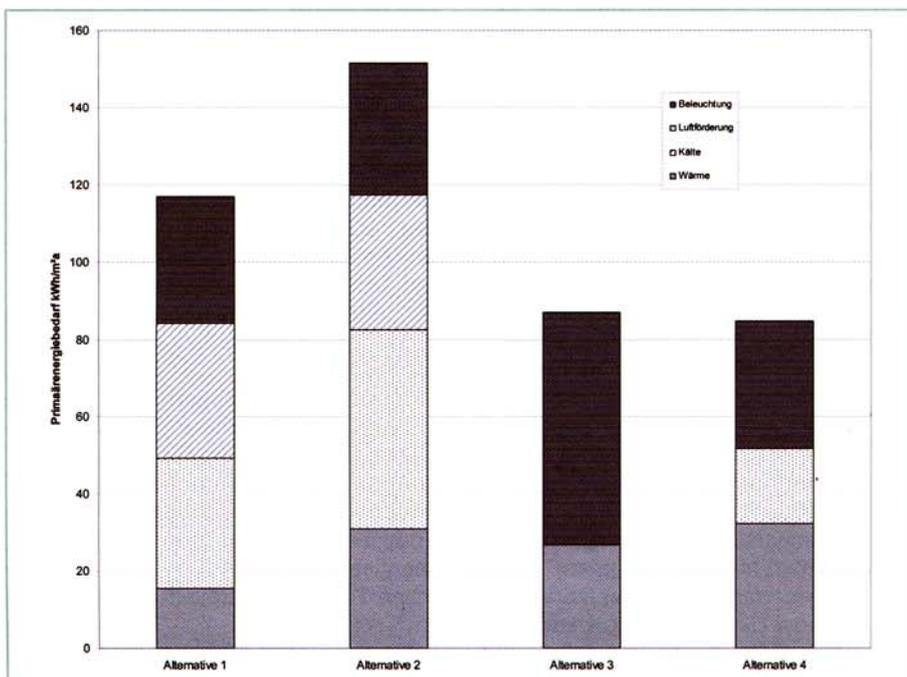
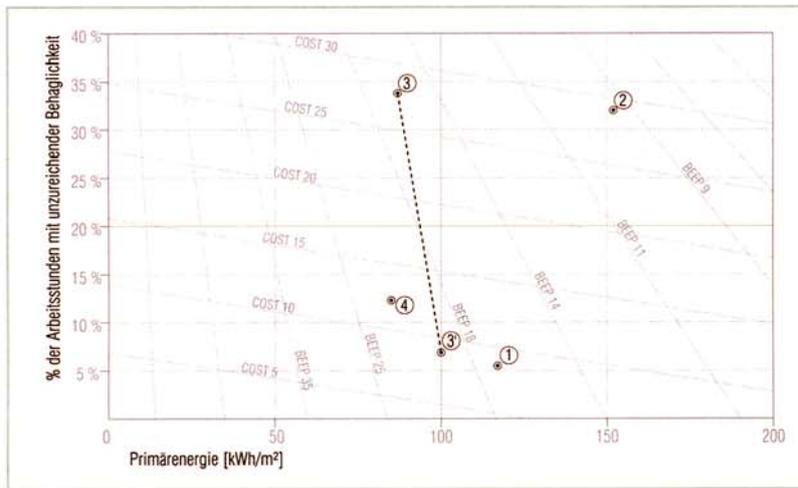


Bild 3

Primärenergiebedarf der verschiedenen Optionen



tigen, welches einen umfassenden Vergleich der Energieeffizienz verschiedener Gebäudeoptionen ermöglicht. Die Fallstudien wurden lediglich zur Überprüfung der Anwendung der Methode verwendet. Die Ergebnisse werden hier nicht mit der Absicht vorgestellt, endgültige Rückschlüsse über die Eignung der verschiedenen Lösungsansätze zu geben. Die Ergebnisse verdeutlichen jedoch, dass beim Vergleich von verschiedenen Optionen ein umfassender Ansatz notwendig ist und, dass Energieeffizienz nicht mit niedrigem Energiebedarf gleichgesetzt werden kann sondern als Verhältnis zwischen Nutzen – in diesem Falle die Qualität des Raumklimas – und dem dafür notwendigen Energieaufwand zu begreifen ist. Dies sollte Teil eines Gesamtansatzes bilden, bei dem auch die Investitions- und Betriebskosten, die Funktionalität, die architektonische Qualität etc. der verschiedenen Optionen miteinander verglichen werden. Die im BEEP-Diagramm enthaltenen ökonomischen Kurven sind einerseits dargestellt, um Tendenzen anzuzeigen und andererseits, um den enormen Unterschied zwischen der energetischen und der ökonomischen Effizienz, welcher durch die Steilheit der jeweiligen Kurven ausgedrückt wird, aufzuzeigen. Eine Erhöhung der Energiekosten würde die Steilheit der ökonomischen Kurven ändern. Ausgehend von den hier vorliegenden Daten müsste der Energiepreis um einen Faktor von ca. 15 ansteigen, bevor die Kurven sich überlagern und eine auf Energieeffizienz basierte Entscheidungsfindung und eine auf ökonomischem Effizienz basierte Entscheidungsfindung bei gleichen Investitionskosten zur gleichen Lösung führen würden. Das Ziel eines jeden Entwurfsansatzes sollte ein hoher BEEP-Wert im unteren linken Bereich des Diagramms sein. Zu beachten ist hierbei auch, dass bei sehr hohen BEEP-Zahlen, die BEEP-Kurven relativ steil sind; d.h. hier gibt es große Differenzen im Behaglichkeitsniveau bei kleinen Differenzen im Energiebedarf.

Die hier vorgestellte Methode könnte als Instrument zur Feststellung der

Energieeffizienz von Gebäudeentwürfen im Genehmigungsprozess aber auch als Planungsinstrument, das den Vergleich verschiedener Optionen während des Entwurfsprozesses ermöglichen würde, eine Verwendung finden. Aspekte wie die Energieerzeugung mittels erneuerbarer Energiequellen und Systemkonfigurationen wie Erdkanäle usw. wurden bei den vorliegenden Fallstudien nicht berücksichtigt, sollten jedoch im endgültigen Planungsinstrument enthalten sein. Ein viel komplexeres Instrument, bei welchem in der x-Achse die Gesamtenergieeffizienz während des gesamten Lebenszyklus des Gebäudes (einschließlich der Herstellungenergie) dargestellt wird und in der y-Achse sämtliche Aspekte des Innenklimas (einschließlich Faktoren wie Luftqualität, Lichtniveau, Tageslicht, Raumaakustik usw.) dargestellt werden, ist auch vorstellbar. Die Investitionskosten könnten ebenfalls mit in die ökonomischen Kurven hineingerechnet werden.

Moderne Ingenieurbüros verwenden standardmäßig dynamische Simulationssoftware bei der Planung von Gebäuden. Es scheint deshalb zumindest fragwürdig, ob es der richtige Ansatz ist, mittels Tabellenkalkulationsprogrammen neue Methoden für die Produktion von Energieausweisen zu entwickeln, anstatt kommerzielle Simulationssoftwareprogramme zu akkreditieren, und eine umfassendere Methode wie die hier vorgeschlagene zu verwenden. Aber, gerade dies passiert derzeit überall in Europa. Weiterer Forschungsbedarf ist notwendig, um die Spannweite der geeigneten Werte des BEEP-Diagramms festzustellen. Eine Serie von BEEP-Diagrammen könnte für verschiedene Gebäudenutzungen (Bürohäuser, Wohnhäuser etc.) und für verschiedene klimatische Regionen erzeugt werden. Weitere Forschungen könnten sich mit verschiedenen Methoden zur Bemessung von Behaglichkeit beschäftigen, welche in einem Ansatz wie hier vorgeschlagen geeignet wären.

Das in der vorliegenden Studie verwendete Simulationsprogramm berechnet den PPD-Wert für den Mittelpunkt

Bild 4

Ergebnisse

des Raumes. Es sollte weiter untersucht werden, ob dieser relativ primitive Indikator für den beabsichtigten Zweck adäquat ist oder, ob eine bessere Alternative besteht. Weitergehende Forschungen bezüglich der exakten Natur der Beziehung zwischen Behaglichkeit und Produktivität wären ebenfalls von Interesse. Auch die Verbesserung des natürlichen Lüftungsmodells (s. oben) könnte Gegenstand weiterer Forschungen sein. Neue Forschungen haben auch gezeigt, dass sich die Wahrnehmung von Behaglichkeit in natürlich und mechanisch gelüfteten Gebäuden unterscheidet [8]. Dieser Aspekt wurde im hier vorgeschlagenen Ansatz noch nicht berücksichtigt.

Von einem energetischen und vielleicht sogar von einem ökologischen Standpunkt mag eine Senkung des Energiebedarfs stets ein legitimes Ziel sein. Unter dem breiteren und komplexeren Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit jedoch mag dies nicht immer stimmen. Wenn man die sozialen und ökonomischen Aspekte der Nachhaltigkeit auch berücksichtigt, kann es sein, dass unter bestimmten Bedingungen, die Reduzierung des Energiebedarfs auf Kosten des Raumklimas womöglich nicht die nachhaltigste Lösung darstellt.

Literatur

- [1] DIRECTIVE 2002/91/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 16 December 2002 on the energy performance of buildings, Official Journal of the European Communities.
- [2] Seppänen, O.; Fisk, W.: A conceptual model to estimate cost effectiveness of the indoor environment improvements. Proceedings of the Healthy Buildings 2003 Conference, Singapore, Volume 3, Pages 368–374.
- [3] Fanger, P. O.: Thermal Comfort. Danish Technical Press, 1970.
- [4] ISO 7730: Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. International Organization for Standardization, Geneva, 1984, revised edition: 1993.
- [5] Cody, B.: Energieeffiziente Lüftung von Bürogebäuden. HLH Bd. 56 (2005) Nr. 12, S. 47–52 (Teil 1) und HLH Bd. 57 (2006) Nr. 1, S. 45–51 (Teil 2).
- [6] Roelofsen, P.: The impact of office environments on employee performance: the design of the workplace as a strategy for productivity enhancement. Journal of Facilities Management 2002, Vol. 1, No. 3 PP 247–264, Henry Stewart Publications.
- [7] Voss et al.: Bürogebäude mit Zukunft. TÜV-Verlag (2005).
- [8] Brager, G.S. and R. de Dear: A standard for natural ventilation. ASHRAE Journal 2000, Vol. 42, No. 10 (October), pp. 21–28.