

UNTERSUCHUNGEN ZUM EINSATZ VON VERDUNSTUNGSKÜHLUNG INNERHALB EINES HYBRIDEN LÜFTUNGSKONZEPTES

Wojciech Kozak, Alf Perschk, Markus Rösler
 Institut für Energietechnik, TU Dresden, Dresden, Germany
Wojciech.Kozak@tu-dresden.de, Alf.Perschk@tu-dresden.de,
Markus.Roesler@tu-dresden.de

KURZFASSUNG

Das Aufrechterhalten der thermischen Behaglichkeit bei hochsommerlichen Verhältnissen stellt auch in neuen Gebäuden mit hohem Niveau der Wärmedämmung ohne Nutzung energieintensiver RLT-Anlagen eine Herausforderung dar. Trotz moderater innerer Gewinne und intensivem Schutz vor solaren Gewinnen bleibt oft eine die thermische Behaglichkeit beeinträchtigende Kühllast bestehen. Dieser Artikel beschreibt rechnerische Untersuchungen zu einem hybriden Lüftungskonzept für einen Raum, in dem die Kühlung von einem direkten Verdunstungskühler bereitgestellt wird. Die Forschungsarbeiten werden im Rahmen eines DST-DFG-Kooperations-Programmes mit dem Indian Institute of Technology Roorkee durchgeführt, wo ein Prototyp eines solchen Kühlers vermessen und optimiert wird.

Dieser Artikel analysiert die Anwendungsmöglichkeiten von direkter Verdunstungskühlung im Niedrigenergiehaus und im traditionellen, schlecht gedämmten Gebäude unter mitteleuropäischen sommerlichen Wetterverhältnissen. Außerdem wird der Einfluss der Verschattung, der Lüftungsstrategie und der Wärmedämmung auf die thermische Behaglichkeit im Raum und den Energieverbrauch der Lüftungsanlage diskutiert. Alle Berechnungen wurden mit dem Programm TRNSYS (Klein et al. 1976) in einer weiterentwickelten Version der TU Dresden ausgeführt (Perschk, 2000) und (Perschk et al., 2007).

Als Ergebnis lässt sich ausweisen, dass in Kombination mit einer passenden Lüftungsstrategie und ausreichender Verschattung der direkte Verdunstungskühler in der Lage ist, die thermische Behaglichkeit auf einem mit einer RLT-Anlage vergleichbaren Niveau zu halten. Der Energieverbrauch ist wesentlich niedriger als bei Klima-Anlagen. Weiterhin kann gezeigt werden, dass die Feuchtespeicherung in den Wänden auf einem akzeptablen Niveau bleibt.

ABSTRACT

It is a challenge to attain a high level of thermal comfort during the summer without using energy intensive air conditioning systems even with high insulation standards of the walls in new buildings. Despite moderate inner loads and intensive protections

against solar gains a cooling load often remains that affects the thermal comfort. This paper investigates by means of computer simulation a hybrid ventilation concept where cooling is provided by a direct evaporative cooler. The research work has been carried out within a DST-DFG cooperation program with the Indian Institute of Technology Roorkee, where a prototype of such a cooler is investigated and optimised.

This paper analyses the potential for use of evaporative coolers in low energy buildings and traditional buildings with lower insulation standard under Central European summer conditions. In addition, the influence of shading appliances, ventilation strategy and thermal insulation of the building on the thermal comfort attained in the simulated room along with the energy consumption of the used system is investigated. For the simulations the program TRNSYS (Klein et al. 1976) is applied, but in a special version developed by TU Dresden (Perschk, 2000) and (Perschk et al., 2007).

It has been found that evaporative coolers, together with a suitable ventilation strategy and sufficient shading are able to provide levels of thermal comfort comparable with those gained by mechanical air conditioning systems. The energy consumption is substantially lower and effects on the humidity content of the walls are in the safe region.

EINLEITUNG

In vielen Teilen der Welt ermöglichen die klimatischen Bedingungen die Nutzung von Verdunstungskühlung. Mit den Mitteln der thermischen Gebäudesimulation kann untersucht werden, welche raumklimatischen Parameter beim Einsatz von Verdunstungskühlung in Kombination mit anderen Maßnahmen, die vorrangig die Gebäudehülle betreffen, erreichbar sind. Dazu wurde ein Modellraum ausgewählt, der als repräsentativ für ein Büro oder auch ein Wohnzimmer angesehen werden kann und bereits zu Untersuchungen zum sommerlichen Kühlfall herangezogen wurde (Richter, 2007), siehe auch Abbildung 1. Bevor die Zusammenstellung der Randbedingungen erfolgt, sei kurz auf das benutzte Programmsystem eingegangen.

ÜBERBLICK PROGRAMMSYSTEM

Das den vorgestellten Untersuchungen zugrunde liegende Programmsystem TRNSYS-TUD ist eine Dresdner universitäts- bzw. institutsinterne Weiterentwicklung des kommerziellen Gebäudesimulationsprogrammes TRNSYS (Klein et al., 1976). Für Details bezüglich der vorgenommenen umfangreichen Modifikationen sei auf (Perschk, 2000) verwiesen.

Für die Modellierung der Verdunstungskühlung im Rahmen eines hybriden Lüftungskonzeptes ist das Programmsystem um entsprechende Unterprogramme (TYPES) ergänzt worden, ansonsten konnte auf die Programmstruktur zurückgegriffen werden, die innerhalb des IEA-ECBCS-Projektes Annex 41 „Whole Building heat, air and moisture response“ entwickelt und validiert wurde, siehe (Perschk et al., 2007). Die Parameter zur Charakterisierung des Verdunstungskühlers sind unter anderem aus den Messungen am IIT Roorkee (Pradhan, 2008) abgeleitet worden.

RANDBEDINGUNGEN, PARAMETER UND BERECHNUNGSVARIANTEN

Gebäude bzw. Raum und Wetterbedingungen

Der in Abbildung 1 dargestellte Raum ist als Teil eines Gebäudes zu verstehen, das aus gleichartigen Räumen besteht. Der Raum ist 5m breit, 6m lang und 3m hoch. Das Fenster ist nach Süden ausgerichtet und hat eine Fläche von 4.5m², was einem Drittel der Fläche der Außenfassade entspricht. Der Raum ist einerseits im Niedrigenergiehausstandard (U-Wert Fenster 2,31W/m²K, G-Wert 0,62) und andererseits als massive Betonkonstruktion mit Einscheibenverglasung ausgeführt.

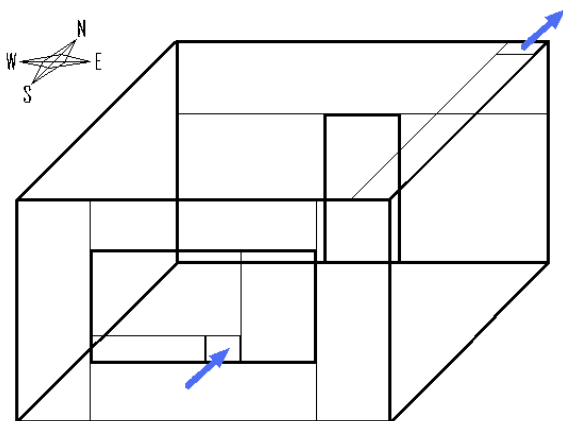


Abbildung 1 Modellraum mit einem nach Süden ausgerichteten Fenster

Für die vorliegenden Untersuchungen wurden die Wetterdaten für einen extremen Sommer im östlichen Teil Deutschlands (TRY04_SOM) verwendet, Referenzstation ist Potsdam. Die Simulation umfasst die Monate Juni, Juli, August.

Innere Gewinne

Im Zeitraum zwischen 08:00 Uhr und 12:00 Uhr und zwischen 13:00 Uhr und 17:00 Uhr befinden sich im Raum zwei Menschen, deren Wärmeabgabe mit 100W und deren Wasserdampfemission mit 35g/h je Person angenommen wurde. Da der Raum zunächst ein Büro darstellen soll, wurden in der Zeit zwischen 08:00 Uhr und 17:00 Uhr zusätzlich zwei Computer mit einer Wärmeabgabe von je 100W modelliert.

Lüftung und Verdunstungskühler

Durch eine einfache Lüftungsanlage wird der Raum mit Außenluft versorgt. Die Lufteintrittsöffnung befindet sich innerhalb der Fensterkonstruktion und ist, wie auch die Austrittsöffnung, in Abbildung 1 gekennzeichnet.

Der Luftwechsel in dem untersuchten Raum beträgt maximal 1,0h⁻¹ und ist von der Lüftungsart abhängig. Es wurden drei Lüftungsarten definiert: *Lüftungsart 1* - es wird mit dem Luftwechsel von 1,0h⁻¹ nur in der Nutzungszeit gelüftet, d.h., wenn die Personen im Raum anwesend sind (08:00-12:00 und 13:00-17:00). Die Lüftung kann direkt mit Außenluft, mit der Luft aus dem Verdunstungskühler oder einer Mischung davon erfolgen. Zur Lüftung in dieser Zeit wird die in Abbildung 2 dargestellte Anlage genutzt.

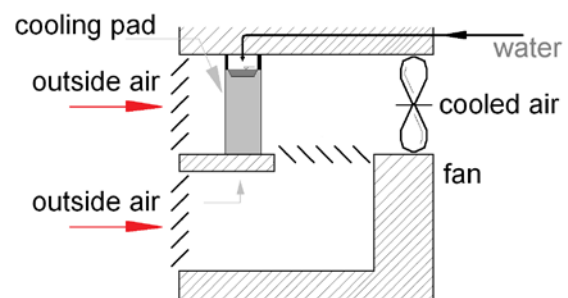


Abbildung 2 Einbau des Verdunstungskühlers in der Zuluftanlage.

Lüftungsart 2 - Zusätzlich zur Lüftung in der Nutzungszeit wird in der Nacht zwischen 22:00 Uhr und 06:00 Uhr mit Außenluft und konstantem Luftwechsel von 1,0 h⁻¹ gelüftet. Die Nachtlüftung wird abgeschaltet, wenn die Empfindungstemperatur im Raum unter 20°C fällt.

Lüftungsart 3 - In der Zeit zwischen 06:00 Uhr und 22:00 Uhr wird der Raum mit Außenluft, Luft aus dem Verdunstungskühler oder einer Mischung davon belüftet. In der Nacht (22:00-06:00) wird mit Außenluft gelüftet, solange die minimale Temperatur von 20°C nicht unterschritten wird.

Verschattung

Es wurden drei Arten der Verschattung modelliert:

1. keine Verschattung
2. normale Verschattung - Die außenliegenden Jalousien schirmen 67% der gesamten Solarstrahlung ab. Sie werden aktiviert, wenn die solare Einstrahlung auf die Fensteroberfläche einen Wert von 180 W/m^2 überschreitet und werden deaktiviert wenn dieser Wert unter 110 W/m^2 fällt.
3. starke Verschattung - Die außenliegenden Jalousien schirmen 84% der gesamten Solarstrahlung ab und werden genau wie in Fall 2 betrieben.

BEWERTUNGSWERKSZEUGE

Thermische Behaglichkeit

Aus Messungen oder rechnerischen Simulationen eines Gebäudes lässt sich eine große Anzahl zeitlicher Verläufe der Temperatur und anderer Größen gewinnen, wie in der Abbildung 3 beispielhaft dargestellt.

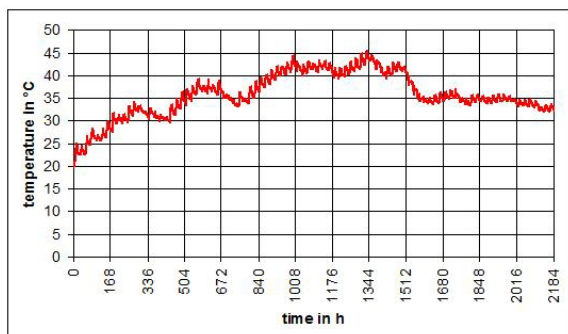


Abbildung 3 Beispiel eines Temperaturverlaufes

Um die Ergebnisse verschiedener Konfigurationen gut vergleichen zu können, werden die zeitlichen Verläufe in eine Häufigkeitsverteilung umgeformt. Aus einer Funktion der Temperatur in Abhängigkeit von der Zeit entsteht eine Funktion der Häufigkeit des Auftretens einer Temperatur von diesem Wert, wie in der Abbildung 4 dargestellt (blaue Balken). Die Verteilung ist aus den in Abbildung 3 ersichtlichen Daten generiert.

Aus der Verteilung kann man wiederum eine summativ Häufigkeit bilden, die über den untersuchten Temperaturbereich immer die Werte zwischen 0 und 100% annimmt (rote Linie in der Abbildung 4). Die summativ Häufigkeit kann für alle interessanten Größen gebildet werden und macht einen Vergleich zwischen mehreren Anlagen einfach.

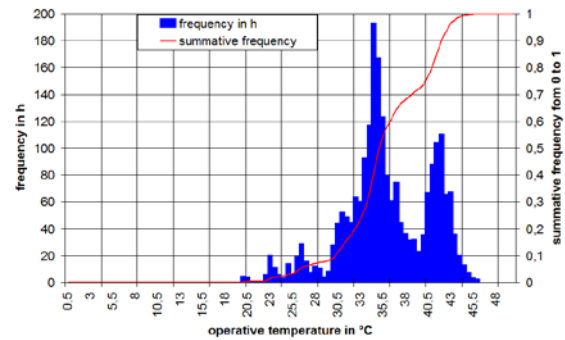


Abbildung 4 Häufigkeitsverteilung der Temperatur (blau) und ihre summativ Häufigkeit (rot)

In diesem Beitrag werden operative Temperatur (Empfindungstemperatur) und Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) nach (DIN EN ISO 7730, 2006) ausgewertet, um die thermische Behaglichkeit im Raum zu beurteilen.

Energieverbrauch

Neben der thermischen Behaglichkeit ist vor allem der Energiebedarf der Anlage von Interesse. Dieser hat direkten Einfluss auf die Höhe der Betriebskosten und der CO_2 - Emission, die von der Anlage verursacht wird.

Zur Abschätzung des Energiebedarfs wird hier die Betriebszeit der Lüftungsanlage und des Verdunstungskühlers aufgenommen. Der Betrieb der Lüftungsanlage wirkt sich im Stromverbrauch für den Ventilator aus. Der Betrieb des Verdunstungskühlers wirkt sich im Stromverbrauch der Wasserpumpe und im Wasserverbrauch aus.

AUSGEWÄHLTE ERGEBNISSE

Die Ergebnisse der Untersuchung sind sehr umfangreich und wurden deswegen in Abhängigkeit der untersuchten Einflussgröße dargestellt.

Einfluss der Lüftungsart

Aus Abbildung 5 ist ersichtlich, dass die zusätzliche Lüftung in der Nacht einen positiven Einfluss auf die thermische Behaglichkeit im Raum hat.

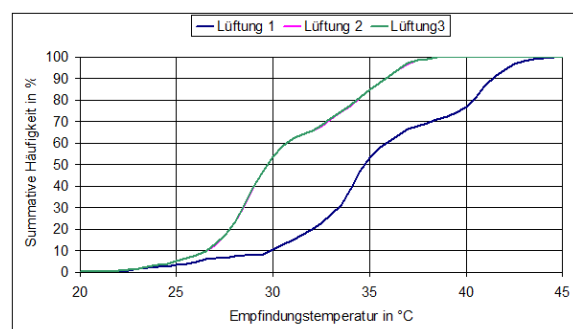


Abbildung 5 Einfluss der Lüftungsart auf die Empfindungstemperatur im Raum ohne Verschattung

Es trat praktisch kein Unterschied zwischen den Lüftungsarten 2 und 3 auf, da die zusätzliche Lüftung größtenteils bei mittleren Außentemperaturen stattfindet und kaum thermischen Einfluss auf den Raum hat. Deswegen decken sich in den folgenden Abbildungen die Ergebnisse für Lüftungsarten 2 und 3. Der Einfluss der Lüftungsart ist am stärksten für den Raum ohne jegliche Verschattung. Das Niveau der thermischen Behaglichkeit ist in diesem Fall eigentlich nicht diskussionswürdig. Die operative Temperatur im Raum ist deutlich über der Behaglichkeitsgrenze. Auch bei intensiver Lüftung (Lüftung 3) wird für mehr als die Hälfte (ca. 55%) der Zeit die Temperatur von 30°C überschritten. Die behaglichen Temperaturen um 24,5°C können in weniger als 5% des ausgewerteten Zeitraumes erreicht werden (siehe Abbildung 6).

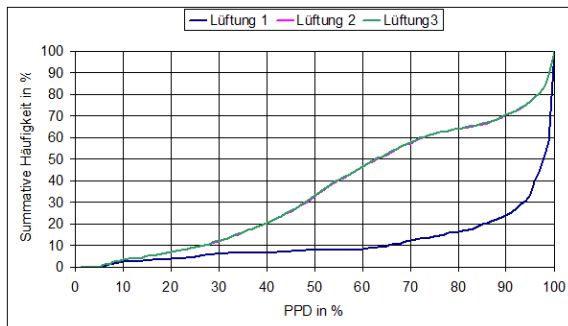


Abbildung 6 Einfluss der Lüftungsart auf die thermische Behaglichkeit im Raum ohne Verschattung

Die Situation verbessert sich deutlich, sobald eine Außenverschattung eingebaut wird. Der weniger belüftete Raum hält die Temperatur unter der 25°C-Grenze für 40% der Zeit und der intensiv belüftete für 80% der Zeit (Abbildung 7).

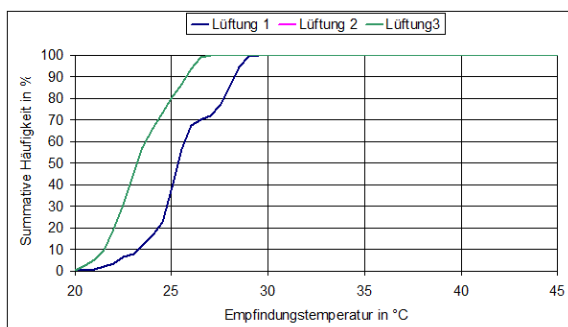


Abbildung 7 Einfluss der Lüftungsart auf die Empfindungstemperatur im Raum mit normaler Verschattung

Es bleibt jedoch ein Behaglichkeitsdefizit bestehen, wenn der Raum ohne Nachtlüftung betrieben wird. Erst die Auskühlung des Raumes während der Nacht sichert eine akzeptable thermische Behaglichkeit, siehe Abbildung 8.

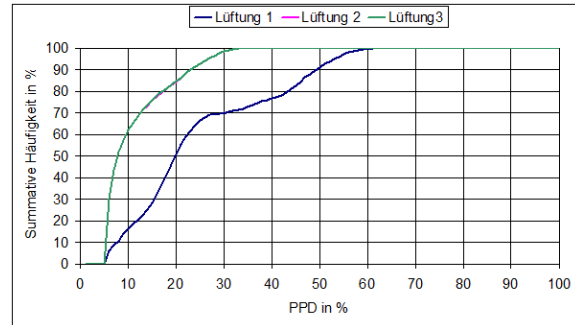


Abbildung 8 Einfluss der Lüftungsart auf die thermische Behaglichkeit im Raum mit normaler Verschattung

Ähnliche Ergebnisse wie in Abbildung 8 können mit Hilfe einer starken Verschattung gewonnen werden (Abbildung 9).

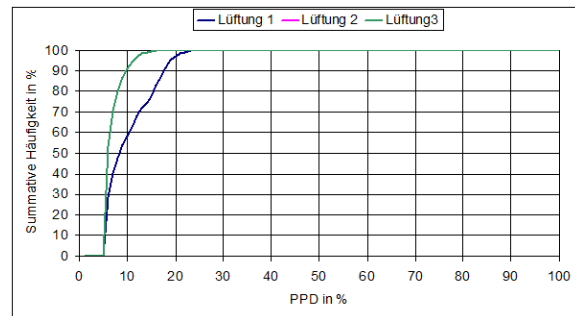


Abbildung 9 Einfluss der Lüftungsart auf die thermische Behaglichkeit im Raum mit starker Verschattung

Das Zusammenführen der Nachtlüftung und starken Verschattung ergibt ein Behaglichkeitsniveau, das mit denen in klimatisierten Räumen vergleichbar ist. Für 90% der Zeit liegt der PPD-Index unter 10%-Grenze und überschreitet nie die 20%-Grenze.

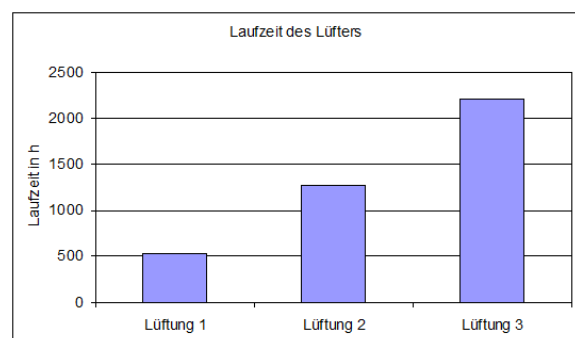


Abbildung 10 Einfluss der Lüftungsart auf Laufzeit des Lüfters im Raum

Die Laufzeit des Ventilators bleibt praktisch unabhängig von der Verschattung, nur die Lüftungsart hat Einfluss auf die Laufzeit des Ventilators und dadurch auf dessen Stromverbrauch (Abbildung 10).

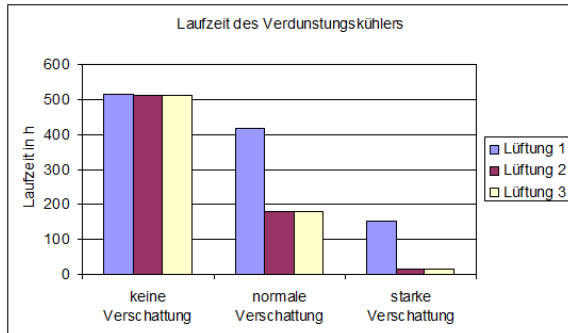


Abbildung 11 Einfluss der Lüftungsart und Verschattung auf Laufzeit der Wasserpumpe.

Die Situation gestaltet sich anders bei der Laufzeit der Wasserpumpe des Verdunstungskühlers. Sie wird sowohl von der Lüftungsart als auch von der Verschattung des Raumes deutlich beeinflusst (Abbildung 11).

Einfluss der Verschattung

Um den Einfluss der Verschattung deutlich zu machen werden die Ergebnisse für eine Lüftungsart verglichen. Verständlicherweise hat die Verschattung den entscheidenden Einfluss auf die erreichbare thermische Behaglichkeit. Die Ursache dafür ist der Aufbau des Raumes mit einem großen, nach Süden ausgerichteten Fenster. Ohne Abschirmung der direkten solaren Gewinne kann keine akzeptable thermische Behaglichkeit in diesem Raum erreicht werden, siehe Abbildung 12.

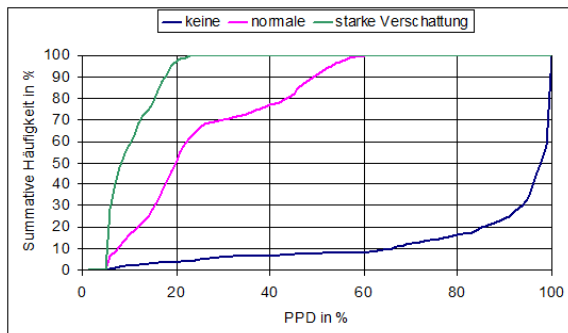


Abbildung 12 Einfluss der Lüftungsart auf die therm. Behaglichkeit im Raum mit Lüftungsart 1

Die Lage ist zwar nicht ganz so kritisch, wenn der Raum ordentlich gelüftet wird, trotzdem bleibt die Verschattung unverzichtbar (Abbildung 13).

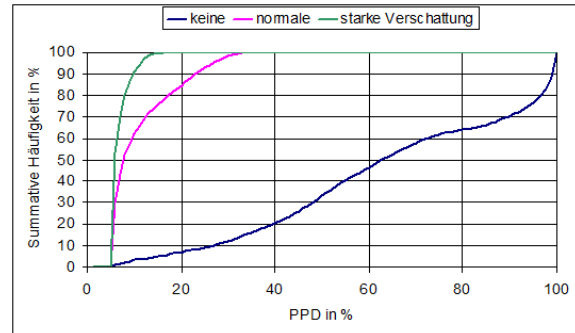


Abbildung 13 Einfluss der Lüftungsart auf die thermische Behaglichkeit im Raum mit Lüftungsart 3

Noch günstigere Verhältnisse im Raum könnten mit höherem Luftwechsel (und vorausgesetzter hoher Lüftungseffektivität) gewonnen werden.

Potenzial des Verdunstungskühlers

Aus der bisherigen Analyse ist schwer zu erkennen wie groß der Beitrag des Verdunstungskühlers zur Einhaltung der thermisch behaglichen Bedingungen im untersuchten Raum ist. Um dieses zu verdeutlichen, wurden die Simulationsergebnisse für die Lüftung mit Außenluft zu denen mit Lüftung über den Verdunstungskühler verglichen.

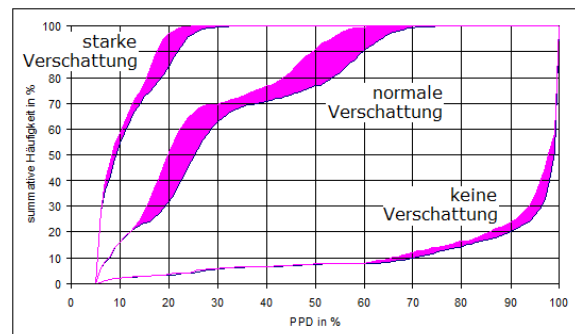


Abbildung 14 Kühlpotential des Verdunstungskühlers für Lüftungsart 1.

Der Unterschied in der thermischen Behaglichkeit zwischen den Lüftungssystemen mit Verdunstungskühler und denen, die die Außenluft direkt zu Lüftungszwecken verwenden, wurde in den Abbildungen 14 und 15 als schraffierte Fläche zwischen den Kurven dargestellt. Das Kühlpotential wird kleiner mit fallender Wärmebelastung des Raumes. Die Intensität der Lüftung spielt auch eine sichtbare Rolle. Wenn der Raum gut verschattet und intensiv belüftet wird, kann der Verdunstungskühler nur wenig zur Verbesserung der thermischen Behaglichkeit beitragen (siehe Abbildung 15).

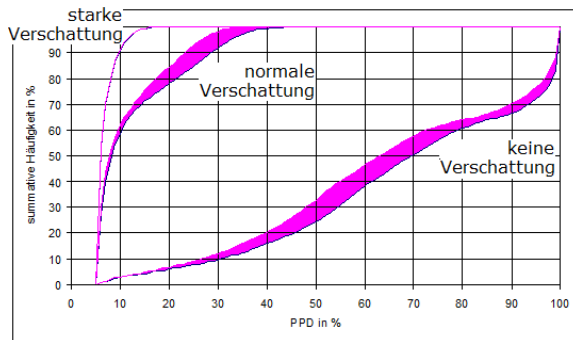


Abbildung 15 Kühlpotential des Verdunstungskühlers für Lüftungsart 3.

Tabelle 1 zeigt das Kühlpotential des Verdunstungskühlers in Grad-Stunden. Wegen der Abweichungen zwischen der operativen Raumtemperatur und dem PPD-Index unterscheiden sich die Verhältnisse der Abbildungen 12 und 13 von den aus der operativen Temperatur ausgerechneten Werten in Tabelle 1.

Tabelle 1
Kühlpotential des Verdunstungskühlers
in einem modernen Gebäude in Grad-Stunden

VER-SCHAT-TUNG	LÜFTUNGSART		
	1	2	3
Keine	2087	1601	1614
Normal	1687	670	673
Stark	679	30	30

Abhängig von der angewendeten Lüftung und den baulichen Maßnahmen kann der Verdunstungskühler als eine wertvolle Vervollständigung des Lüftungskonzeptes wirken oder ist kaum notwendig.

Einfluss des Reglungsalgorithmus

Der Einfluss des Reglungsalgorithmus auf die thermische Behaglichkeit wurde für zwei Typen des Reglers untersucht:

1. einen PI-Regler, dessen Sollwerttemperatur 24,5°C betrug und
2. einen Zwei-Punkt-Regler (2P), dessen Einschalttemperatur auf 24,75°C und dessen Ausschalttemperatur auf 24,25°C gesetzt wurde.

Der Einfluss der Reglerart ist bei hohen Lasten sehr gering, weil der Kühler einfach die ganze Zeit in Betrieb bleibt. Deswegen überlappen sich die PPD-Kurven, siehe Abbildung 16.

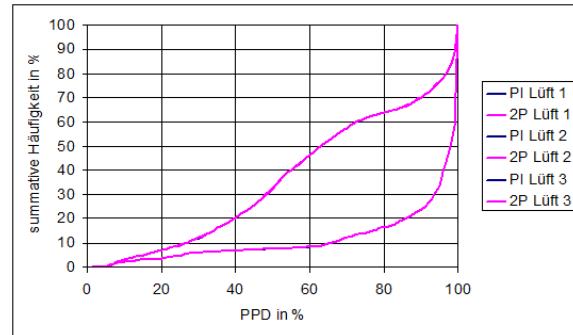


Abbildung 16 Einfluss des Reglers auf die thermische Behaglichkeit im Raum ohne Verschattung

Die Situation bleibt unverändert wenn die Verschattung berücksichtigt wird (Abbildung 17). Dies ist durch die geringe Leistung des Verdunstungskühlers und die kleine Schalthysterese zu erklären.

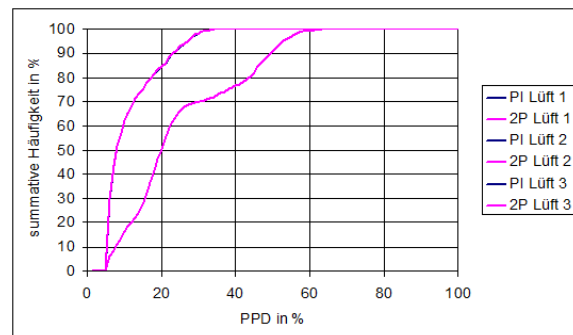


Abbildung 17 Einfluss des Reglers auf die thermische Behaglichkeit im Raum mit normaler Verschattung

Daher ist hier der Zwei-Punkt-Regler als eine kostengünstigere Lösung zu empfehlen.

Einfluss des Dämmstandards

Die oben angegebenen Simulationen wurden auch für einen traditionellen, schlecht gedämmten Raum durchgeführt. Es besitzt die gleiche Geometrie damit auch das gleiche Volumen. Der Unterschied liegt in der Wandkonstruktion, die hier aus geputztem Stahlbeton besteht und dem Fenster, das hier nur eine einfache Verglasung besitzt. Das Kühlpotential des Verdunstungskühlers in so einem Raum wurde mit Hilfe von Grad-Stunden in der Tabelle 2 erfasst.

Tabelle 2
Kühlpotential des Verdunstungskühlers
in einem traditionellen Gebäude in Grad-Stunden

VER-SCHAT-TUNG	LÜFTUNGSART		
	1	2	3
Keine	1969	1593	1606
Normal	1727	731	734
Stark	792	154	154

Es ist ersichtlich, dass die Anwendung des Verdunstungskühlers im traditionellen Gebäude auch bei sehr starker Verschattung sinnvoll ist, um die thermische Behaglichkeit im Raum zu erhalten. Die Unterschiede im Kühlpotential des Verdunstungskühlers sind auf die größere Masse des traditionellen Gebäudes und die geringe Isolierung der Fenster zurückzuführen. In den Abbildungen 18 und 19 wurden die Unterschiede im Behaglichkeitsniveau zwischen modernen und traditionellen Räumen dargestellt.

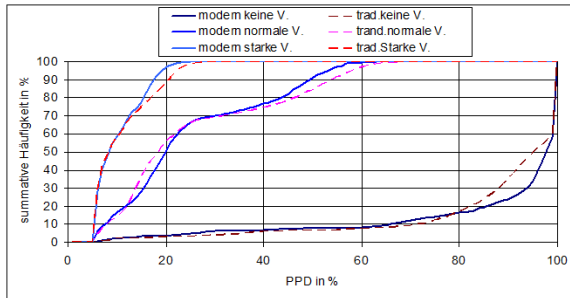


Abbildung 18 Thermische Behaglichkeit in modernen und traditionellen Gebäuden bei Lüftungsart 1

Moderne, hochwärmegedämmte Gebäude (durchgezogene Linien) verhalten sich günstiger als traditionelle Bauwerke (gestrichelte Linien) so lange sie sehr starke Verschattung der Fenster besitzen. Wenn die Verschattung nicht vorhanden ist, ist der Diskomfort in traditionellen Gebäuden erkennbar geringer.

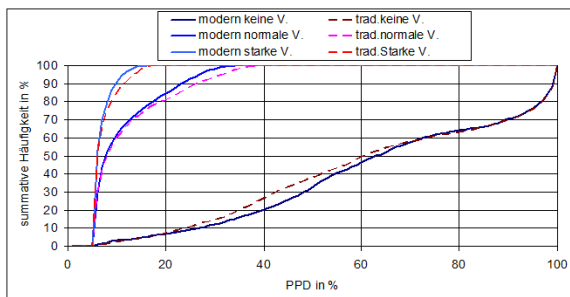


Abbildung 19 Thermische Behaglichkeit in modernen und traditionellen Gebäuden bei Lüftungsart 2

Bei normaler Verschattung und üblicher Lüftung verhalten sich die beiden Bauweisen vergleichbar, mit leichtem Gewinn für besser gedämmte Gebäude, da die maximalen Raumtemperaturen geringer sind.

Einfluss der Effizienz eines Verdunstungskühlers

Alle bisherigen Untersuchungen haben eine konstante Effizienz (μ) des Verdunstungskühlers angenommen. Die Effizienz wurde mit 60% gewählt, was aber nach Bauweise des Kühlers variieren kann. Um diesen Einfluss zu quantifizieren wurden auch Simulationen mit höherer Effizienz des Verdunstungskühlers durchgeführt (Abbildung 20).

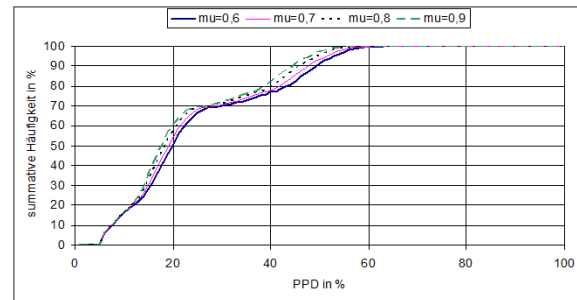


Abbildung 20 Einfluss der Kühleffizienz auf die thermische Behaglichkeit im Raum ohne Verschattung mit Lüftungsart 1

Das Kühlpotential des Verdunstungskühlers ändert sich natürlich positiv bei Erhöhung seiner Effizienz. Bei hohen solaren Gewinnen und geringer Lüftung ist dieses Potential am größten, wie in Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 3

Ausgewählte Werte des Kühlpotentials des Verdunstungskühlers in einem modernen Gebäude in Abhängigkeit von den Randbedingungen in Grad-Stunden

VERSCHATTUNG	LÜFTUNGSART	UNTERSCHIED IM KÜHLPOTENTIAL ZWISCHEN MU=0,6 UND 0,9
Keine	1	1045
Normal	1	756
Normal	2	256
Stark	3	2

Bei modernen Gebäuden mit starker Verschattung und intensiver Lüftung ist die Effizienz des Verdunstungskühlers ohne großen Einfluss. In Gebäuden mit wenig Verschattung bzw. geringer Lüftung kann dagegen eine Steigerung der Kühleffizienz eine Verdopplung der Wirkung mit sich bringen.

Feuchtehaushalt der Außenwände

Ein direkter Verdunstungskühler kann potenziell Probleme mit dem Feuchtehaushalt der Wände verursachen, da er im Sommer, wenn das Gebäude nach dem Winter austrocknet, noch eine zusätzliche Wasserdampfquelle im Inneren darstellt. Die ungünstigste Variante in dieser Hinsicht sollte also Lüftungsart 1 mit ihrer relativ kurzen Lüftungszeit darstellen. Die Ergebnisse für diesen Fall und verschiedene Stärken der Verschattung sind in Abbildung 21 dargestellt.

Wegen des relativ kurzen Einschwing- und Auswertungszeitraumes ist es nicht möglich, endgültige Aussagen zum Feuchtegehalt der Wände zu treffen. Jedoch kann auch in so einem kurzen Zeitraum festgestellt werden, ob die Tendenz steigend oder fallend ist. Dadurch können Stellen aufgedeckt werden an denen genauere und aufwändigere Untersuchungen nötig sind.

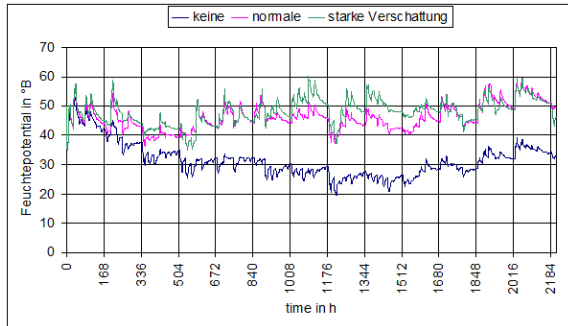


Abbildung 21 Feuchtepotential in der Außenwand im Raum mit Lüftungsart 1

Für den Raum ohne Verschattung ist der Feuchtegehalt der Wände eindeutig abnehmend. Dies gilt jedoch nicht für die Situation mit normaler oder starker Verschattung. In diesen Fällen ist eine weitere, genauere Untersuchung des Feuchtegehalts der Wände notwendig, um eventuelle Probleme festzustellen bzw. auszuschließen. Intensivere Lüftung mildert dieses Risikopotenzial, aber endgültige Aussagen werden erst nach den geplanten, detaillierten Untersuchungen möglich.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Ergebnisse der vorgenommenen Untersuchungen belegen, dass direkte Verdunstungskühlung einen wirksamen Beitrag zur Verbesserung der raumklimatischen Verhältnisse im Hochsommer erbringen kann. In Kombination mit effizienter Verschattung und Nachtlüftung werden im Niedrigenergiehaus sogar thermisch behagliche Verhältnisse der höchsten Kategorie erreicht. Der Energiebedarf dafür ist vergleichsweise gering. Die Ergebnisse für einen Raum mit niedrigem Wärmedämmstandard aber in schwerer Bauweise sind nicht wesentlich schlechter, können jedoch kaum als repräsentativ für indische Verhältnisse angesehen werden, da aus Gründen der Vergleichbarkeit zunächst die gleichen Wetterdaten und eine eher untypische Gebäudedichtheit angenommen wurde. Weitere Untersuchungen dazu sowie detaillierte Analysen der raumklimatischen Verhältnisse für kurze Zeitspannen werden demnächst veröffentlicht.

Der Verdunstungskühler hat die größte Auswirkung auf die thermische Behaglichkeit im Raum wenn eine übliche Verschattung angewendet wird. In diesem Fall ist auch die Steigerung seiner Effizienz vorteilhaft für die Verhältnisse im Raum. Der Einsatz des Kühlers ist preisgünstig und erfordert, wie oben gezeigt, keine aufwendige Regelung. Wegen seiner relativ geringen Leistung muss der Verdunstungskühler als eine zusätzliche Maßnahme zur Erhöhung der Nutzerbehaglichkeit gesehen werden. Ohne andere bauliche und anlagentechnische Maßnahmen schafft er nicht, behagliche Verhältnisse im Raum zu gewährleisten. Die bisherigen Untersuchungen weisen keine kritischen Zustände des Feuchtehaushaltes der Wände

aus. Die erforderliche Lüftungsstrategie, die einen über den ganzen Raum und die ganze Kühlperiode ausgewogenen Feuchtehaushalt der Wände garantiert, muss noch endgültig bestimmt werden.

DANKSAGUNG

Die Arbeiten werden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des „Indo-German Programme of Co-operation“ unterstützt.

LITERATUR

- DIN EN ISO 7730. Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD - Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit. Berlin: Beuth Verlag 2006.
- Klein, S. A., Duffie, J. A., Beckman, W. A. 1976. TRNSYS - A Transient Simulation Program. ASHRAE Trans 82 (1976), S. 623.
- Perschke, A. 2000. Gebäude-Anlagen-Simulation unter Berücksichtigung der hygrischen Prozesse in den Gebäudewänden. Dissertation. TU Dresden.
- Perschke, A., Meinhold, U. 2007. Ein Modell zur hygrisch-thermischen Gebäudesimulation mit Hilfe der Kopplung von Zonen- und Feldmodell. Bauphysik 29 (2007). Heft 1.
- Pradhan, S. 2008. Enhancement of cooling efficiency of an evaporative cooling system. Masterthesis, IIT Roorkee. 2008
- Richter, W. 2007. Handbuch der thermischen Behaglichkeit - Sommerlicher Kühlbetrieb. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Forschung F2071. Dortmund, Berlin, Dresden 2007