

Behaglich, effizient und wirtschaftlich

Studie zu Lebenszykluskosten und thermischer Behaglichkeit vergleicht verschiedene Heiz- und Kühllösungen für Bürogebäude

Wirtschaftlichkeit ist im heutigen Büro- und Gewerbebau das Planungskriterium Nr. 1. Hinzu kommen steigende Nutzeranforderungen an die Ausstattung, den Komfort und das Innenraumklima. Dabei sind energieeffiziente Heiz- und Kühlsysteme heute nicht bloß eine Option, sondern vielmehr fester Bestandteil eines wirtschaftlichen Gebäudekonzeptes und damit wichtig für die erfolgreiche Vermarktung moderner Immobilien. Die nachfolgend vorgestellte Studie vergleicht deshalb anhand eines Bürogebäudes die Lebenszykluskosten und Kennwerte zur Beurteilung der thermischen Behaglichkeit von Heiz- und Kühllösungen auf Basis von Betonkernaktivierungssystemen mit denen herkömmlicher Klimatisierungslösungen wie Gebläsekonvektoren und VVS-Systeme.



Dipl.-Ing. (FH) Holmer Deecke, Abteilungsleiter im Bereich Engineering und Design, Uponor

Dr.-Ing. Jan Babiak, Projektmanager im Bereich Engineering und Design, Uponor

Zur Untersuchung der Vollkosten sowie der erreichbaren thermischen Behaglichkeit verschiedener Heiz- und Kühlsysteme für Gewerbegebäude wurde ein typisches Bürogebäude mit einer Fläche von 1.000 m² ausgewählt. Dieses besteht aus Einzel- und Großraumbüros sowie einem Atrium, um verschiedene Konstellationen zu untersuchen und ein möglichst repräsentatives Gebäudemodell darzustellen. Die von Equa Simulations Oy (Finnland) durchgeführte Gebäudesimulation (IDA-ICE) umfasst die Bewertung der betrachteten Systeme zur Beheizung und Kühlung für 10 Gebäudestandorte in 5 Ländern. Alle Kostenanalysen wurden von Mott MacDonald, einem weltweit agierenden Consultant und Engineering-Unternehmen für Gebäudetechnik bereitgestellt.

Die hier vorgestellten Ergebnisse der Studie beziehen sich auf den Standort Hamburg. Das Gebäudemodell entspricht den Anforderungen der EnEV 2009. Bild 1 zeigt Grundriss und planerische Eckdaten sowie die daraus hervorgehenden Sollwerte und internen Lasten.

Luft versus Wasser: Systeme im Vergleich

Um einen objektiven Vergleich der HLK-Systeme zu ermöglichen, mussten die Gesamtsysteme mit allen Komponenten von der Wärme- bzw. Kälteversorgung über deren Verteilung bis hin zur Übergabe an den Raum berücksichtigt werden. Die Heiz-/Kühlzentrale sowie alle Anlagen-Komponenten wurden anhand der Heiz- und Kühllasten sowie der erforderlichen Luftwechselraten aus dem Simulationsmodell dimensioniert.

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der Anlagenkonfigurationen in den einzelnen Varianten. So wurde zur Versorgung der Bauteilaktivierung eine Variante mit separater Bereitstellung von Heiz- und Kühlenergie

über einen Brennwert-Heizkessel sowie eine Kältemaschine betrachtet. Eine weitere Variante arbeitet mit einer erdgekoppelten, reversiblen Wärmepumpe, deren Sonden im Sommer für die passive Kühlung sowie eine Regeneration der Wärmequelle sorgen.

Die beiden luftgestützten Varianten arbeiten jeweils mit einer separaten Wärme- und Kälteversorgung. Bei der Varianten mit Gebläsekonvektoren, die an der Decke über den Fenstern installiert sind, wird der hygienisch erforderliche Außenluftvolumenstrom über ein Zentralgerät mit Wärmerückgewinnung und Kühlung aufbereitet und bereitgestellt. Für die Varianten mit TAB-S- wird der hygienisch erforderliche Luftwechsel ebenfalls über ein Zentralgerät mit WRG eingebracht.

	Thermisch aktives Bauteilsystem (TAB-S)	TAB-S mit Erdwärmepumpe (EWP)	Gebläsekonvektoren (GK)	Variables Volumen System (VVS)
Wärmequelle	Brennwertkessel	Erdwärmepumpe	Brennwertkessel	Brennwertkessel
Kältequelle	Kältemaschine	EWP + freie Kühlung	Kältemaschine	Kältemaschine
Ergänzende Raumgeräte	Konvektoren in ausgewählten Räumen	Konvektoren in ausgewählten Räumen	-	-
Lüftung	RLT _{min}	RLT _{min}	RLT _{min}	Mechanisch
Beschreibung	TAB-S zur Kühlung und Grundlastheizung, ergänzt durch RLT _{min} mit Nacherhitzer und Wärmerückgewinnung. Ergänzende Konvektoren in sechs Räumen, deren Lasten im Heizfall nicht vollständig durch das TAB-S abgedeckt werden (zumeist Eckräume und Dachgeschoss).	TAB-S mit Erdwärmepumpe: Wie Variante 1, nur dass der Kessel bzw. die Kältemaschine durch eine erdgekoppelte Wärmepumpe mit Erdwärmesonden (EWS) ersetzt werden. Die eingesetzten EWS ermöglichen teils eine freie Kühlung während der Sommerperiode.	Gebläsekonvektoren zur Kühlung und Grundlastheizung, ergänzt durch RLT _{min} mit Nacherhitzer und Wärmerückgewinnung. Brennwertkessel und Kältemaschine dienen als Wärme-/ Kältequelle.	Lüftungssystem mit variablen Volumenstrom mit zentralem Klimagerät mit Heiz- und Kühlfunktion und Wärmerückgewinnung. Brennwertkessel und Kältemaschine dienen als Wärme-/ Kältequelle.
<small>Die Auswahl der Systeme erfolgte durch Uponor auf Grundlage der in Deutschland am häufigsten verwendeten Spezifikationen.</small>				

Tabelle 1: Übersicht der betrachteten Heiz- und Kühlsysteme.

Das VVS-System arbeitet je nach interner Last als sogenanntes „Nur-Luft-System“ mit variablem Luftvolumenstrom, der zentral in einem kombinierten Zu- und Abluftgerät mit Entfeuchtung aufbereitet und über ein Kanalnetz an die Räume übergeben wird. Die Abluft der innenliegenden WCs ist in allen Varianten an eine separate Lüftungsanlage angeschlossen.

Ermittlung der Gesamtkosten

Die Lebenszykluskostenberechnung wurde für alle Varianten mithilfe der Kapitalwert-Methode über einen Betrachtungszeitraum von 15 Jahren vorgenommen. Dabei werden alle Zahlungen im Betrachtungszeitraum unter Berücksichtigung der jeweiligen Teuerung beispielsweise für Brennstoff auf den Anfangszeitraum diskontiert. Die wirtschaftlichste gebäudetechnische Lösung ist diejenige mit dem geringsten Kapitalwert der Gesamtkosten über den Betrachtungszeitraum.

Aufgrund der unterschiedlichen Lebensdauer der verschiedenen Komponenten ergeben sich sowohl Ersatzinvestitionen als auch Restwerte nach Ablauf des 15-jährigen Betrachtungszeitraums, die jeweils berücksichtigt wurden.

So müssen in Anlehnung an die Nutzungszeiträume der VDI 2067 Ventilatoren und Pumpen nach etwa 10 Jahren mit den dann zu erwartenden Wiederbeschaffungswerten ersetzt werden, während langlebige Komponenten wie die thermische Bauteilaktivierung oder die Erdsonden den Betrachtungszeitraum mit einem Restwert überdauern.

In den Lebenszykluskosten finden gem. EU-Verordnung 244:12 außerdem folgende Kostenarten Berücksichtigung:

- Investitionskosten einschl. Material- und Lohnkosten, Projektmanagement- und Planungskosten.
- Betriebskosten einschl. Wartung, Instandsetzung.
- Ersatzinvestition für Anlagenkomponenten.
- Energiekosten und Nebenkosten wie Anschluss und Zählergebühren.

Investitions- und Energiekosten im Überblick

Die Auswertung der Investitionskosten zeigt Bild 2. Für die Bauteilaktivierung in Verbindung mit einem Gas-Brennwertkessel und einer Kältemaschine ergeben sich mit 271 Euro/m² insgesamt die geringsten Investitionskosten gefolgt vom VVS-System (292 Euro/m²) und den Gebläsekonvektoren

(372 Euro/m²). Aufgrund der Erdsondenbohrungen liegen die Kosten für TAB-S mit Erdwärmepumpe mit 435 Euro/m² zunächst deutlich über den Investitionskosten der anderen Systeme.

Dieses Bild kehrt sich allerdings bei der Betrachtung der Energiekosten entsprechend um, sodass die Energieverbrauchskosten einschließlich Hilfsenergien für das TAB-S mit erdgekoppelter Wärmepumpe unter 3 Euro/m²a liegen, während das VVS-System Energiekosten von über 7 Euro/m²a erzeugt (Bild 3). Hier wirkt sich insbesondere die Nutzungsmöglichkeit freier Kühlung (ca.

70% des Jahreskühlenergiebedarfs) aber auch die hohe Effizienz niedriger Systemtemperaturen im Heizbetrieb besonders positiv für die thermische Bauteilaktivierung aus.

Auswertung der Gesamtkosten

Die in Bild 4 dargestellten Gesamtkosten beziehen sich als Kapitalwert aller Aufwendungen aus einen Zeitraum von 15 Jahren und enthalten eine eher moderate mittlere Preissteigerung von 3 % pro Jahr für Gas und Strombezug. Für das TAB-S mit Gas-Brennwertkessel und einer separaten Kältemaschine ergeben sich die geringsten Gesamtkosten aller betrachteten Varianten. Auf etwas glei-

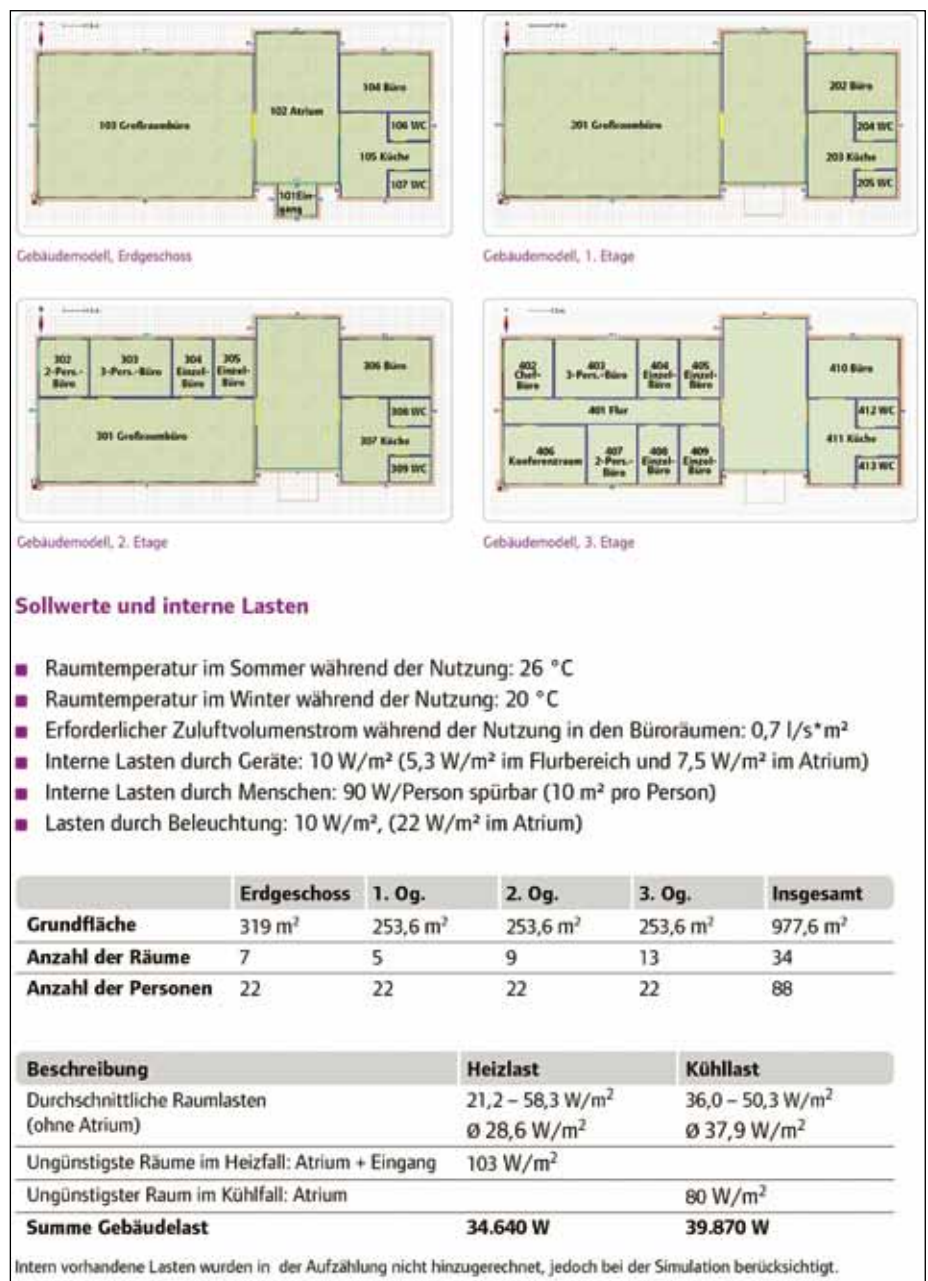


Bild 1: Grundriss und Planungsdaten des Gebäudemodells.

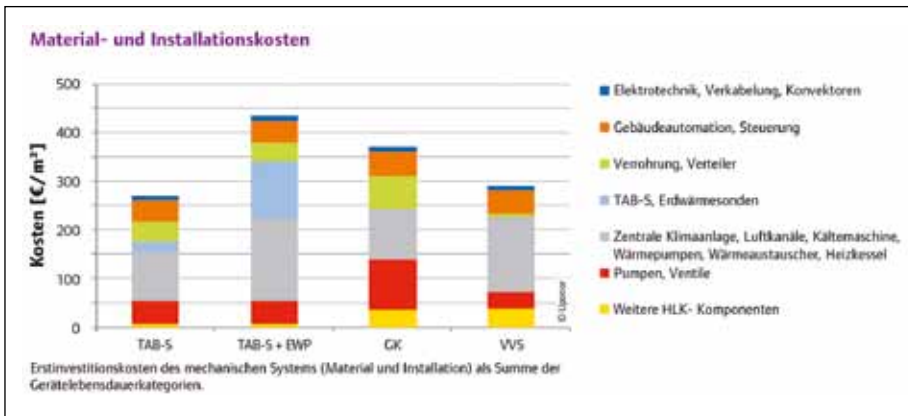


Bild 2: Investitionskosten der Varianten im Überblick

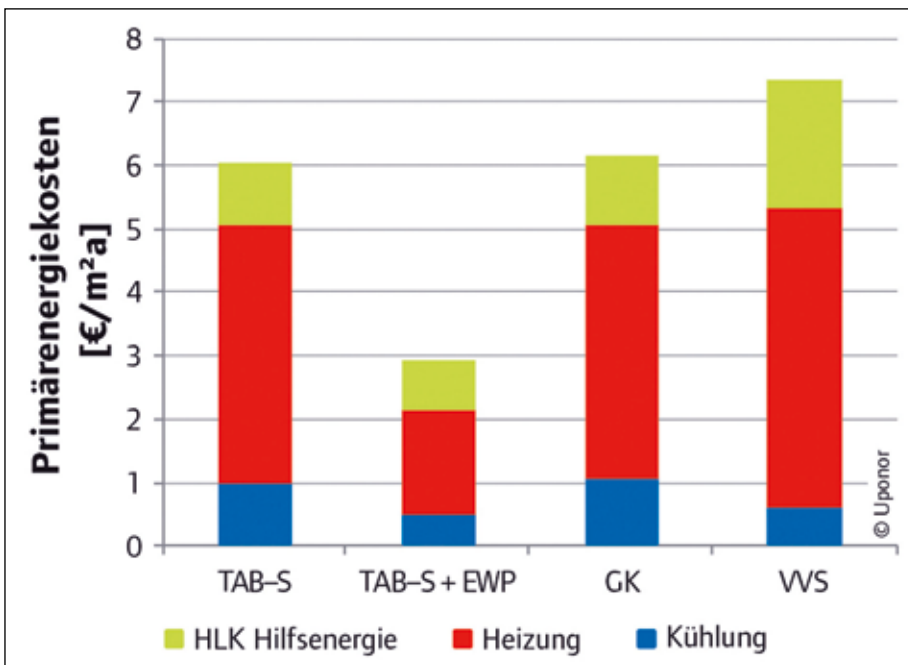


Bild 3: Energiekosten für Heizung, Kühlung und Hilfsenergie.

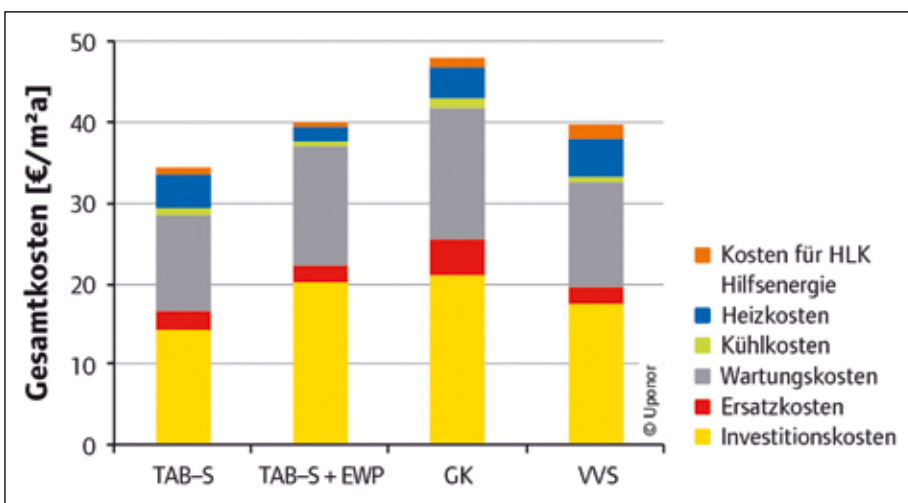


Bild 4: Gesamtkosten als Kapitalwert aller Kostenarten über einen Betrachtungszeitraum von 15 Jahren.

chem Kostenniveau folgen dann TAB-S mit erdgekoppelter Wärmepumpe sowie das VVS-System.

Liegen die jährlichen Teuerungsraten für Gas und Strom im Mittel höher als in dieser konservativen Berechnung angenommen, so ist das Gesamtsystem TAB-S mit Erdwärmepumpe wirtschaftlicher als ein VVS-System, wie die errechneten Energiekosten der Varianten zeigen.

Thermische Behaglichkeit im Vergleich

In der vorliegenden Studie wurden für die verschiedenen Anlagensysteme Kennwerte des Innenraumklimas näher untersucht und gegenübergestellt. Somit erfolgt neben einer Betrachtung der energetischen Effizienz und der Gesamtkosten verschiedener Anlagensysteme auch eine Bewertung der erreichbaren thermischen Behaglichkeit.

Hierzu werden die innenraumklimatischen Kennwerte PMV und PPD genutzt. Der PMV-Index (predicted mean vote) beschreibt die mittlere subjektive Klimabewertung der Raumnutzer. Der PPD-Index stellt hingegen den Prozentsatz der Raumnutzer dar, die mit den raumklimatischen Verhältnissen nicht zufrieden sind. Je weiter die Solltemperatur von 22°C im Winter und 24,5°C im Sommer abweicht, desto höher ist der Anteil an Unzufriedenen (Bild 5).

Der Vergleich der thermischen Behaglichkeit in dieser Studie zeigt, dass die Varianten mit Bauteilaktivierung unter den untersuchten Varianten am ehesten als thermisch behaglich (PMV = 0) zu erachten sind und somit die beste Einstufung erhalten. Der PMV liegt in einem südlich ausgerichteten Raum unter dem Dach bei TAB-S zu 49% der Nutzungszeit in der Klasse A, der gleiche Raum mit einem VVS- oder Gebläsekonvektoren-System hingegen befindet sich 24 - 42% der Nutzungszeit in der Klasse A (Bild 6).

Die Kühlung durch luftbasierte Systeme funktioniert im Wesentlichen durch Konvektion. Ohne gekühlte Strahlungsflächen werden größere Luftmengen und mehr Kühlenergie zur Erreichung derselben operativen Temperatur benötigt. Dies geht einher mit höheren Investitions- und Energiekosten. Darüber hinaus besteht das Risiko, dass sich die Anzahl unzufriedener Raumnutzer aufgrund von Zugluft oder Geräusentwicklung erhöht.

Fazit

Die Studie zeigt, dass wasserbasierte Heiz- und Kühlsysteme, kombiniert mit einer – auf den hygienischen Luftwechsel ausgelegten – Lüftungsanlage bezüglich des Energieverbrauchs und der thermischen Behaglichkeit

ein Optimum darstellen. Durch die Installation einer thermischen Bauteilaktivierung befindet sich das – anhand des PMV bewertete – Raumklima bis zu 25 % länger in der Behaglichkeits-Klasse A der ISO-Norm 7730 und wird somit höchsten Anforderungen an das Raumklima gerecht.

Darüber hinaus können die Gesamtkosten im Vergleich zur Variante „TAB-S“ in Bild 4 gegenüber konvektiven Systemen um 13 % (VVS-Systeme) und bis zu 28 % (Gebläsekonvektoren) gesenkt werden und führen somit zu einer kosteneffizienten Lösung. ◀

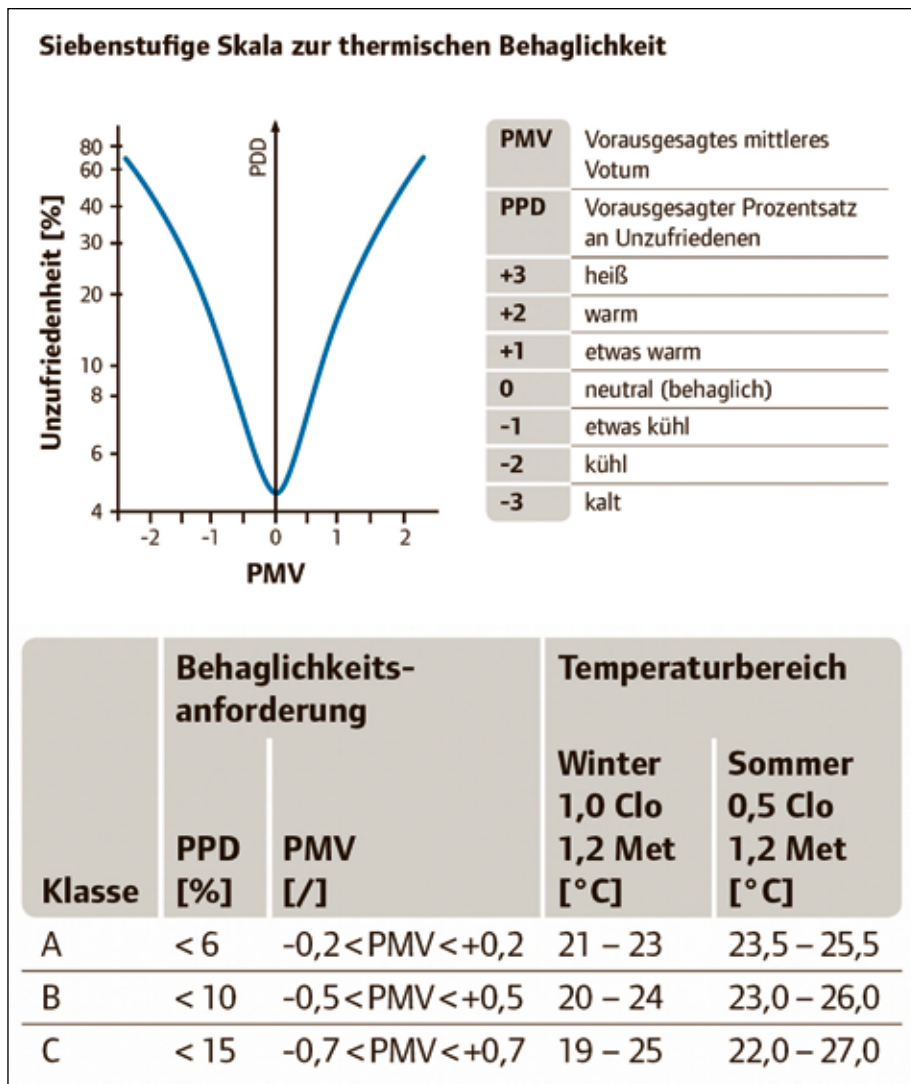


Bild 5: PMV-Index zur Bewertung der thermischen Behaglichkeit und Anforderungsklassen der ISO 7730.

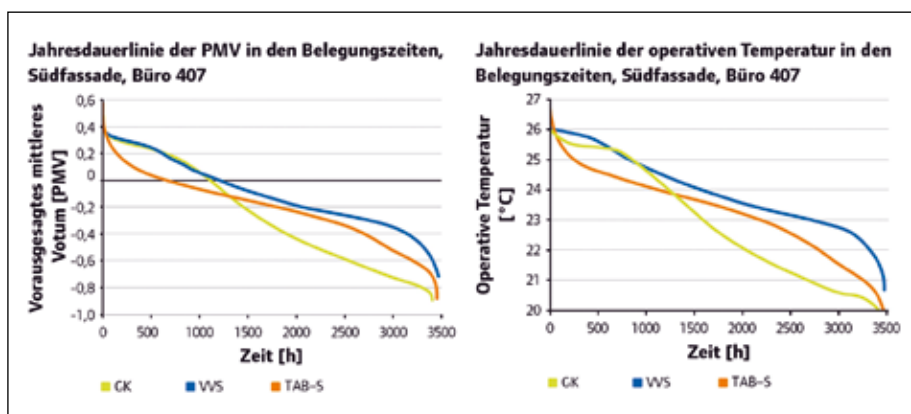


Bild 6: Jahresdauerlinien des PMV-Index sowie der operativen Raumtemperatur der betrachteten Varianten.