

Detlef Makulla

Energetischer Vergleich einer Luftkühldecke mit einer Wasserkühldecke und Quelllüftung

Kühldecken haben sich in der Vergangenheit in Verwaltungsgebäuden bestens bewährt. Eine hohe thermische Behaglichkeit und im Vergleich zu Nur-Luft-Systemen geringere Energiekosten sind die wesentlichen Vorteile. In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle werden Kühldecken heutzutage als Wasserkühldecken ausgeführt. Vor dem physikalischen Hintergrund von höheren Energietransportkosten bei einem Luftsystem stellt sich bei einer Luftkühldecke natürlich sofort die Frage nach der Wirtschaftlichkeit. Der folgende Artikel stellt beide Systeme gegenüber und beurteilt die Wirtschaftlichkeit unter verschiedenen Randbedingungen.

Betrachtet man den Transportaufwand, um 1 kW Wärme mit dem Wärmeträgermedium Luft abzuführen, so liegt dieser etwa um den Faktor 60 höher als beim Wärmeträger Wasser. Dabei wurden für die Druckverluste im Luftkanal- bzw. Wasserrohrnetz praktische Werte angesetzt.

Diese vordergründige Betrachtungsweise kann jedoch für einen echten Systemvergleich nur als Anstoß verstanden werden, denn natürlich muß auch beim Wassersystem der aus hygienischer Sicht erforderliche Außenluftanteil sichergestellt werden.

Für die Untersuchung beider Systeme wurde die Gebäude- und Anlagensimulation mit dem Rechenprogramm TRNSYS verwendet. Der vorliegende Artikel faßt die Ergebnisse der Untersuchung [1] zusammen, wobei im wesentlichen folgende Fragen untersucht wurden:

- Einfluß der Regelungsstrategie auf den Energieverbrauch
- Einfluß der freien Kühlung auf die Betriebskosten
- Direkter Systemvergleich in Abhängigkeit der Raumkühllast.

1. Luftkühldecke

Bei der im Bild 1 dargestellten Luftkühldecke wird die gekühlte Außenluft über einen Luftverteilkanal, der sich im Bereich des Deckenbandrasters befindet, beidseitig in die hohl ausgebildeten Deckenplatten (Kühlkassetten) eingeleitet. Nachdem diese durchströmt und dabei abgekühlt wurden, tritt die Zuluft in die Deckenquellauslässe ein, welche den Abschluß der Decke an den Seitenwänden des Büros bilden.

Die Wärmeaufnahme der Zuluft bereits in der Decke ermöglicht es bei diesem System, die Zuluft bis auf 14 °C am Eintritt in den Verteilkanal abzukühlen. Bei

Energetical comparison of an air cooled ceiling and a water cooled ceiling with air displacement flow

Cooled ceilings have a good development in office buildings. High thermal comfort and low energy costs in comparison with all-air-systems are the main advantages. Most of the installed cooled ceilings are nowadays water cooled. On the physical basis of higher costs for energy transport with an air system the economy of operation is of main interest. This paper describes the two systems and shows the economy under various conditions.

Keywords: air cooled ceiling, water cooled ceiling, displacement flow, energy cost, system comparison

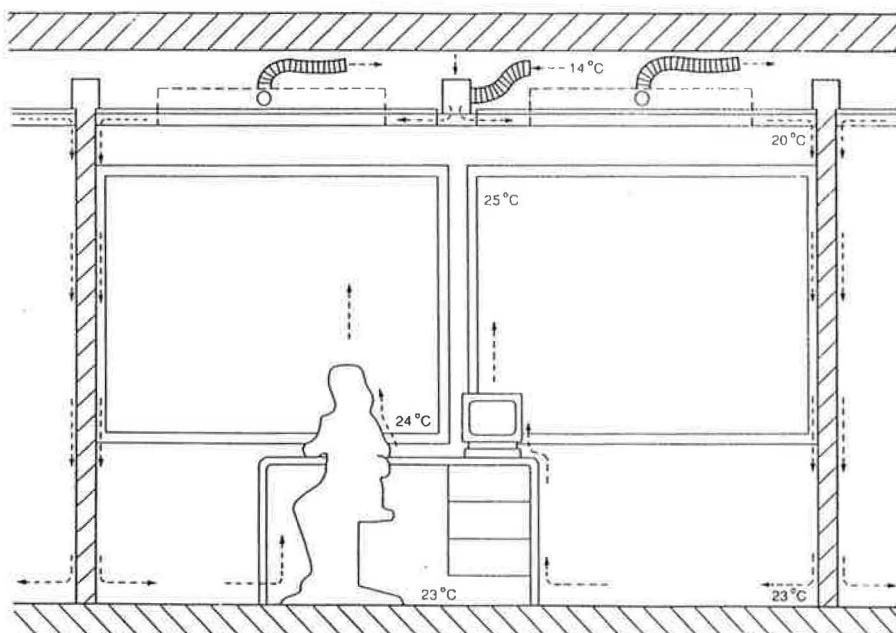


Bild 1 Schematische Darstellung der Funktionsweise einer Luftkühldecke
Quelle: FRESHCO Frischluftkühldecke, Fa. van Geel

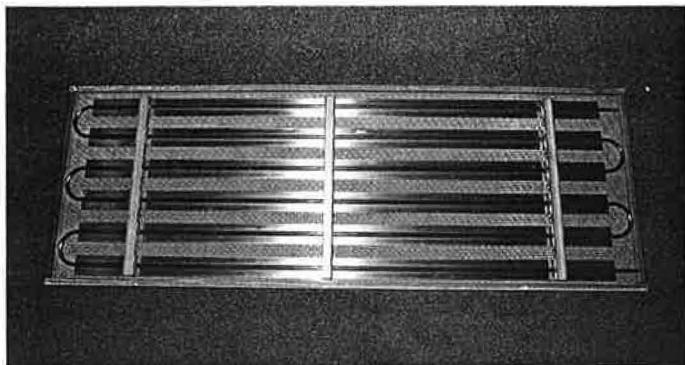


Bild 2 Wasserkühldecke, Rückseite eines Deckenelementes
Quelle: KKS Kühldeckensystem, Fa. Krantz-TKT

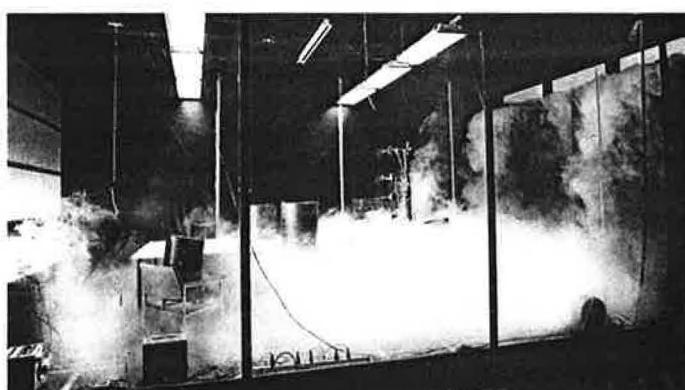
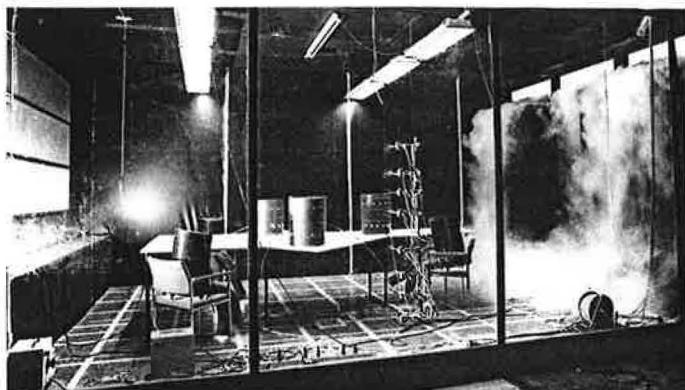


Bild 3 Raumströmungssequenz Kombinierter Wandquellauflaß
Quelle: Fa. Krantz-TKT, Entwicklungsbericht

einer Raumlufttemperatur von ca. 24 °C erwärmt sich dann die Zuluft im Verlauf der Deckendurchströmung auf 18–20 °C.

2. Wasserkühldecke und Quelllüftung

Für die Wasserkühldecke wurde ein handelsübliches System verwendet, bei dem Aluminiumkühlprofile durch ein Kupferrohrmäander mittels Wasser gekühlt werden (Bild 2). Diese Kühlelemente können in handelsübliche Metalldecken integriert werden, wobei die Befestigung mit der Deckenplatte mechanisch, durch Verklebung oder magnetisch erfolgen kann.

Für die Berechnungen wurde die Wasserkühldecke mit einer Quelllüftung kombiniert, deren Luftdurchlässe sich nicht wie üblich im Fußbodenbereich,

sondern im deckennahen Bereich befinden (Bild 3). Die Zuluft tritt dabei an der Flurwand oberhalb der Schränke bzw. der Tür in den Raum ein und strömt dann aufgrund der Schwerkraft vor dem Schrank zu Boden. Von dort breitet sich die Zuluftschicht zu den Arbeitsplätzen bis zur Fassade aus. Wie die Strömungssequenz auf Bild 3 zeigt, ist die Höhe der Zuluftschicht, welche sich von der Flurwand zu den Arbeitsplätzen bewegt, deutlich höher als bei bandförmigen Quellluftdurchlässen im Bodenbereich. Dadurch sinken die Raumluftgeschwindigkeiten und vertikalen Temperaturgradienten, was sogar eine Zulufttemperatur von 16 °C bei 26 °C an den Arbeitsplätzen ermöglicht.

Für den Systemvergleich mit der Luftkühldecke wurde jedoch die Zulufttemperatur bei minimal 18 °C festgelegt.

Der Abluftdurch-

laß befindet sich im gleichen Gehäuse wie der Zuluftdurchlaß. Eine Beeinflussung (Kurzschluß) ist durch konstruktive Maßnahmen ausgeschlossen.

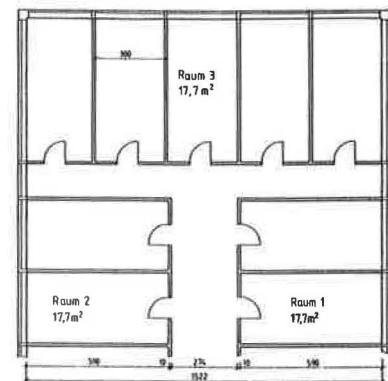


Bild 4 Grundriß der Referenzräume

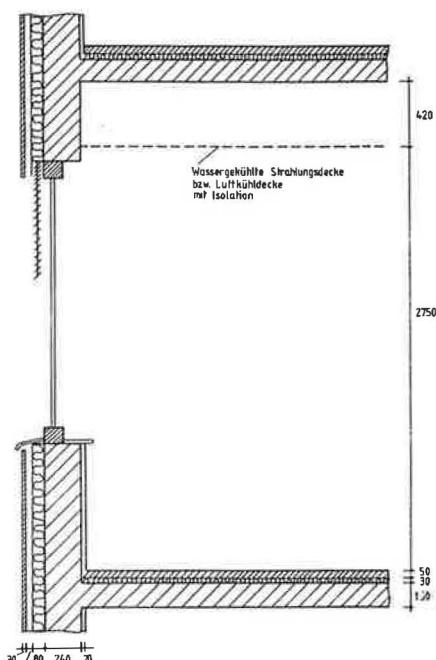


Bild 5 Vertikalschnitt Referenzraum

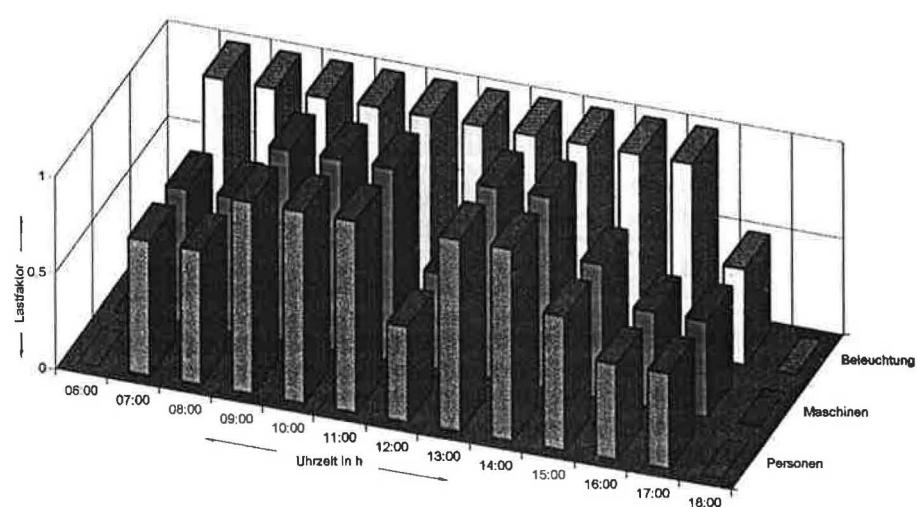


Bild 6 Lastprofil der inneren Lasten als Faktor für die angesetzte Last

3. Modellgebäude

Für die Berechnung wurde ein fiktives Verwaltungsgebäude im Simulationsprogramm abgebildet. Wie Bild 4 zeigt, wurden drei Büroflächenräume mit unterschiedlicher Orientierung ausgewählt, wodurch die Gleichzeitigkeit berücksichtigt wird.

Der im Bild 5 dargestigte Vertikalschnitt durch den Reisebüroraum zeigt eine herkömmliche Längssiede mit außenliegendem Sonnenlicht. Für die Verglasung (Glasanteil an Fassade ca. 50 %) beträgt der Gesamtdurchgängigkeitsgrad $g = 0,82$.

Der äußere Schutz mit 45° geneigten Aluminiumprofilen wird in der VDI 2078 mit einem Durchlaßfaktor von $b = 0,15$ angegeben; in der Simulation wurde jedoch $b = 0,25$ gerechnet, da dieser Wert dem Nutzerverhalten eher entspricht.

Sowohl die Wände als auch die Luftkühldecke verfügen über eine zur Betondeckenseite istrechte Abdeckung, wodurch die Kühlung zum Deckenhohlräum weitestgehend unterbunden wird.

Einen wesentlichen Einfluß auf den Energieverbrauch eines Systems hat die abzuführende Raumkühllast. Um die Bandbreite dieses Einflusses zu simulieren, wurde bei jeweils gleicher Fassadenausbildung die innere Wärmelastung in vier Stufen variiert. Angegeben sind in Tabelle 1 die inneren Wärmequellen, die nach dem Schalschema gemäß Bild 6 zu- bzw. abgeschaltet wurden. Mit Hilfe einer Berechnung nach VDI 2078 wurden nun die für die Auslegung der Komponenten erforderlichen abzuführenden maximalen Raumkühllasten ermittelt. Diese ergaben sich entsprechend den Varianten 1 bis 4 zu 30 bis 65 W/m^2 Fußboden.

Die an dieser Stelle verwendete vereinfachte Methode des Kurzverfahrens stellt keinen Nachteil für die Genauigkeit der Ergebnisse dar, weil im späteren Verlauf der Anlagensimulation die Einhaltung der Raumkonditionen geprüft wird.

Bei der Simulation wurde die Beleuchtung bei einer Gesamtstrahlung über 100 W/m^2 abgeschaltet. Eine Stundenanalyse ergab folgende Betriebszeit der

künstlichen Beleuchtung in Prozent der Bürozeit:

Nordseite	65 %
Südseite	50 %
Westseite	55 %

4. Anlagenaufbau

Beide Systemvarianten werden von einem konventionell aufgebauten Klimazentralgerät versorgt. Für den Bereich der zulässigen Raumkonditionen wurde entsprechend der DIN 1946 Teil 2 eine relative Feuchte von 30 % bis 65 % bei einem Wassergehalt von maximal 11,5 g/kg tr. Luft gewählt. Die Raumtemperaturen wurden gleitend zwischen 22°C und 26°C bei Außenlufttemperaturen zwischen 22°C und 32°C angehoben.

Die Auslegung der Komponenten erfolgte auf der Basis der genannten Raumkondition, wobei die Einzelkomponenten mit den Angaben der Hersteller bezüglich Wirkungsgrad, Teillastverhalten etc. im entsprechenden TRNSYS-Modul abgebildet wurden.

Der Anlagenaufbau für die Luftkühl-

decke ist im Bild 7 dargestellt. Neben einem Kreislaufverbundsystem für die Wärmerückgewinnung sind Vorwärmer, Luftkühler, regelbarer Sprühbefeuchter und Volumenstromregler vorhanden. Die Kälteversorgung übernimmt eine Kompressionskältemaschine.

Die erforderlichen Zuluftvolumenströme für die untersuchten vier Varianten sind in Tabelle 2 angegeben. Es wurden Berechnungen mit einem Volumenstrom von $6 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ und $8 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ Fußboden durchgeführt.

Diese Werte sind bei der Luftkühldecke als Mindestvolumenstrom festgelegt worden. Da die Leistungsanpassung über den Zuluftvolumenstrom erfolgt, steigt der Luftvolumenstrom mit der Kühlleistung. Lediglich die Variante 1 mit 30 W/m^2 wurde als Konstantvolumenstromsystem berechnet.

Bei der Wasserkühldecke übernimmt das Quellluftsystem ausschließlich als Konstantvolumenstromsystem die Außenluftversorgung und einen geringen Teil der Kühlung. Die Leistungsanpas-

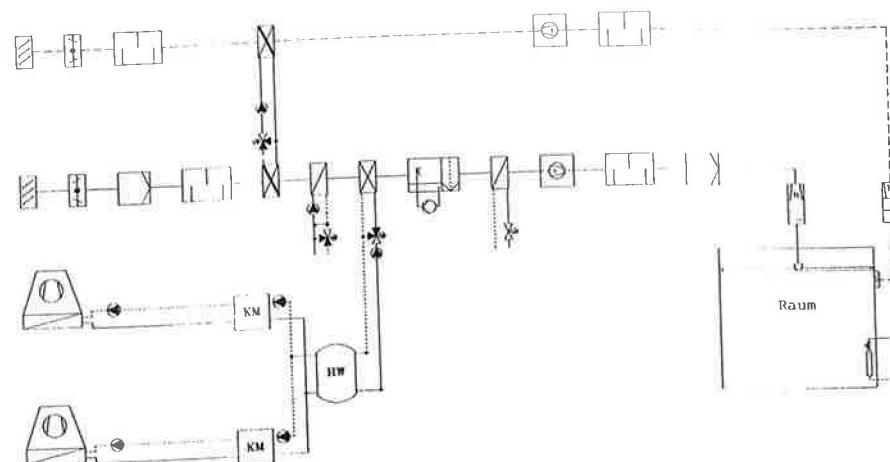


Bild 7 Anlagenschema Luftkühldecke (VVS-Anlage)

decke ist im Bild 7 gezeigt. Neben einem Kreislaufverbundsystem für die Wärmerückgewinnung sind Vorwärmer, Luftkühler, regelbarer Sprühbefeuchter und Volumenstromregler vorhanden. Die Kälteversorgung übernimmt eine Kompressionskältemaschine.

Das System Wasserkühldecke und Quelllüftung (Bild 8) ist auf der Luftseite mit dem System Luftkühldecke weitgehend identisch. Lediglich die Volumenstromregler und die drehzahlregelbaren Ventilatoren sind nicht erforderlich. Das Wasser-

fließung geschieht über die aktive Kühlfläche.

Bei beiden Varianten erfolgt die Regelung der Zuluftfeuchte im Bereich zwischen 6 g/kg und $10,5 \text{ g/kg}$ Trockenluft. Es wird der jeweils energieverbrauchsmaßig günstigste Wert angefahren.

Die Raumlufttemperaturregelung erfolgte bei dem System Wasserkühldecke und Quelllüftung über die Wassermenegenregelung von Kühldecke und statischer Heizung in Sequenz. Die Zulufttemperatur der Quellluft wurde immer 4 K unter dem Raumsollwert gehalten, wobei 18°C als Grenzwert für die Zuluft nicht unterschritten wurden.

Bei der Luftkühldecke stehen zur Anpassung an die erforderliche Leistung die Zulufttemperatur und der Zuluft-

Tabelle 1 Innere Wärmequellen

	Variante 1 30 W/m^2	Variante 2 40 W/m^2	Variante 3 50 W/m^2	Variante 4 65 W/m^2
Personen	4	4	4	4
Beleuchtung	10	15	15	15
Maschinen	6	11	23	39

Alle Angaben in W/m^2 Fußboden

Die Beleuchtung wurde über 100 W/m^2 Gesamtstrahlung abgeschaltet

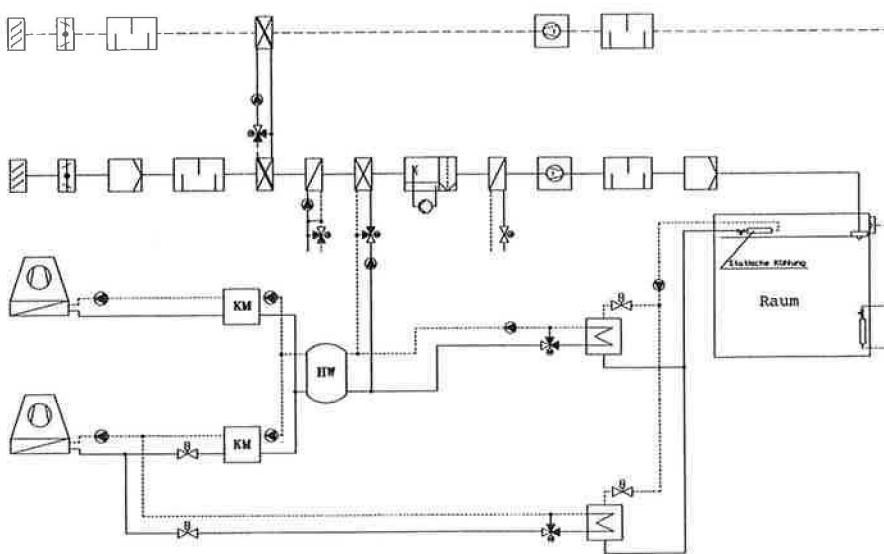


Bild 8 Anlagenschema Wasserkühldecke mit Quelllüftung (KVS-Anlage)

volumenstrom zur Verfügung. Hier wurden verschiedene Regelstrategien untersucht, deren Ergebnisse im 6. Kapitel erläutert werden.

5. Systemvergleich

Der neben dem Wärmeträgermedium für die Kühldecke wohl wesentlichste Unterschied zwischen beiden Systemen liegt in der Aufgabenteilung. Während bei der Wasserkühldecke eine Systemtrennung zwischen Kühlung und Außenluftversorgung stattfindet, sind bei der Luftkühldecke beide Aufgaben in einem System vereint.

Der Systemvergleich Regelung (Tabelle 3) fällt daher zugunsten des Systems Wasserkühldecke mit Quelllüftung aus. Wie später noch gezeigt wird, bedarf die Regelung der Raumlufttemperatur bei der Luftkühldecke besonderer Aufmerksamkeit, da sowohl die Zulufttemperatur als auch der Zuluftvolumenstrom zur Anpassung an die Lastverhältnisse geregelt werden müssen.

Beim Systemvergleich Energietransport (Tabelle 4) entfällt bei Luftkühldecken das bei der Wasserkühldecke erforderliche Kaltwassernetz. Je nach erforderlicher Kühlleistung wird jedoch das Zentralgerät bei der Luftkühldecke größer.

Das gleiche gilt für den Platzbedarf in der Zentrale, den Schächten und den Zwischendecken. Ferner wirkt sich eine höhere Stromleistungsspitze für die Ventilatoren negativ auf die Kosten aus.

Bei der Betrachtung der Kälte- und Wärmeenergie (Tabelle 5) hat die Luftkühldecke Vorteile, da die freie Kühlung der Außenluft in der Übergangszeit direkt nutzbar ist. Beim Quellluftsystem wird zwar auch dessen Kühlpotential genutzt, jedoch ist dies aufgrund der Begrenzung der Zulufttemperatur auf minimal 18 °C gering. Es tritt sogar zeitweise das Erfordernis einer Nachwärmung der Zuluft aus Behaglichkeitsgründen auf, obwohl Kühlbedarf besteht, der dann über die Wasserkühldecke abgedeckt werden muß.

Die Kältebedarfsspitze ist jedoch bei den größeren Kühlleistungen bei der Luftkühldecke höher, da aufgrund des höheren Zuluftvolumenstromes die Entfeuchtungsleistung zwangsläufig mit ansteigt.

6. Energiekosten der Luftkühldecke bei unterschiedlichen Regelstrategien

Für die Berechnung der Energiekosten aus den mit der Anlagensimulation ermittelten Lastspitzen und Jahresenergiesummen wurde von folgenden spezifischen Preisen ausgegangen:

Tabelle 2 Zuluftvolumenströme

	Variante 1 30 W/m ²	Variante 2 40 W/m ²	Variante 3 50 W/m ²	Variante 4 65 W/m ²
Luftkühldecke System	8	6 (8)–11	6 (8)–13	6 (8)–15
KVS	KVS	VVS	VVS	VVS

	Variante 1 30 W/m ²	Variante 2 40 W/m ²	Variante 3 50 W/m ²	Variante 4 65 W/m ²
Wasserkühl- decke und Quellluft System	6 (8)	6 (8)	6 (8)	6 (8)
KVS	KVS	KVS	KVS	KVS

Alle Angaben in m³/h · m²

Tabelle 3 Systemvergleich Regelung

	Luftkühldecke	Wasserkühldecke und Quelllüftung
Luftvolumen- stromregler	ab ca. 40 W/m ² Kühlleistung erforderlich	– nicht erforderlich +
Drehzahlregelung der Ventilatoren	ab ca. 40 W/m ² Kühlleistung erforderlich	– Konstantvolumen- stromanlage +
Raumluft- temperatur	luftseitig über Zulufttemperatur und Zuluft- volumenstrom	– wasserseitig über Kühldecke und Heizung +

Tabelle 4 Systemvergleich Energietransport

	Luftkühldecke	Wasserkühldecke und Quelllüftung
Kaltwassernetz	nicht erforderlich	erforderlich
Luftkanalsystem, Ventilatoren und Zentralgerät	je nach Kühl- leistung deutlich größer	– nur für hygienischen Außenluftanteil +
Stromleistungs- spitze	ausgeprägt	– keine +

Tabelle 5 Systemvergleich Kälte- und Wärmeenergie

	Luftkühldecke	Wasserkühldecke und Quelllüftung
freie Kühlung	direkt nutzbar	+ nur über Kühlturn +
Kältebedarfsspitze	höher, wegen Kopplung an den Luftvolumenstrom	– bedarfsangepaßt +
Nachwärmung aus Behaglichkeits- gründen	nicht erforderlich	+ teilweise erforderlich –

• Stromarbeit	175 DM/MWh
• Stromleistung	125 DM/kW
• Wärme	70 DM/MWh
• Wasser	5 DM/m ³

Die übliche Verfahrensweise, die Elektroenergiokosten nur mit einem Strommischpreis zu errechnen, wurde hier nicht angewandt. Untersuchungen des Elektroenergieverbrauchs von Verwaltungsgebäuden haben gezeigt, daß die Stromleistungsspitze immer im Sommer aufgrund der erforderlichen Gebäudekühlung auftritt. Aus diesem Grunde ist es nur folgerichtig, die Kosten für die Stromleistungsspitze separat zu errechnen und kostenmäßig zu bewerten. Die spezifischen Preise entsprechen etwa dem RWE-Tarif L 125, der üblicherweise bei Verwaltungsgebäuden mit Abnahmespitzen angewandt wird.

Für die zentrale Zulufttemperaturregelung wurden drei Varianten untersucht:

Variante A1–A3: Zulufttemperatur in Abhängigkeit der Außentemperatur $t_{ZU} = f(t_{AU})$

Variante B: Zulufttemperatur in Abhängigkeit der Ablufttemperatur $t_{ZU} = f(t_{AB})$

Variante C: Zulufttemperatur in Abhängigkeit des Volumenstroms $t_{ZU} = f(V_{ZU})$

Der Zuluftvolumenstrom für den einzelnen Raum wurde bei allen drei Varianten in Abhängigkeit der Raumtemperatur variiert. Ferner betrug bei allen Varianten die maximale Raumkühllast 50 W/m².

Die Energiekosten sind im Bild 9 zusammengefaßt. Dabei umfaßt die Position

Wärme die Kosten für die statische Heizung und den Luftvor- und Luftpumpanwärmer. Die Stromkosten beinhalten die Förderkosten, also Ventilatoren und Pumpen, sowie die Kältemaschine. In den Wasserkosten ist der Verbrauch von Kühlurm und Umlaufsprühbefeuchter enthalten.

Variante A1–A3:

Wird die Zulufttemperatur in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur geregelt, stellt sich die Frage nach dem optimalen Temperaturbereich der Absenkung. Da die Zulufttemperatur nur zentral für alle Räume beeinflußbar ist, kann der Wert bei üblicherweise unterschiedlichen Innenlasten der Büros nur ein Kompromiß sein. Die geforderten Raumkonditionen können jedoch aufgrund des variablen Volumenstromes je Raum eingehalten werden.

Die Ergebnisse (Bild 9) zeigen, daß erst bei einer sehr frühen Absenkung der Zulufttemperatur auf 14 °C bei einer Außentemperatur von +3 °C ein Minimum der Energiekosten von ca. 14 DM/m² Bürofläche erreicht wird. Wird die Absenkung erst bei einer Außentemperatur zwischen +12 °C und +21 °C vollzogen, steigen die Energiekosten um ca. 15 % an. Insbesondere sind die Luftförderkosten und die Nachwärmekosten höher, da das Kühlpotential der Außenluft nicht optimal ausgenutzt wurde.

Variante B:

Bei dieser Variante wurde die Zulufttemperatur in Abhängigkeit der Ablufttemperatur zentral abgesenkt. Die Energiekosten sind mit 16 DM/m² vergleichbar mit denen der günstigsten A-Variante. Nachteilig ist jedoch, daß die Absenkung in einem sehr engen Temperaturbereich zwischen 22,0 °C und 23,5 °C

erfolgen muß und somit hohe Genauigkeitsanforderungen an die Temperaturmessung gestellt werden.

Variante C:

Bei dieser Variante wird der angeforderte Zuluftvolumenstrom (Druckmessung im Hauptzuluftkanal) für die Absenkung der Zulufttemperatur verwendet. Dieses ist möglich, da die Summe aller Raumvolumenströme ein mittleres Maß für die thermische Belastung der Räume ist. Mit dieser Regelstrategie konnten die bisher günstigsten Energiekosten von 14 DM/m² ebenfalls erreicht werden.

7. Energiekostenvergleich von Luft- und Wasserkühldecke

Um beim Vergleich der Energiekosten kein System zu benachteiligen, wurde geprüft, ob beide Systeme die gleichen Raumkonditionen nicht nur unter Vollast, sondern auch im übrigen Zeitraum des Jahres einhalten. Dazu wurden die Häufigkeitsverteilungen der Raumlufttemperaturen errechnet und ggf. durch Änderung der Auslegung angepaßt.

Unter diesen Voraussetzungen wurden zwei Systeme verglichen, die neben gleichen Raumkonditionen auch vom weiteren Aufbau (Kühle Decke und Zuluftströmung von oben nach unten an der Wand) unter dem Aspekt des Einflusses auf die thermische Behaglichkeit identisch waren.

Die Spitzenlasten im Stromverbrauch werden erheblich durch die raumlufttechnische Anlage beeinflußt. Durch die Entkopplung zwischen Lüftungs- und Kühlfunktion fällt bei der Wasserkühldecke die Lastspitze nicht so stark wie bei der Luftkühldecke aus.

Die Simulation hat gezeigt, daß der Zeitpunkt der höchsten Kühllast meistens auch zum Zeitpunkt der höchsten Außentemperatur auftritt. Die Luftkühldecke benötigt in dieser Situation zur Abdeckung der Kühllast einen erhöhten Luftvolumenstrom, welcher dann von den hohen Außenlufttemperaturen und -feuchten gekühlt und entfeuchtet werden muß. So sind im Extremfall bei der Luftkühldecke 15 m³/h·m² an Zuluft entgegen 6 m³/h·m² beim Quellluftsystem in Verbindung mit der Wasserkühldecke erforderlich.

Eine Zusammenfassung der Gesamtenergiekosten für Strom, Wärme, Kälte und Wasser in Abhängigkeit der abzuführenden spezifischen Raumkühllast, ist im Bild 10 dargestellt.

Bei einem spezifischen Zuluftvolumenstrom von 8 m³/h·m² sind die Energiekosten mit 16 bis 18 DM/m² Fußbodenfläche im Bereich zwischen 30 und 50 W/m² spezifischer Kühllast bei beiden Systemen annähernd identisch. Dabei

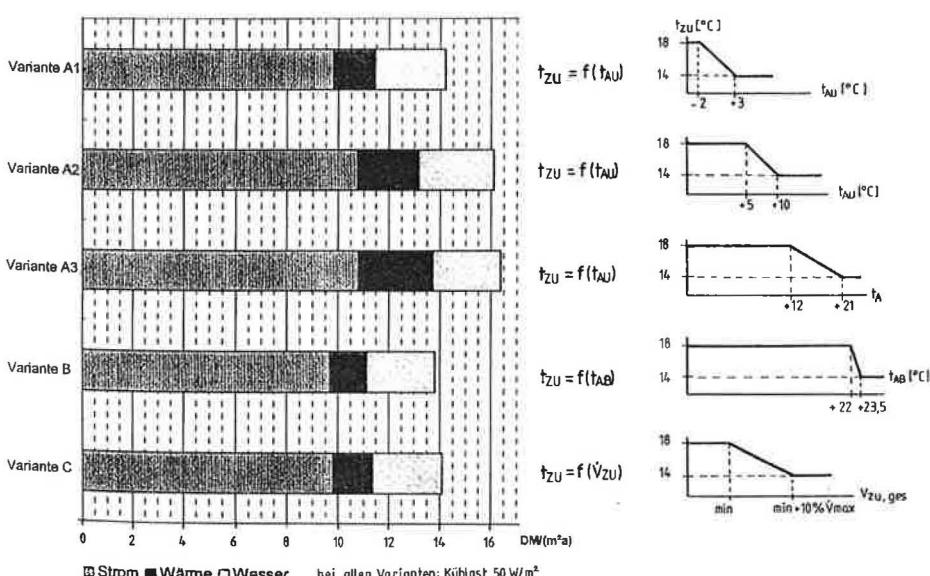


Bild 9 Spezifische Energiekosten bei unterschiedlicher Regelung der Luftkühldecke

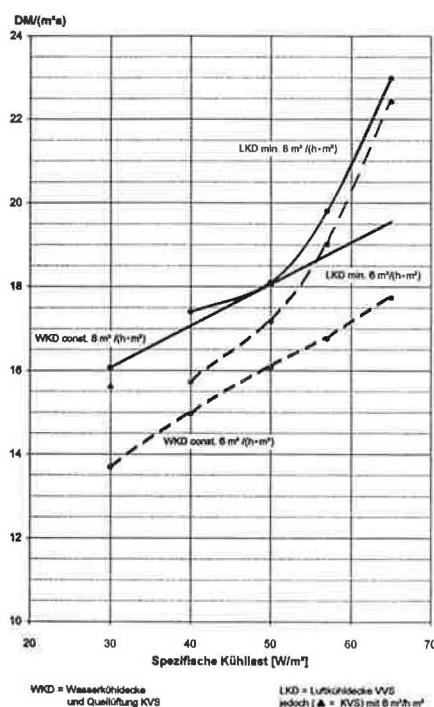


Bild 10 Energiekostenvergleich der verschiedenen Varianten

wurde bei einer Kühllast von 30 W/m² die Luftkühldecke als Konstantvolumenstromanlage berechnet, obwohl dann keine individuelle Regelbarkeit der Räume mehr möglich ist.

Zwischen einer spezifischen Raumkühllast von 50 bis 65 W/m² steigen die Energiekosten der Luftkühldecke deutlich gegenüber dem System Wasserkühldecke und Quelllüftung an. Während die Kosten bei der Wasserkühldecke bis auf ca. 19,50 DM/m² wachsen, belaufen sie sich bei der Luftkühldecke bereits auf 23 DM/m², d. h. die Mehrkosten betragen 18 %.

Bei einer Verringerung des Mindestzuluftvolumenstromes auf die hygienische Untergrenze von 6 m³/h·m² Fußboden weist die Wasserkühldecke über den gesamten Kühllastbereich geringere Energiekosten als die Luftkühldecke auf. Die Mehrkosten betragen 7 % bei einer Kühllast von 50 W/m² und 27 % bei einer Kühllast von 65 W/m².

Die wesentlichen Ursachen für die höheren Energiekosten der Luftkühldecke gegenüber der Wasserkühldecke bei steigender Kühllast sind:

- Die Ausprägung der elektrischen Spitzenlast wird intensiver.
- Der benötigte Luftvolumenstrom wird deutlich größer als der hygienisch erforderliche, wodurch auch die Entfeuchtungsleistung ansteigt.
- Durch die größere Differenz zwischen maximalem und minimalem Volumenstrom wird der Gesamtwirkungsgrad für den Ventilator im Teillastbereich schlechter.

Für die Variante mit einer Kühllast von 50 W/m² sind im Bild 11 die Energiekosten aufgeteilt. Da die Gesamtenergiekosten für beide Varianten nahezu gleich sind, können die Prozentzahlen miteinander verglichen werden.

Während bei der Luftkühldecke mehr als die Hälfte (51 %) der Kosten für Luft- und Wassertransport anfallen, ist bei der Wasserkühldecke prozentual nahezu die Hälfte der Kosten (47 %) für Kühlen und Befeuchten aufzubringen.

Vergleicht man die Energiekosten, so sind diese bei der Luftkühldecke im Bereich Transport um 30 % höher und im Bereich Kühlen und Befeuchten sowie im Bereich Wärme um jeweils 20 % niedriger als beim System Wasserkühldecke und Quelllüftung. Die Einsparungen im Bereich Kühlen sind auf eine bessere Ausnutzung der freien Kühlung zurückzuführen. Die niedrigere Zulufttemperatur bei der Luftkühldecke führt ebenfalls zu Einsparungen beim Energieaufwand für die Lufterwärmung.

8. Einfluß der freien Kühlung

Mit der Anlagensimulation läßt sich auch der Anteil der freien Kühlung an der Kühldeckenleistung der Wasserkühldecke über ein gesamtes Betriebsjahr errechnen. Dieser Anteil liegt je nach Kühllast bei 21 % bis 37 % (Tabelle 6). Die Steigerung des Anteils wird durch die Steigerung des inneren Lastanteiles, der ganzjährig wirksam ist, verursacht.

Eine weitere Berechnung für die Variante mit 65 W/m² bei überwiegendem Anteil der äußeren Kühllast, z. B. durch eine strahlungsdurchlässigere Fassade, zeigt, daß der Anteil der freien Kühlung

Tabelle 6 Anteil der freien Kühlung an der Kühldeckenjahresleistung

Kühllast [W/m ²]	Anteil [%]
30	21
40	25
50	30
65 ¹⁾	37
65 ²⁾	18

¹⁾ Kühllast hauptsächlich durch hohe innere Wärmelasten

²⁾ Kühllast hauptsächlich durch fehlenden äußeren Sonnenschutz
Wasserkühldecke mit Quelllüftungssystem (6 m³/h·m²)

an der Kühldeckenjahresleistung von 37 % auf ca. die Hälfte (18 %) zurückgeht. Der Grund hierfür liegt in dem Zusammentreffen von hohen äußeren Kühllasten mit Außentemperaturen, bei denen eine freie Kühlung über den Kühlturn nicht mehr nutzbar ist.

Trotz der Reduktion der Nutzungsmöglichkeit der freien Kühlung sinken die Jahresenergiekosten um ca. 10 %, da die gesamte Jahreswärmelast durch einen hohen Anteil permanenter innerer Wärme deutlich höher ist als bei nur zeitweise auftretender äußerer Belastung.

9. Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag zeigt, daß die Gesamtenergiekosten einer Luftkühldecke im Vergleich zu einem System aus Wasserkühldecke und Quelllüftung bis zu einer Raumkühllast von 50 W/m² Fußbodenfläche nahezu identisch sind. Bei einer Raumkühllast von 50 W/m² sind für Strom (Energiestransport und Kühlung), Wärme und Wasser jährlich ca. 18 DM/m² Fußboden zu erwarten.

Zwischen einer Raumkühllast von 50 W/m² und 65 W/m² steigen die Energiekosten bei der Luftkühldecke jedoch sehr rasch an. Die Mehrkosten liegen dann zwischen 18 % (minimaler Außenluftvolumenstrom 8 m³/h·m²) und 27 % (minimaler Außenluftvolumenstrom 6 m³/h·m²) gegenüber der Wasserkühldecke.

Schlüsselwörter

Luftkühldecke
Wasserkühldecke
Quelllüftung
Energiekosten
Systemvergleich

Literatur

- [1] Küsters, G.: Energetische und regelungstechnische Gegenüberstellung von Luftkühldecke und Wasserkühldecke in einem Verwaltungsgebäude mit Hilfe des Simulationsprogrammes TRNSYS, Diplomarbeit FH Münster (1996)

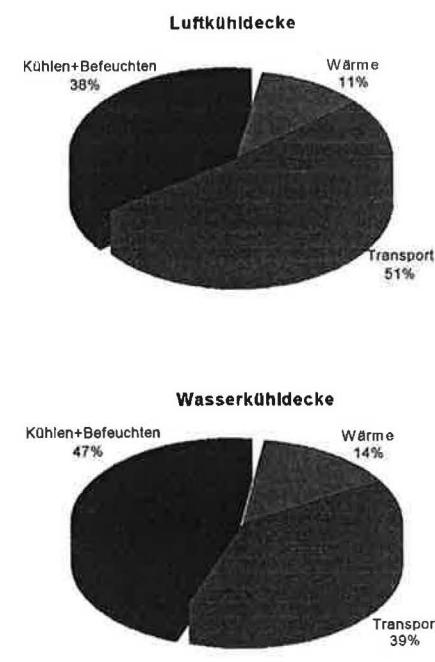


Bild 11 Energiekostenaufteilung