Komfort-Büro!
Ein Einblick in die dynamischen

Komfort-Büro! – Handbuch für behaglichkeitsoptimierte Passivhausbüros, ein Energie der Zukunft-Projekt, wird derzeit fertiggestellt. Der Endbericht wird ab Herbst 2011 am Server der FFG zur Verfügung stehen.

Details zum Modellraum

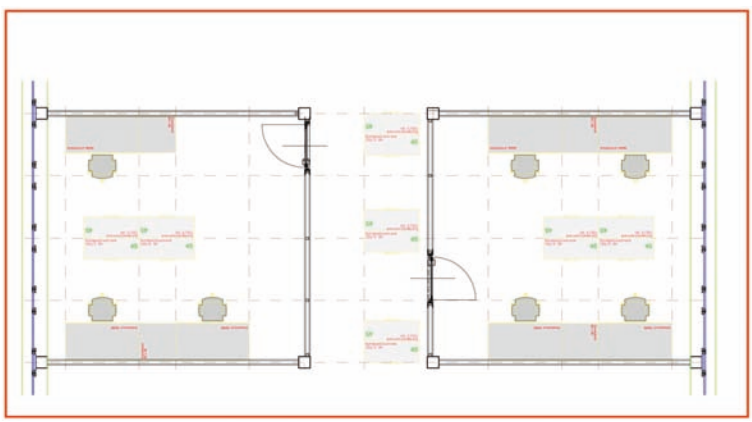


Abb. 1: Modellraum im Grundriss. Verwendet wird der linke Raum mit drei Arbeitsplätzen.

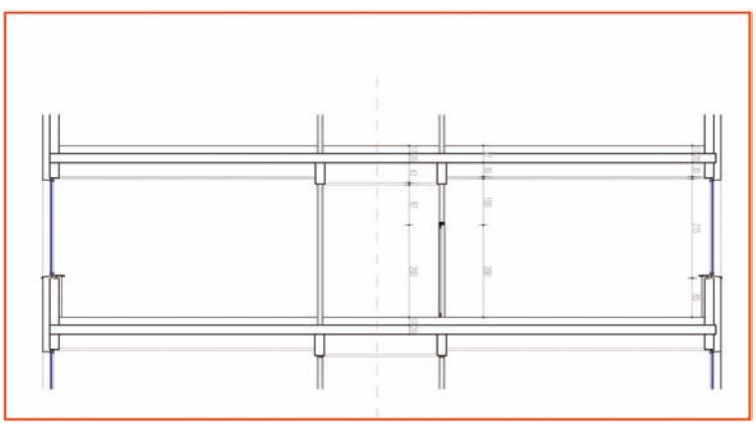


Abb. 2: Modellraum im Aufriss. Verwendet wird der linke Raum ohne Oberlichte.

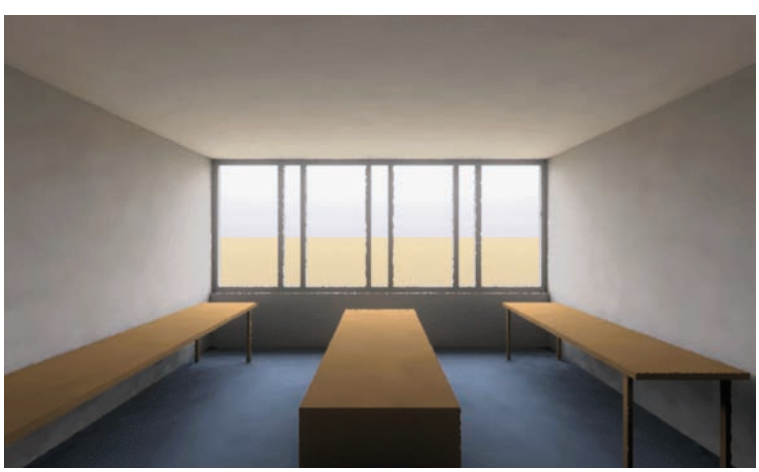


Abb. 3: Modellraum in der Tageslichtsimulation. Standardsituation mit Bandfenstern. Quelle: Alware Andreas Lahme.

Komfort-Büro! ist der Versuch, ein genaueres Verständnis der Bedingungen zu erarbeiten, die gemeinsam, in guter Abstimmung, die Bedürfnisse nach thermischem Komfort, bester Luftqualität, Zugfreiheit, bester Tageslichtversorgung und niedrigstem Energiebedarf für Beleuchtung, Heizung, Kühlung und Lüftung erfüllen können. Die Erfülllung des Passivhausstandards ist dafür eine gute Grundlage, reicht aber alleine nicht aus.

Zu diesem Zweck wurden Modellräume definiert[1] und in einem dieser Modellräume Tageslichtsimulationen, thermische Gebäudesimulationen und dynamische Strömungssimulationen durchgeführt.
Die Ergebnisse der Tageslichtsimulationen wurden beim BauZ!-Kongress im Februar 2011 in einem Vortrag vorgestellt und ausführlich im Tagungsband dieses Kongresses publiziert[2]. Inzwischen liegen auch die Ergebnisse der thermischen Gebäudesimulationen und der dynamischen Strömungsssimulationen vor.

Ich möchte hier einen Einblick in die Ergebnisse der dynamischen Strömungssimulation geben und dabei nur einige Beispiele aus dem sehr umfangreichen Material herausgreifen.
Der Modellraum wurde mit verschiedenen Varianten der Zulufteinbringung, Heizung und Kühlung ausgestattet (Planung: Ing. Jürgen Obermayer, New Energy Consulting, Linz). Die Anlagen werden bei den Abbildungen erläutert.

Zur Methodik der Simulationen

Die Strömungssimulationen wurde vom Dr.-Ing. Markus Rösler, Dr. -ng. Ralf Gritzki und Dr.-Ing. Alf Perschk von der Technischen Universität Dresden, Institut für Energietechnik, Professur für Gebäudeenergietechnik und Wärmeversorgung, im Auftrag des IBO durchgeführt.

---

1 Vielen Dank an DI Bernhard Herzog, m.o.o.con für seinen Beitrag hierzu.

2 Alles Plus? – Das muntere Sprießen der Gebäudekonzepte. Tagungsband 2011 des Wiener Kongresses für Zukunftsfähiges Bauen, BauZ! Wien: IBO 2011, S. 25ff.

Strömungssimulationen

Die verwendeten Simulationsprogramme wurden in jahrelanger Zusammenarbeit der Technischen Universität Dresden und der Universität Göttingen entwickelt. Das Programmpaket stellt ein gekoppeltes System aus thermischer Gebäudesimulation und Strömungssimulation dar. (Details siehe nebenstehender Kasten)

Bei den Simulationen werden zahlreiche Variablen und Feldgrößen ermittelt:

- Lufttemperaturen (ϑL)
- Oberflächentemperaturen (ϑW)
- Operative Temperaturen (ϑop)
- Vorausgesagtes mittleres Votum des thermischen Komforts (PMV)
- lokaler Luftaustauschindex ($\varepsilon^{a}_{p,t,}$)
- CO_2-Konzentration
- Zugluftrisiko (DR)

Von allen diesen Ergebnisgrößen, die in über 50 Abbildungen pro Simulationsvariante resultieren, werden für die folgende beispielhafte Ergebnisdarstellung nur eine einzige herausgegriffen: der lokale Luftaustauschindex $\varepsilon^{a}_{p,t,}$ in der Darstellungsform der Isoflächen.

>>

Der lokale Luftaustauschindex

Der lokale Luftaustauschindex ist ein ebenfalls als Feldgröße verfügbares Kriterium für das lokale Alter bzw. die Verweilzeit der Raumluft im Untersuchungsgebiet und somit ein Maß für die Luftqualität und die F rischluftversorgung. Aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit verschiedener Simulationen untereinander wurde das Luftalter mit dem entsprechenden Wert am Austritt normiert. Hierbei bedeutet $\varepsilon^{a}_{p,t,}$ >1 eine sehr gute Frischluftversorgung, $\varepsilon^{a}_{p,t,}$ um 1 dagegen ein Alter, welches bei idealer Durchmischung zu erwarten wäre, Werte deutlich unter 1 weisen auf Regionen mit verbrauchter, alter Luft und somit auf K urzschlusseffekte in den untersuchten Strömungsstrukturen hin.

Rand- und Berechnungsbedingungen der Simulation

Simulation:

- Vernetzung des Raumes tetraederbasiert, etwa 350 000 bis 450 000 Elemente, abhängig von der Lüftungssituation.
- Gitter mit Wandgrenzschichten
- Modellierung der strömungsrelevanten Hindernisse wie Personen, Tische und Schränke
- Berechnung einer 14-tägigen Einschwingphase
- Start der gekoppelten Gebäude- und Strömungssimulation am 15. Tag (Montag) um 06:00 Uhr, bzw. 8:00 Uhr
- voll gekoppelte Berechnung bis 20:00 Uhr
- Instationäre Simulation von:
  - Geschwindigkeitsfeld
  - Temperaturverteilung
  - Luftalter
  - CO_2-Verteilung.
  - Berechnung abgeleiteter Größen, wie PMV, Operativer Temperatur
- Ergebnisauswertung zu jeder vollen Stunde verfügbar, ausgewertet 10, 12, 14, 16 Uhr.

Gebäude:

- Wandaufbauten entsprechend Vorgaben IBO Wien (siehe Kasten Modellraum)
- Fenster: Wärmeschutzverglasung entsprechend Vorgaben mit U-Wert von 0,6 W/m²/K
- Boden als Hohlraumboden oder Fußbodenheizung/Trockenestrich, Standard ist Hohlraumboden
- Verschattung: Intelligente Außenverschattung
  -0 % direkte Solarstrahlung
  -90 % diffuse Solarstrahlung

Zeitplanfunktionen/Nutzer:

- Belegung/Nutzung werktags zwischen 08:00 Uhr und 18:00 Uhr,
- davon 08:00–08:30 und 17:30–18:00 halb, sonst voll belegt mit drei Personen und 300 W Technik
- Beleuchtung zusätzlich 8 bzw. 15 W/m²
- Anlagenregelung startet um 06:00 und endet um 20:00 Uhr,
- Betonkernaktivierung startet um 00:00 Uhr
- Personen geometrisch als Strömungshindernis modelliert, sitzend, Oberfläche adiabat

Energieabgabe:

- Berechnung temperaturabhängig anhand Tabelle A1 aus VDI 2078, etwa 55 W/Person konvektiv und 25 W/Person Strahlung,
- Bekleidungsgrad für PMV jahreszeitabhängig,
- Energieeintrag als zylindrische, die Personen einschließende Volumenquelle (Radius 0,4 m, Höhe 1,1 m)
- CO_2-Abgabe: 20 l CO_2/h
- Eintrag als zylindrische, die Köpfe der Personen einschließende Volumenquelle (Radius 0,4 m, Höhe 0,3 m, Mittelpunkt bei Z = 1,15 m)

Energieabgabe Technik:

Volumenquelle im gesamten Raum, 100 % konvektiv

Fortsetzung von Seite 5

Wärmequelle für die Beleuchtung:
- Anteil Konvektion/Strahlung 60/40 %.
- 5 x 5 x 0,3 m Quelle bei 2,85 m Höhe, in beiden Raumhöhen gleich
- Leistung 8 bzw. 15 W/m^2

Grundlüftung:
- 105 m^3/h, auf die jeweiligen entsprechenden Lüftungsöffnungen verteilt
- Untertemperatur siehe Variantenbeschreibung

Wetter:
Sommer:
Sehr heißer, stetig wiederkehrender Sommertag aus dem Wetterdatensatz wieniec_mit_heißer_Woche, weites Jahr.

Winter:
Stetig wiederkehrender Tag mit konstanten Bedingungen, t_a = -5 °C, keine direkte Solarstrahlung, 100 W/m^2 diffuse Solarstrahlung (tagsüber).

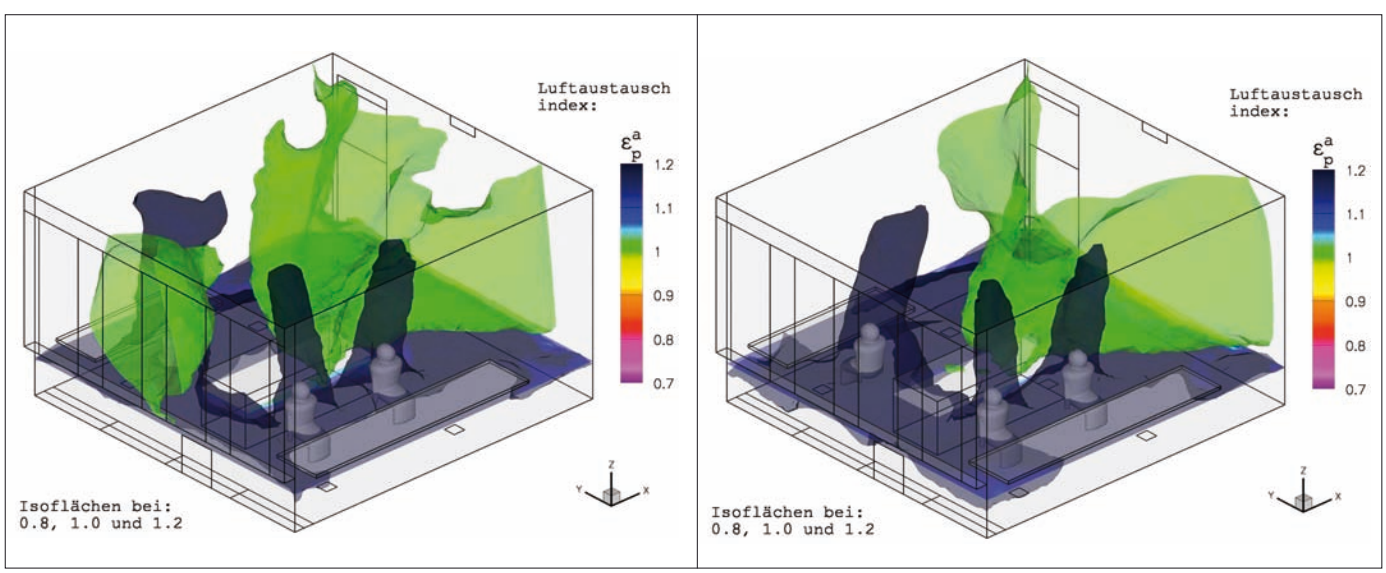
Ziel der folgenden Darstellungen ist zu zeigen, wie der Ort und die Intensität der Lufteinbringung mit den kalten oder warmen Oberflächen, wozu auch die Fensterflächen zählen, oder mit Konvektoren darin zusammenwirken, die Luft im Raum zu verteilen und einen guten Luftaustausch (= geringes Luftalter, hoher Wert für den Luftaustauschindex) im ganzen Raum, besonders aber in unmittelbarer Nähe der Arbeitsplätze und der als dort sitzend simulierten Personen zu gewährleisten. Die Darstellung als Isoflächen (= Flächen gleicher Werte des Luftaustauschindexes) hat den Vorteil, die Dynamik der Luftbewegung sichtbar zu machen und damit Einblicke in die Funktion der Anlagen zu geben.

Informationen

IBO – Österreichisches Institut
für Baubiologie und -ökologie
Dr. Tobias Waltjen
A-1090 Wien, Alserbachstr. 5/8
fon: +43/1/3192005-0
email: tobias.waltjen@ibo.at
www.ibo.at

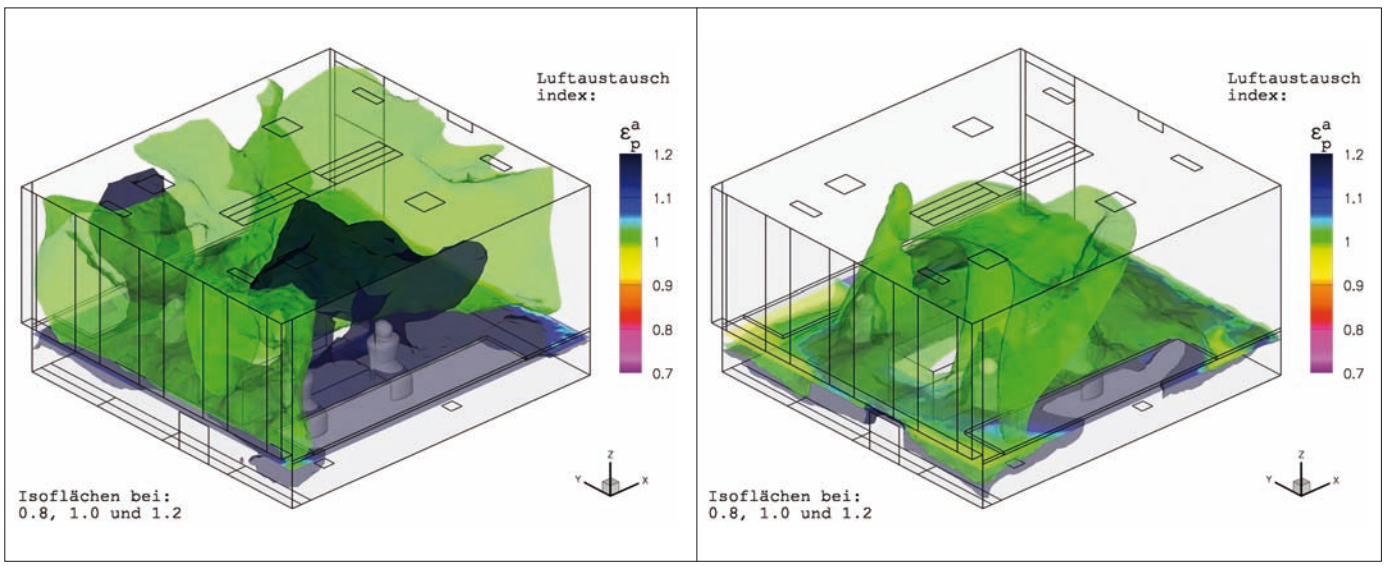
Beispiel 1: Quelllüftung und Betonkernaktivierung: Kühldecke, Sommer
Die Frischluft wird als Quellluft (= mit niedriger Luftgeschwindigkeit) über die Fensterbrüstung mit 4 K Untertemperatur (gleitend) eingebracht und bildet einen Frischluftsee in Bodennähe. Die Luft steigt nun an den sitzenden Personen wegen deren Körperwärme auf, sichtbar an den Konvektionstürmen über den Personen, und versorgt die Personen mit Frischluft. Die Vermischung der Frischluft mit der Umluft ist dabei sehr gering. Damit wird eine Verdrängungslüftung angestrebt, die in den Abbildungen als perfekt realisiert erscheint. Die Deckenkühlung ist zu beiden gezeigten Zeitpunkten (10 und 16 Uhr) wirksam und trägt zu dem schönen Bild bei. Dies zeigt das nächste Beispiel im Vergleich.

Var 6: PL4 F2A Sommer: Quelllüftung und Betonkernaktivierung 10:00 Uhr (links) und 16:00 Uhr (rechts)



Beispiel 2: Quelllüftung und Putzkühldecke mit Kapillarrohrmatte, Sommer

Die Putzkühldecke unterscheidet sich von der Kühldecke mit Betonkernaktivierung durch eine doppelt so hohe Kühlleistung (80 W/m^2). Während die Betonkernaktivierung ab Mitternacht in Betrieb und ab 8 Uhr morgens den ganzen Tag über mit geringer Intensität wirksam ist, wird die Putzkühldecke erst um 12 Uhr aktiviert und bleibt dann, mit höherer Kühlleistung, bis abends wirksam. Der Raumluftsensor für die Temperatursteuerung befindet sich (auch bei den folgenden Beispielen) in 0,6 m Höhe zwischen den beiden benachbarten Arbeitsplätzen. Auch hier sind die Personen sehr gut mit Frischluft versorgt, das Strömungsbild ist aber um 10 Uhr (ohne Kühlfunktion der Decke) viel unruhiger. Beim zweiten gezeigten Zeitpunkt, 16 Uhr, ist die Kühldecke schon seit Stunden in Betrieb und die Konvektionstürme über den Personen zeichnen sich nun wieder ab.



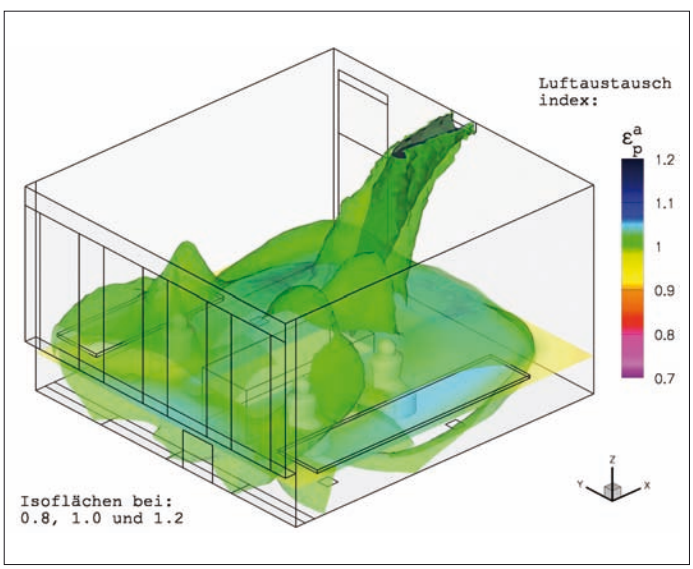
Var 1: PL4 F1D Sommer: Quelllüftung und Putzkühldecke mit Kapillarrohrmatte 10:00 Uhr (links) und 16:00 Uhr (rechts)

Beispiel 3: Lüftungsgitter und Fußbodenkühlung, Sommer

Wird die Frischluft über eine Lüftungsgitter mittig, deckennah an der Rückwand des Raumes eingebracht (mit 6 K Untertemperatur, gleitend) so fällt sie wie ein Wasserfall in den Raum.

Sehr anders verhält sich dasselbe System im Winter, wie das folgende Beispiel zeigt.

>>



Var 4: PL2 F5A Sommer: Lüftungsgitter und Fußbodenkühlung 10:00 Uhr

Das Projektteam

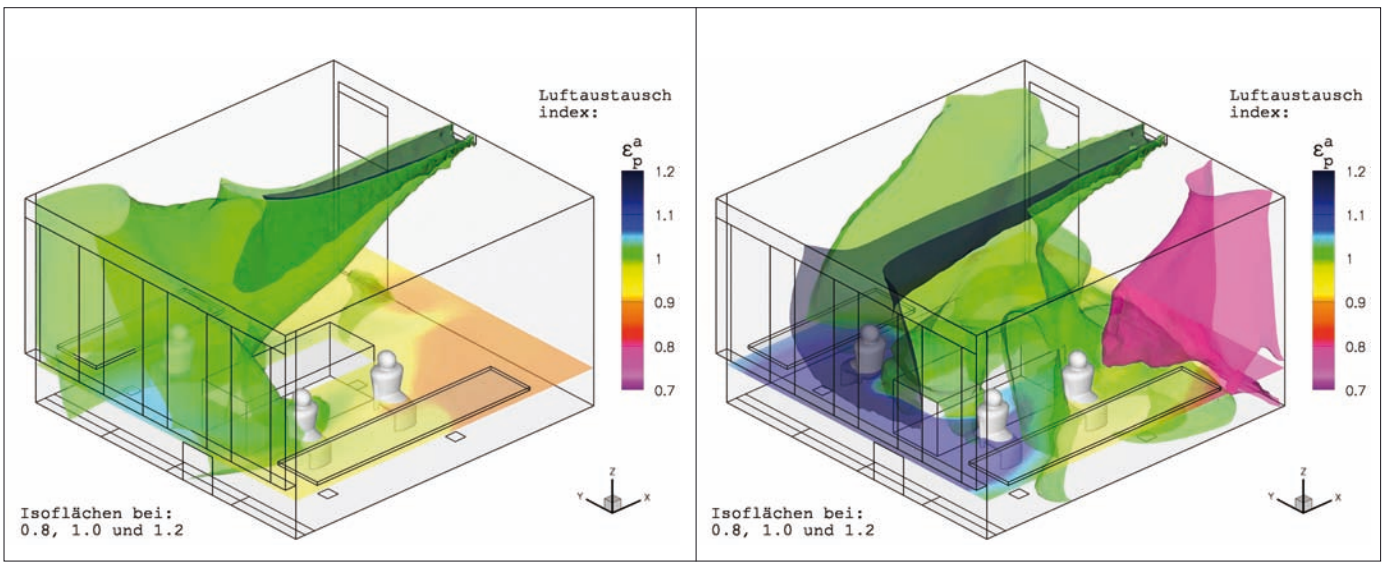
IBO, Wien: Dr. Tobias Waltjen, Dr. Bernhard Lipp, DI Thomas Zelger, DI Erna Motz, DI Wolfgang Huber, Ing. Mag. Maria Fellner, DI (FH) Astrid Scharnhorst
ALware Andreas Lahme, Braunschweig: Dipl. Phys.-Ing. Andreas Lahme, Dipl.-Ing. Sascha Buchholz
TU Dresden, Institut für Energietechnik, Professur für Gebäudeenergietechnik und Wärmeversorgung: Leitung: Prof. Dr. Ing. habil. W. Richter/ Prof. Dr.-Ing. C. Felsmann. Bearbeiter: Dr.-Ing. Ralf. Gritzki, Dr.-Ing. Alf. Perschk, Dr.-Ing. Markus. Rösler
NewEnergy consulting, Linz: Ing. Jürgen Obermayer
m.o.o.con, Wien: Dipl. Ing. Bernhard Herzog

Fortsetzung von Seite 7

Beispiel 4: Lüftungsgitter und Fußbodenheizung, Winter

Im Winter wird die Frischluft isotherm (mit dem Raumluftsensor zwischen den Personen) eingebracht. Deshalb bleibt der Wasserfalleffekt aus, die Luft bleibt oben an der Decke und vermischt sich dort mit der Raumluft. Die Fußbodenheizung unterstützt diesen Effekt. Sie ist um 10 Uhr morgens (linkes Bild) noch wirksam, ist aber schon seit 8 Uhr abgeregelt worden. Zum zweiten gezeigten Zeitpunkt, 16 Uhr, ist sie nicht mehr wirksam. Nun wird die Fensterfront zum Akteur und leitet eine Fallströmung entlang der kühlen Scheiben ein, die die Luftversorgung der Personen unten verbessert (rechtes Bild).

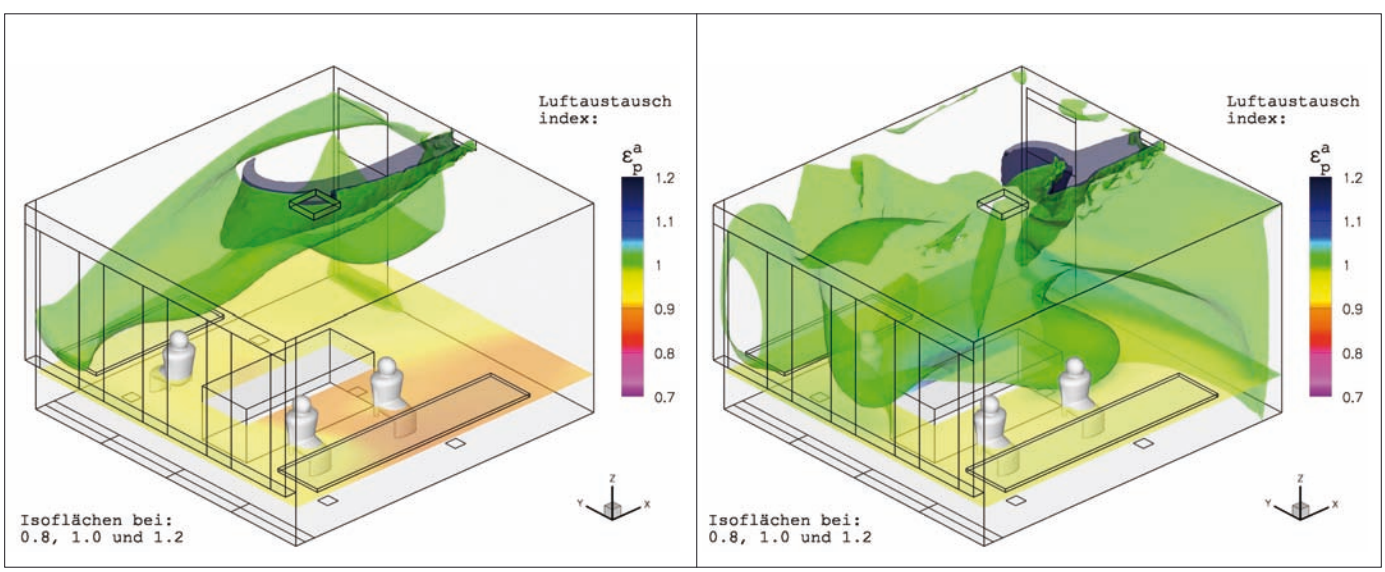
Var 5: PL2 F5A Winter: Lüftungsgitter und Fußbodenheizung 10:00 Uhr (links) und 16:00 Uhr (rechts)



Beispiel 5: Lüftungsgitter und Deckenfancoil, Sommer

Statt einer gekühlten Decken- oder Bodenfläche, wie in den vorhergehenden Beispielen, kann auch ein Luftkühlgerät (Deckenfancoil) die Kühlleistung erbringen. Im linken Bild (9 Uhr) strömt Frischluft isotherm durch ein Luftgitter oben an der Rückwand ein und entlang der Decke Richtung Fenster. Ein Luftaustausch in der unteren Raumhälfte scheint zu unterbleiben. Stattdessen entsteht ein Kurzschluss: Die Luft wird über der Tür wieder abgesaugt, ohne vorher den Raum versorgt zu haben. Dies ist die Situation in einer Betriebspause des Fancoils (9 Uhr), die im linken Bild gezeigt wird. Solche Betriebspausen kommen den ganzen Tag über in Abständen von etwa einer halben Stunde vor. Ist der Fancoil eingeschaltet (rechtes Bild, 10 Uhr), wird die Frischluft einerseits gekühlt und andererseits mechanisch beschleunigt und gelangt so in die untere Raumhälfte zu den Personen. Dabei entstehen Zugbelastungen (hier nicht gezeigt).

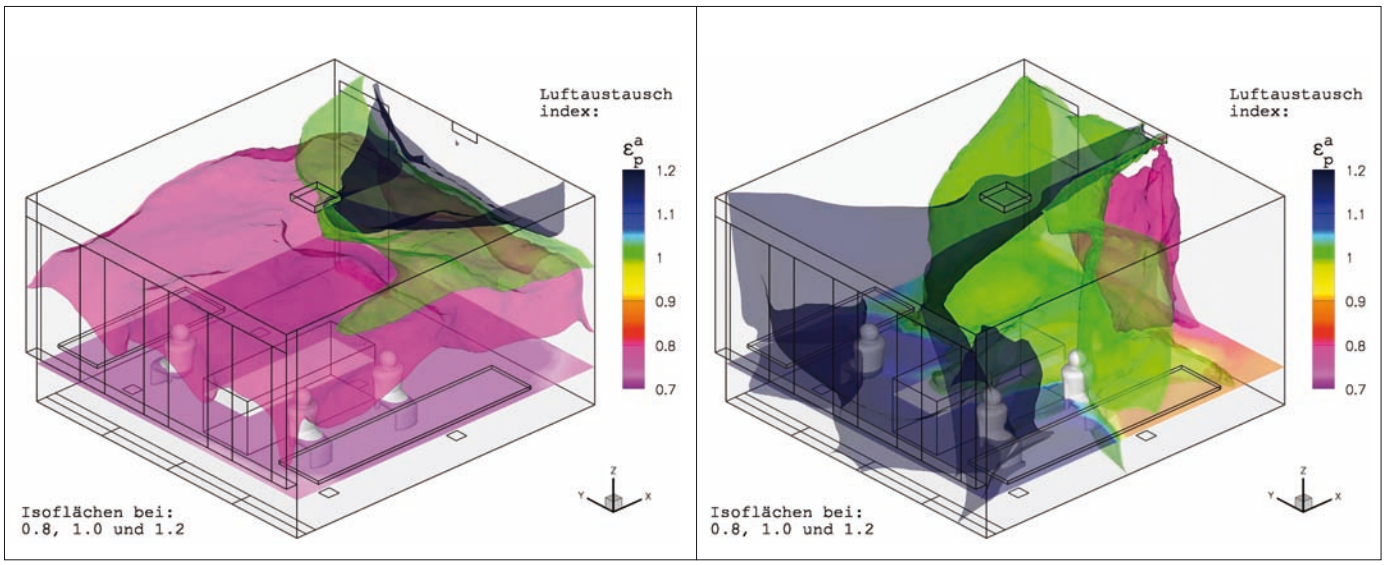
Var 19: PL2 L2 Sommer: Lüftungsgitter und Deckenfancoil 9:00 Uhr (links) und 16:00 Uhr (rechts)



Beispiel 6: Lüftungsgitter und Deckenfancoil, Winter

Dieselbe Anlage wie in Beispiel 5 verhält sich im Winter anders: Der Deckenfancoil ist lediglich morgens (9 Uhr, linkes Bild) in Betrieb, danach reichen die inneren Wärmequellen für den Rest des Tages aus. Während der morgendlichen Aufheizphase entwickelt sich ein warmes Luftpolster unter der Decke. Der Luftaustausch ist nur in unmittelbarer Nähe des Luftgitters an der Rückwand gegeben. Ebenso zeigt sich wieder ein Kurzschluss mit dem Abluftgitter über der Türe. Während des Tages ist der Fancoil nicht in Betrieb, die Frischluft strömt an der Decke entlang zum Fenster und wird dort, analog zu Beispiel 4, durch die kühle Fensterscheibe abwärts in den Raum gelenkt, wodurch die Luftversorgung der Person verbessert wird (rechtes Bild).

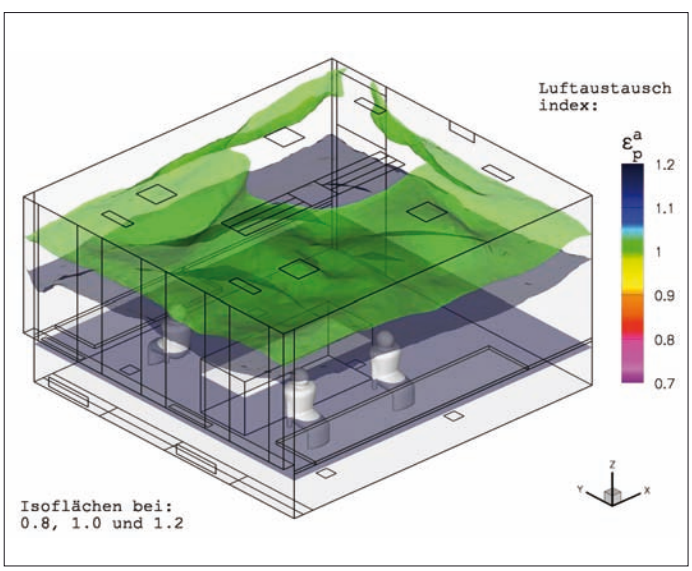
Var 20: PL2 L2 Winter: Lüftungsgitter und Deckenfancoil 9:00 Uhr (links) und 16:00 Uhr (rechts)



Beispiel 7: Ventilatorkonvektoren mit Primärluftanteil, Sommer

Ventilatorkonvektoren mit Primärluftanteil bringen Frischluft im Bereich der Fensterbrüstung ein. Der Betrieb wechselt in einem ca. halbstündigen Zyklus zwischen Kühlbetrieb und isothermem Grundluftwechsel. Der Luftwechsel funktioniert gut, im Kühlbetrieb mit höheren Luftgeschwindigkeiten (1,3 m/s), dem 5fachen bewegten Luftvolumen und bis zu 15 K Untertemperatur ist allerdings mit Zuglufterscheinungen im Knöchelbereich der Personen zu rechnen (hier nicht gezeigt).

Die Beispiele zeigen das subtile Zusammenspiel von Lufteinbringung, thermisch wirksamen Flächen und Ventilatoren. Auch in einem Passivhausbüro ist die Raumluftkonditionierung ein Thema, das große Aufmerksamkeit bei der Systemauswahl und dann auch bei der Einregulierung verdient.



Var 10: L1A Sommer: Ventilatorkonvektoren mit Primärluftanteil, 16:00 Uhr

Tobias Waltjen
IBO

Komfort-Büro! – Ein Einblick in

Kennwerte von 40 bis 100 kWh machen die hohe Sensitivität des Primären - ergiebedarfs für wesentliche Planungs- und Nutzerparameter deutlich. Passivhausqualität für das Gesamtgebäude ist meist nur mit optimierenden Maßnahmen erreichbar.

Informationen

IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH
DI Thomas Zelger
A-1090 Wien, Alserbachstr. 5/8
fon: +43/1/3192005-0
email: thomas.zelger@ibo.at
www.ibo.at

Mittels dynamischer Gebäudesimulation kann das thermische Verhalten eines Raumes oder Gebäudes über das gesamte Jahr berechnet werden. Damit wird die Lücke zwischen der dynamischen Strömungssimulation (siehe Artikel Strömungssimulation), die

- für einen typischen kalten Wintertag mit reiner diffuser Sonnenstrahlung und
- für einen typischen heißen Sommertag

Luftströmungen, Lüftungseffizienz und die Behaglichkeitsbewertung gemäß ÖNORM EN ISO 7730 für einen Raum im Detail berechnet, und der Tageslichtsimulation (siehe Ergebnisse der Tageslichtsimulationen im IBO Tagungsband 2011[1]), die für typische Tage im Jahr

- mit und ohne Direktsonnenlicht und
- im Dezember, März, Juli

die Tageslichtverhältnisse darstellt, geschlossen.

Die Analyse von unterschiedlichen Ausführungen und Benutzungen von Büros erfolgt anhand einer Parameteranalyse, die wesentliche Einflussgrößen der Büroplanung und -nutzung umfasst (Zur Geometrie siehe Artikel zu Strömungssimulation).

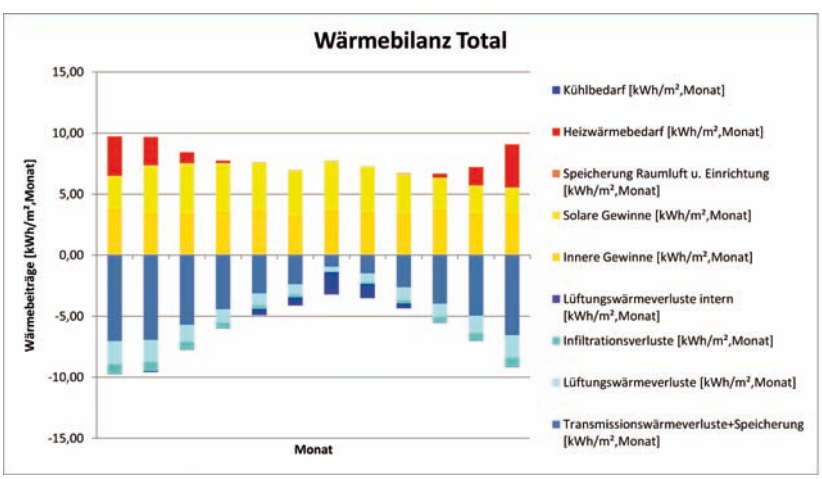


Abb. 1: Ausgangsvariante Fensterband kalte Periode

Bauteilqualitäten opak
Die U-Werte der Außenbauteile entsprechen typischen Passivhauskennwerten. Diese wurden nicht variiert. Variiert wurde vor allem die konstruktive Durchbildung (Leichtbauweise, Holzmassivbauweise, Ziegel und Betonbauweise) und die Ausbildung der Innenoberflächen (abgehängte Decke, aufgeständerte Böden, Akustikmaßnahmen).

Bauteilqualität Fenster
Als Ausgangsvariante wurde ein typisches Passivhausfenster mit 3-Scheibenwärmeschutzverglasung und thermisch entkoppelten Abstandhaltern gewählt, das mit einem optimierten Holzrahmen ausgerüstet ist. Varianten wurden für den g-Wert und den U-Wert der Verglasung berechnet.

Fassadengeometrie
Ausgangsvariante ist die Ausführung der Fassade mit einem Fensterband ohne Sturz. Varianten wurden für Lochfassade 10 und 20 % Anteil an Nutzfläche und für eine volle Verglasung gerechnet.

Sonnenschutz
Es wurden die in der Tageslichtsimulation berechneten Varianten eines außenliegenden Sonnenschutzes übernommen sowie als Variante ein System mit innenliegendem Sonnenschutz simuliert.

Luftdichtigkeit
Die Luftdichtigkeit wurde von sehr dicht bis gerade noch Passivhausstandard und hoher Exposition verändert.

Nutzung
Die Personendichten wurden von 6 bis auf 20 m²/Person variiert, ebenso wurden unterschiedliche Betriebszeiten analysiert. Die Personen variieren ihre Bekleidung von 0,6 bis 1,2 clo. Für die nicht aktiv gekühlten Varianten wurden auch Personen mit bis zu 0,25 clo simuliert (Kurze Hose und kurzes Hemd ohne Krawatte!).

Innere Lasten – Arbeitshilfen
Diese wurden von einer hohen Wärmeabgabe (Grafikbüro) bis zu sehr effizienten Geräten variiert.

1 Alles Plus? – Das muntere Sprießen der Gebäudekonzepte. Tagungsband 2011 des Wiener Kongresses für Zukunftfähiges Bauen, BauZ! Wien: IBO 2011, S. 25ff.

die thermischen Simulationen

Beleuchtung
Die Tageslichtquotienten wurden aus der Tageslichtsimulation entnommen, die Anwesenheit von Personen wurde aus statistischen Daten abgeleitet. Es wurden 3 installierte Lichtleistungen von 5 bis 20 W/m² im Büro- und im Gangbereich gerechnet. Die Regelung wurde von händisch ein/aus, tageslichtgesteuert ein/aus und davon abweichend noch dimmend angenommen.

Lüftung
Es wird von einer Passivhauslüftung mit 80 % sensiblen Wärmerückgewinnungsgrad ausgegangen. Der Zuluftvolumenstrom wurde in der Ausgangsvariante den hygienischen Erfordernissen angepasst (35 m³/Person·h). In Varianten wurden die Luftmengen erhöht und abgesenkt sowie ein latenter Wärmetauscher vorgesehen.

Heizung/Kühlung
Die Solltemperaturen wurden auf 2 °C im Winter und 26 °C im Sommer gesetzt. Varianten wurden mit 22 °C im Winter und 25 und 27 °C im Sommer berechnet. Neben einer idealen Kühlung und Heizung wurden auch Flächensysteme wie Betonkernaktivierung, Putzträgerkapillarrohrmatten an der Decke, Fußbodenheizung/-kühlung und Deckensegel simuliert.

Natürliche Kühlung
Es wurden unterschiedliche Fälle ohne aktive Kühlung mit ausschließlich intelligenter Fensterlüftung berechnet.
Die Bewertung der Varianten erfolgt

1. über den Bedarf an Energie und Umweltbelastungen, ausgedrückt in End- und Primärenergiebedarf sowie dem Treibhauspotential und
2. über den thermischen Komfort, der global für jeden Raum berechnet wird. Für die nicht aktiv gekühlten Varianten wird auch eine Auswertung gemäß ÖNORM EN 15251 vorgenommen.

Da eine Auswertung über jede Stunde vorliegt, müssen statistische Analysen angewandt werden, um konzentriert und sicher unterschiedliche Varianten bewerten zu können.

Nachfolgend sollen einige typische Ergebnisse dargestellt und diskutiert werden.

Für die Ausgangsvariante ohne Nachtlüftung ergeben sich beispielsweise die in Abbildung 1 dargestellten Bilanzen und Kennwerte.

>>

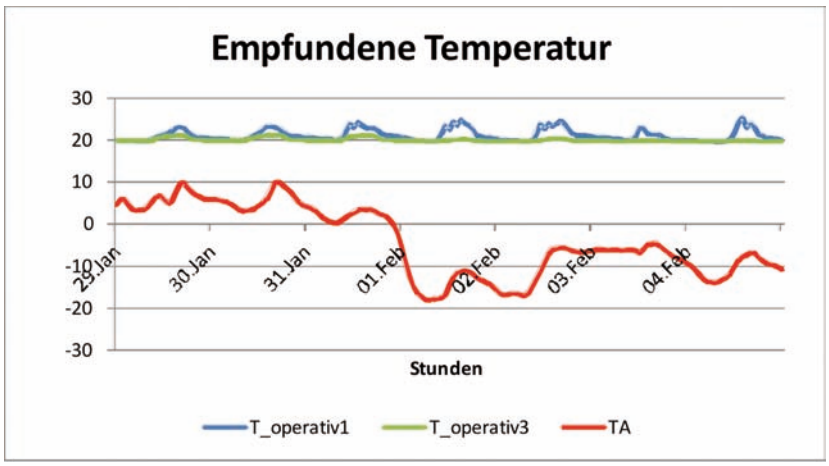


Abb. 2: Ausgangsvariante Fensterband kalte Periode, Zone 1 Südbüro, Zone 3 Nordbüro

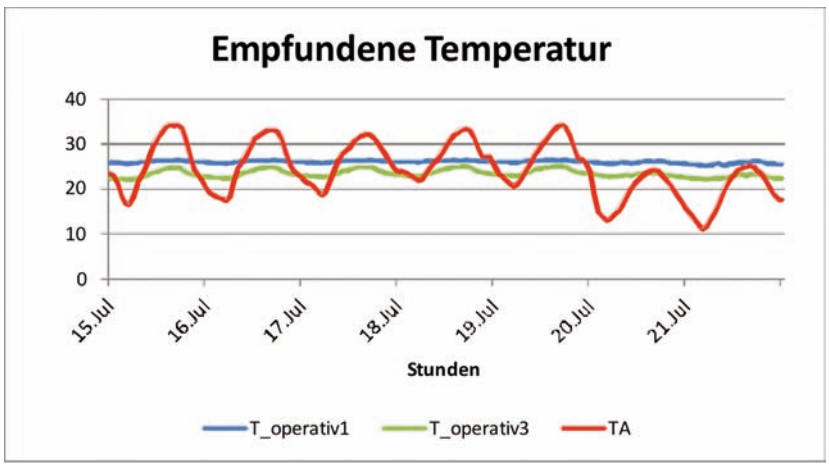


Abb. 3: Ausgangsvariante Fensterband heiße Periode, Zone 1 Südbüro, Zone 3 Nordbüro

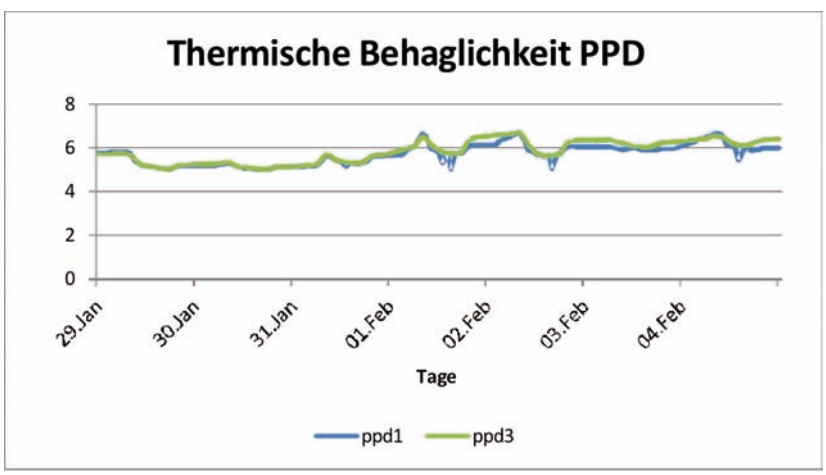


Abb. 4: Ausgangsvariante Fensterband kalte Periode, Zone 1 Südbüro, Zone 3 Nordbüro

Fortsetzung von Seite 11

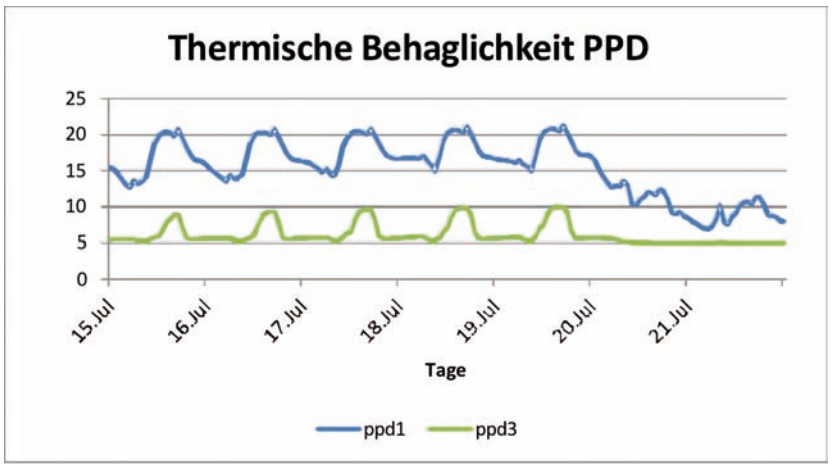


Abb. 5: Ausgangsvariante Fensterband heiße Periode, Zone 1 Südbüro, Zone 3 Nordbüro

Eine statistische Auswertung über alle Betriebsstunden in einem Jahr (8 Uhr bis 18 Uhr) ist für die Ausgangsvariante in Abb. 7 dargestellt.
Deutlich wird, dass im südgelegenen Büro höhere Oberflächentemperaturen auftreten und daher bei Beschränkung der Bekleidungsstärke auf minimal 0.6 clo (Leichte Businesskleidung) im Hochsommer auch unbehagliche Zustände auftreten können. Diese können durch eine niedrigere Solltemperatur im Sommer (z.B. 25 °C) oder durch Strahlungskühlsysteme deutlich reduziert werden.

Die Auswirkungen auf den Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie wurde anhand von 4 Kennwerten bewertet, die für die Raumkonditionierung, Raumluftqualität und Beleuchtung erforderlich sind:

- Beheizung (Annahme Erdgasheizung Brennwerttherme)
- Kühlung (Mechanische Kühlung)
- Hilfsstrom Heizung/Kühlung (effiziente Verteilung und Abgabe)
- Lüfterstrom (Lüfterstrom Zu- und Abluft 0,4 Wh/m³)
- Beleuchtung (Netzstrom)

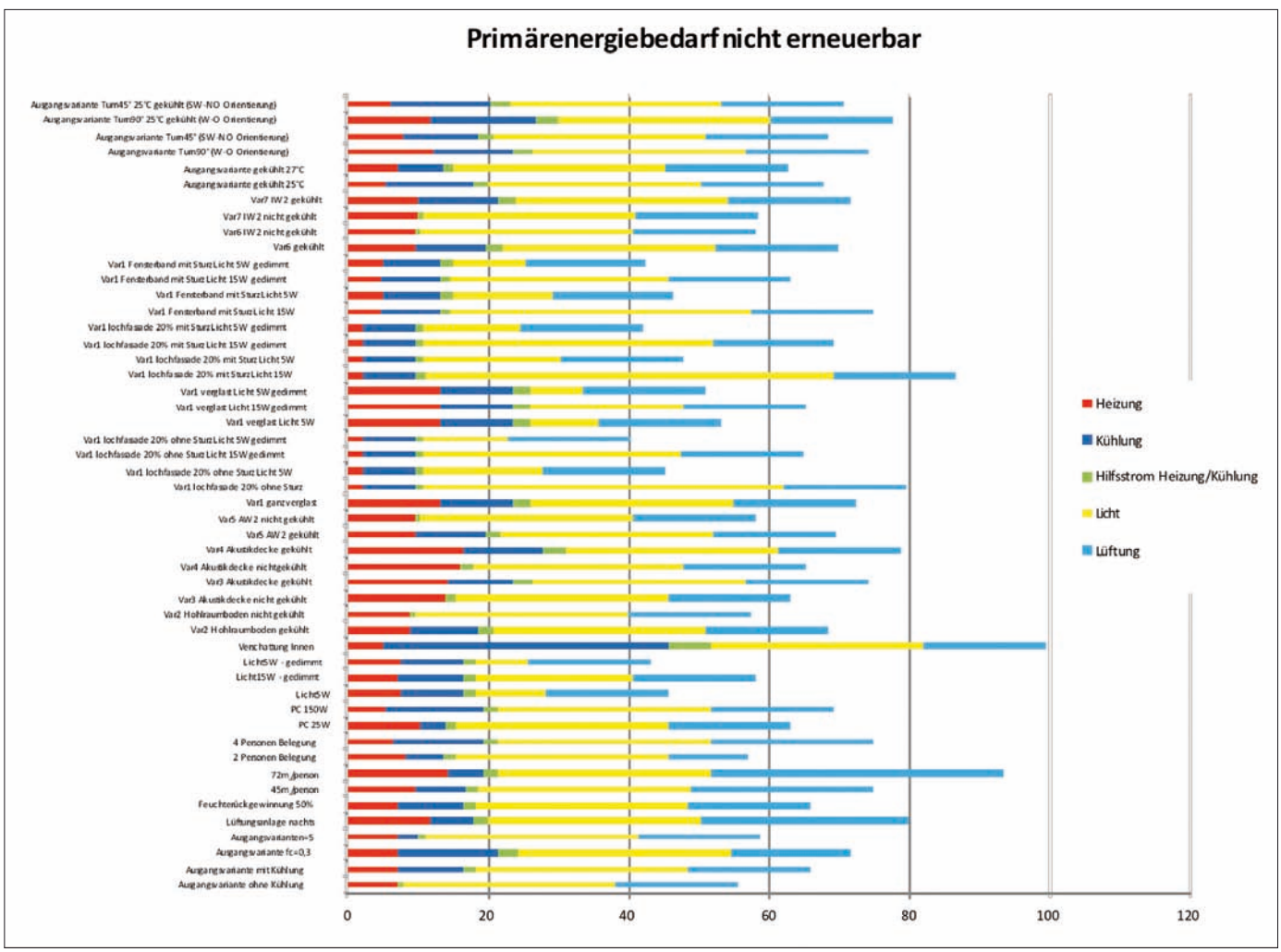


Abb. 6: Auswahl Varianten, PEI ne. Kennwert für Bürozone (25m²)

Die Ergebnisse sind in Abb. 6 dargestellt und beziehen sich nur auf einen Büroraum, der Gang ist nicht berücksichtigt.

- Deutlich wird der hohe Einfluss der Beleuchtung, der von 7 bis 60 kWh/m² Primärenergiebedarf reicht.
- Der Kühlbedarf ist wenig überraschend im Fall der innenliegenden Verschattung sehr hoch, sonst vor allem von der Orientierung und den inneren Lasten abhängig.
- Der Heizwärmebedarf schwankt zwischen 2 kWh/m²a für einen südgelegenen dicht besetzten Büroraum bis 16 kWh/m²a eines nordgelegenen gering belegten und mit hocheffizienter Beleuchtung ausgerüsteten Raumes.
- Der Lüfterstrom ist in den meisten Fällen ähnlich, da nur in wenigen Varianten die Luftmenge verändert wurde. Der spezifische Bedarf hängt vor allem vom Lüftungsgerät selbst und der Auslegung/Ausführung des Lüftungsnetzes ab.

Insgesamt ergeben sich in Summe Kennwerte von 40 bis 100 kWh und machen damit die hohe Sensitivität des Primärenergiebedarfs für wesentliche Planungs- und Nutzerparametern deutlich. Passivhausqualität für das Gesamtgebäude ist meist nur mit den optimierenden Maßnahmen erreichbar.

Thomas Zelger
IBO GmbH

Thermische Behaglichkeit				
Anteil Unzufriedener		ppd1	ppd2	ppd3
Min:		5.00	5.00	5.00
Max:		21.25	6.26	9.99
		Std.[h]	Std.[h]	Std.[h]
<6	A	1378	2580	2444
6 < 10	B	318	30	166
10 - 15	C	565	0	0
15 - 20	unzufrieden	306	0	0
20 - 25		43	0	0
25 - 30		0	0	0
30 - 35		0	0	0
35 - 40		0	0	0
40 - 45		0	0	0
45 - 50		0	0	0
> 50		0	0	0

Abb. 7: Ausgangsvariante Fensterband heiße Periode, Zone 1 Südbüro, Zone 2 Gang, Zone 3 Nordbüro