



Tibor Rákóczy

5737

Grenzen der Fensterlüftung? Einsatz von RLT-Anlagen und neue RLT-Systeme für Bürogebäude*

Der Wunsch bei neuen Bauvorhaben von Bürogebäuden geht unentwegt in die Richtung der Fensterlüftung und statische Heizung. Daher ist es von großer Bedeutung, die Grenze der thermischen Lastaufnahme und die Konsequenzen der höheren Lasten bei Fensterlüftung aufzuzeichnen.

Das Nichtklimatisieren wollen ist zum Teil auf die zunehmenden Perfektionierung der RLT- und MSR-Technik zurückzuführen. Die Anlagen müssen vereinfacht und preiswerter konzipiert und angeboten werden, um einen größeren Marktanteil zu erreichen. Hierbei kommt auf den Planer große Verantwortung insofern zu, als er die Risiken der thermischen Belastbarkeit der Arbeitsplätze und der RLT-Anlagen aus seinen Erfahrungen kalkuliert und diesem Rechnung trägt, um vereinfachte, kostengünstige RLT-Anlagen vorschlagen zu können.

Es sind in der vorliegenden Arbeit die modifizierten RLT-Systeme vorgestellt. Auf den Einfluß der Luftführungsarten und deren Auswirkungen auf Lastaufnahme und die Lufttemperaturentwicklung im Büroraum wird hingewiesen. Weiterhin sind einfache kostengünstige und zeitgemäße funktionstüchtige RLT-Lösungen vorgestellt.

Window ventilation at its limit? New applications of room air technology in office buildings.

Static heating and window ventilation are preferred by architects and contractors of new office buildings. It is accordingly very important to delineate the limits of heat load absorption and the consequences of the higher loads associated with window ventilation. The desire not to air-condition results in part from the increasing refinements in room air and measurement and control technology. In order to achieve a larger market share, systems must be made simpler and less expensive. This places on the planner a great responsibility for estimating from experience the appropriate loads that can be tolerated in work areas and by the simplified and cost-effective ventilating systems which he proposes. Modified room ventilating systems are discussed in terms of the influence of air-intake methods on the load capacity and air temperature movements in the office. In addition simple, cost-effective and up-to-date solutions to room ventilation problems are proposed.

Limites de l'aération par les fenêtres?

Installations et nouveaux systèmes de climatisation pour les immeubles de bureaux

L'aération par les fenêtres continue encore et toujours d'être la règle générale lorsqu'il s'agit de construire de nouveaux immeubles de bureau. Or, il est important de souligner la limite de l'absorption de la charge thermique et les conséquences des charges élevées dans l'aération par les fenêtres.

Le refus de la climatisation est dû, en partie, au perfectionnement croissant de la technique de climatisation et de la technique de mesure, de distribution et de régulation. Il faut simplifier les installations, leur conception et leur prix doivent être moins chers si elles veulent gagner des parts de marché. Les ingénieurs ont là une grande responsabilité dans la mesure où ils calculent et tiennent compte des risques de capacité de charge des postes de travail et des installations de climatisation déjà effectuées au cours de leur carrière pour pouvoir proposer des installations simplifiées et intéressantes au point de vue prix.

Le présent travail propose des systèmes modifiés de climatisation. L'auteur attire l'attention sur l'incidence des différents types d'aération par les fenêtres et sur leurs effets sur l'absorption de la charge thermique et sur l'évolution de la température ambiante du bureau. Il présente également des solutions de climatisation simples, peu onéreuses, modernes et opérationnelles.

Schlüsselwörter – Key Words

Temperaturentwicklung bei Fenster- und mechanischer Lüftung, Energiesparen bei einem mechanischen Lüftungssystem, Energiebedarfs- werte, Investitionskosten.

Air temperature changes for window and mechanical ventilation, energy-saving with mechanical ventilation, energy requirements, capital goods costs.

Einleitung

Bürogebäude sollen eigentlich nicht klimatisiert werden. Die Gründe hierfür sind zu hohe Investitionskosten und auch der zu hohe Energieeinsatz. Die zu aufwendigen Komfort-RLT-Anlagen mit zunehmend perfekteren MSR-Systemen führen zum negativen Image der Klimaanlage bei Büronutzung.

Offenbare Fenster sind seit über 10 Jahren fester Bestandteil eines Bürogebäudes. Die Gebäude-Grundrisse stellen die Funktion eines Gebäudes, auch bei Wegfall der Klimaanlage sicher.

Ebenso wird bei einem Gebäude vollständige Beschattung der Glasflächen, während der Nutzung derselben, mit Hilfe von äußeren Sonnenschutzanlagen sichergestellt.

Die Planer halten die stetig steigenden Innenlasten (Maschinenlasten am Arbeitsplatz) dagegen und kommen zum Ergebnis, daß die Raumlufttemperaturen, bei den hohen thermischen Lasten, mit zunehmend höherer Stundenhäufigkeit soweit hochschnellen,

daß das Bürogebäude in jedem Fall klimatisiert werden muß. Die Planer setzen, auch aus Sicherheitsgründen, die vorgegebenen, meist zu hohen Nennlasten bei der Bemessung der RLT-Anlage gerne ein. Infolge der zu hohen Lastansätze entstehen zu große RLT-Anlagen, die nicht nur kostenaufwendig sind, sondern auch in den meisten Fällen, wegen Unbehaglichkeit zu Klagen und allgemeiner Unzufriedenheit führen. Wenn eine zu groß bemessene RLT-Anlage, vor allem mit VVS-System, für die extrem hohen thermischen Lasten, die nur kurzzeitig oder gar nicht auftreten, konzipiert wird, kann sie während der meisten Betriebsstunden im Teillastbetrieb charakteristisch nicht zufriedenstellend funktionieren. Es treten im Raum Luftstrom-, Temperatur- und Luftgeschwindigkeitsschwankungen neben Geräuschproblemen auf.

Ein erfahrener Planer sollte die Schwachpunkte der Bemessungsgrundlagen, die zur Dimensionierung der RLT-Anlagen vorgegeben werden, kennen, sie differenziert und analytisch betrachten, mit entsprechenden Reduktionsfaktoren versehen und dann in

* Manuskript eingereicht im November 1991

Rechnung stellen. Man muß die RLT-Anlage nach realistischen Lastansätzen zum häufigsten Betriebszustand auslegen.

Grundsätzlich ist der Ingenieur, als *Treuhänder* des Bauherrn verpflichtet, im Interesse seines Auftraggebers *kalkulierbare Risiken* abzuwägen, sie in Kauf zu nehmen und vertretbare Kompromisse zu schließen, um eine kostengünstige und funktionsfähige RLT-Anlage, die auf die realistische Nutzung abgestimmt ist, zu planen.

1. Ermittlung der Kühllasten/Maschinenlasten

Da die Bemessung der *Luftströme* der RLT-Anlagen für Bürogebäude in den meisten Fällen sich nach den Kühllasten richtet, muß man sich mit den verschiedenen Kühllastarten differenziert befassen.

Die äußere Kühllast (Wärmegewinn) ist durch die Sonneneinstrahlung geprägt. Die flächenbezogene äußere Kühllast (Wärmegewinn im Raum) je nach Himmelsrichtung zeigt das Bild 1 und [1]. Bei der Ermittlung wurde Isolierverglasung mit einem Glasanteil von 35 % bezogen auf die Fassadenflächen und äußerer Sonnenschutz auf den besonnten Himmelsrichtungen zugrunde gelegt. Der Wärmegewinn wurde bis zu einer Raumtiefe von 6 m gleichmäßig verteilt. Aus dem Bild 1 ist zu erkennen, daß die *Gebäudeorientierung*: die äußere Beschattung, Wanderschatten, Eigenschatten usw. *keinen* nennenswerten *Einfluß* auf die *Kühllasten* und so auf die RLT-Systeme hat.

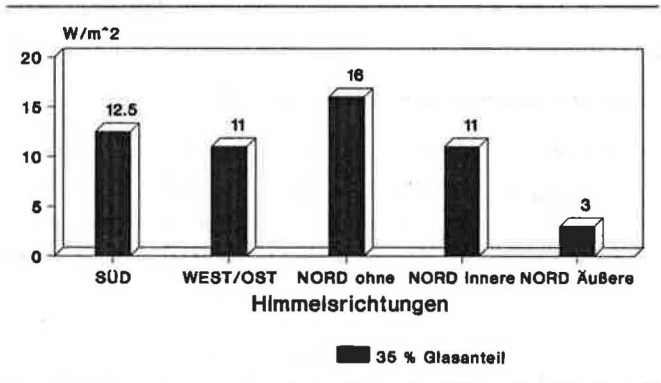


Bild 1 Äußere Kühllast – Sonneneinstrahlung

Daher ist es völlig *unberechtigt, abenteuerliche, komplizierte Klimasysteme zu erfinden* und zu planen, um den „Außeneinfluß wirtschaftlich in den Griff zu bekommen“. Es ergibt sich eine annähernd gleichmäßige thermische Belastung bei allen Himmelsrichtungen, vor allem dann, wenn der Glasanteil der reinen Nordseite mit innenliegendem Sonnenschutz (Vorhang, Vertiso usw.) ausgestattet ist. Daher ist der Einsatz von aufwendigem RLT-System wegen des äußeren Kühllastverlaufes nicht erforderlich. [4]

Bei näherer Betrachtung der flächenbezogenen Kühllasten läßt sich erkennen, daß der Wärmegewinn der Sonneneinstrahlung etwa mit der Beleuchtungswärme gleichzusetzen ist. Da die *beiden Lasten gleichzeitig nicht auftreten dürfen*, soll der größere Wert der beiden Lasten bei der Kühllastberechnung berücksichtigt werden. Die RLT-Anlage darf nicht auf eine eventuelle fehlerhafte Bedienung der Beleuchtung oder/und des Sonnenschutzes ausgelegt werden. Die Kompensation fehlerhafter Bedienung durch den Nutzer im Raum brächte zu hohen unkontrollierbaren Energieaufwand und infolgedessen zu hohe Energiekosten mit sich. Der Bedienungsfehler soll konsequent z. B. durch Raumlufttemperatur-Anstieg, den Nutzer bestrafen.

Der Planer muß sich bei Ermittlung der inneren Kühllasten differenziert mit den einzelnen Wärmequellen befassen. Die größte Quelle ist in den meisten Fällen die Maschinenlast am Arbeits-

	Nennleistung W	Istleistung W
Datensichtgerät IBM 3278	120	80
IBM 3279	240	142
Drucker IBM 3278	250	146
IBM 5152	100	31
Bildschirm IBM 5160002	320	96
IBM 5151/5160	320	117

Bild 2 Leistungsmessungsergebnisse von IBM PC-Drucker-Bildschirmkombinationen Auszug aus dem Protokoll als Beispiel

platz. Daher wurden zahlreiche PC- und Druckerkombinationen zuerst bei IBM, später auch bei anderen Herstellern in Hinsicht auf effektive Wärmeabgabe gegenüber den vorgegebenen Installationsplanungsdaten durch Messungen festgestellt. Das Ergebnis der durchgeführten Messungen zeigt beispielhaft das Bild 2, hierzu siehe auch Literatur [2].

Wenn auch weitere Reduktionsfaktoren wie: Einschaltung, Speicherung, Abwesenheit zum Ansatz gebracht werden, ergibt sich eine gesamte realistische Lastenreduktion von mindestens 60% (siehe Bild 3).

Werte von realen resultierenden Gesamtkühllasten bei Büronutzung mit einer Personenbelegung von 10 m²/Person zeigt das Bild 4. Die Zahlenwerte beziehen sich auf eine Person bzw. 10 m² Nutzfläche.

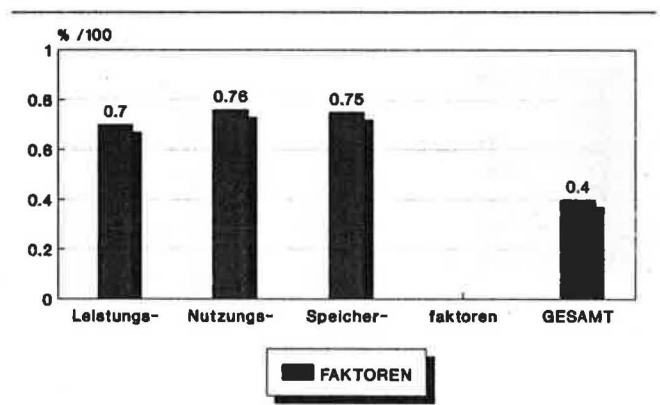


Bild 3 Innere Kühllast Maschinenlast-Reduktionsfaktoren

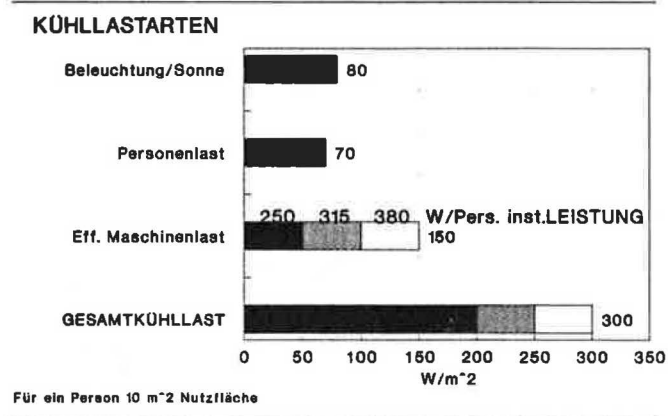


Bild 4 Gesamtkühllast RLT/Büroraumnutzung

2. Abschätzung von Raumlufttemperaturen und deren jährliche Stundenhäufigkeit bei Fensterlüftung

Mit den Lastansätzen des Bildes 4 ergeben sich unterschiedliche Raumlufttemperaturen in Abhängigkeit der Häufigkeit des Fen-

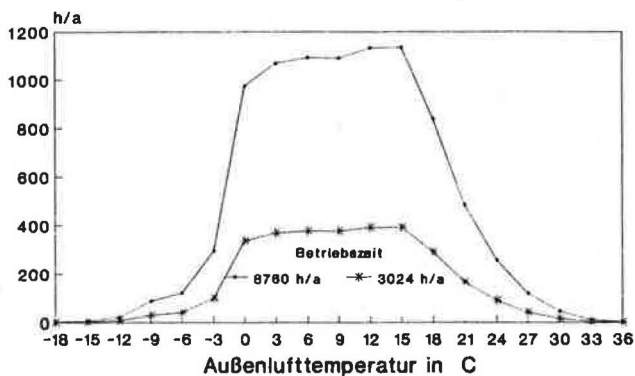


Bild 5 Außentemperaturhäufigkeit im Raum Frankfurt am Main, nach DIN 4710

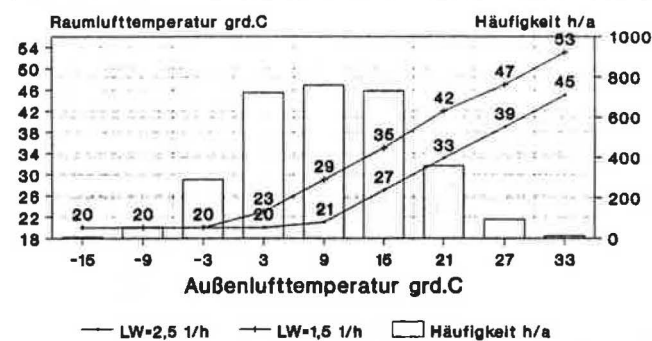


Bild 6 Fensterlüftung – Raumlufttemperaturverlauf/Häufigkeit

steröffnens. Bei Abschätzung der Raumlufttemperaturen wurde aus einem „eingeschwungenen thermischen Zustand“ ausgegangen und so sind die angegebenen Temperaturen als maximale Werte anzusehen (siehe Bild 6).

Es wurde bei der Berechnung die jährliche Außentemperatur-Stunden-Häufigkeit vom Raum Frankfurt am Main nach DIN 4710 zu Grunde gelegt (siehe Bild 5).

Die zu erwartenden Raumlufttemperaturen und die den Temperaturen zugeordneten jährlichen Betriebsstunden sind für flächenbezogene Zuluftströme von 4,5 und 7,5 m³/h bzw. entsprechende Luftwechsel von 1,5 und 2,5 h⁻¹ im Bild 6 dargestellt. Aus diesem Bild ist zu erkennen, daß eine Raumlufttemperatur unter den vorerwähnten Kriterien über 32° C in ca. 500 h/a dann zu erwarten ist, wenn ein Mindest-Außenluftstrom von ca. 7,5 m³/h mit Hilfe

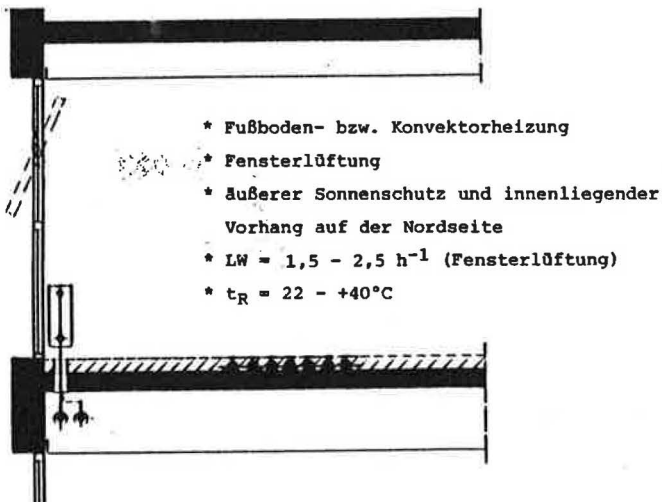


Bild 7 Prinzipschnitt für Heizung und Fensterlüftung

der Fensterlüftung sichergestellt werden kann. Es kann aber die Raumlufttemperatur bei verringertem Außenluftstrom kurzzeitig auf 50 °C und mehr ansteigen. Auf die Vor- und Nachteile der Fensterlüftung wird hier grundsätzlich nicht eingegangen. Hierzu siehe Literaturhinweis [3].

Die Außenluft, die z. T. durch Infiltration und z. T. durch die Betätigung der Fensterflügel ins Gebäude strömt, wird mit Hilfe der statischen Heizung erwärmt (siehe Bild 7). Ein energetischer Nachteil der Fensterlüftung ist, daß die Wärmearbeit, die für die Außenlufterwärmung verwendet wird, nicht kontrolliert erfaßt und so nicht zurückgewonnen werden kann (Siehe [3]).

3. Modifizierte RLT-Systeme

Falls die Raumlufttemperaturen nach Bild 6 nicht hingenommen werden können, oder die kontinuierliche Außenluftzufuhr aus Gründen von Geräuschen, Außenluftverunreinigungen, Zugserscheinungen u. a. nicht sichergestellt werden kann, wählt man einen Außenluftvolumenstrom der mechanisch zu den Räumen geführt wird.

Eine große Zahl von Klima-Systemen wie z. B. Zweikanal, Induktion mit 2-, 3- und 4-Leiter, Klappen- oder Ventilsteuerung, setzt man bei Bürogebäuden so gut wie nie ein. Die erwähnten Systeme sichern zwar „Komfort“ zu, bedürfen aber neben hohem Energieeinsatz auch hoher Investition. Dabei bringen sie oft Probleme im Bereich der thermischen Behaglichkeit mit sich.

Die zur Zeit herausgearbeiteten Systeme, die sog. modifizierten RLT-Systeme, zeigt das Bild 8. Aus dem Bild ist zu erkennen, daß die Heizung, die Art der Luftführung und die Möglichkeit der thermodynamischen Behandlungsstufen der Luft größere Bedeutung im Hinblick der Funktion Effektivität bekommen hat gegenüber der bisherigen Kriterien.

Die Fensterlüftung (FL) mit Heizung wird am liebsten gewünscht vor allem wegen der Einfachheit und der geringen Investition.

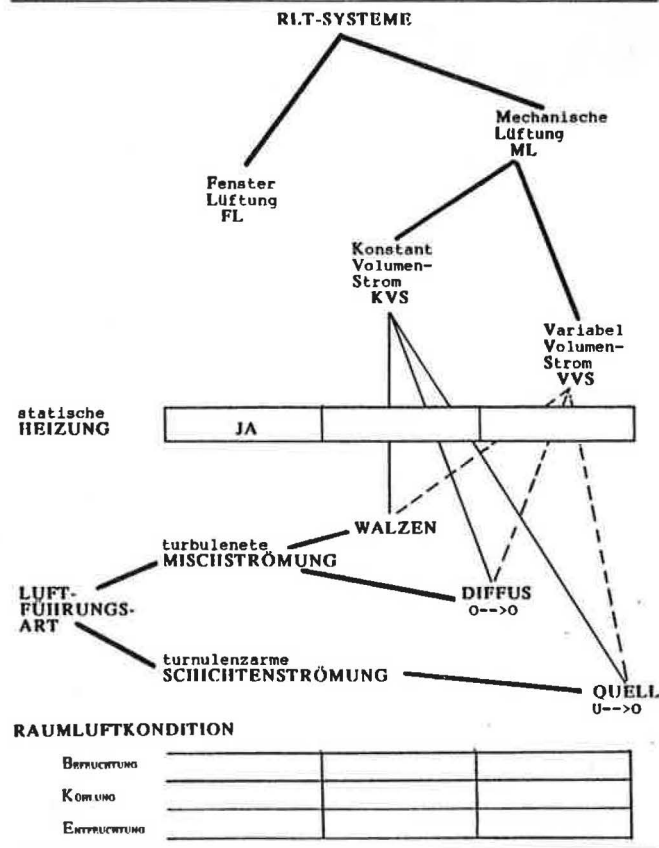


Bild 8 Modifiziertes RLT-System

Nachteile der FL sind: die begrenzte Lastaufnahmefähigkeit bzw. der Lufttemperaturanstieg im sommerlichen Betrieb, Stoßlüftung, Kaltlufteinbruch im winterlichen Betrieb, die Geräusche und Verunreinigungen von außen, z. T. die indirekte (sekundär) Lüftung auf der Lee-Seite des Gebäudes u. a.

Mechanische Lüftung (ML siehe Bild 8)

Konstant-Volumenstrom (KMS)-System sorgt für kontinuierliche Außenluftzufuhr zu den Nutzräumen. Die Zuluft wird thermisch behandelt, gefiltert und schallgedämpft. Das System kann mit Heizung zum Einsatz kommen, kann aber auch, bei bestimmter Zuordnung der Zuluftdurchlässe die Raumbeheizung übernehmen. Als geeignete Regelung reicht zu diesem System eine Zulufttemperaturregelung bzw. Steuerung. Die Zuluft soll zentral oder im Fall der Heizlastübernahme, zonenweise geregelt werden. Eine Einzelraumregelung und Abschaltung ist bei dem System völlig überflüssig und im Verhältnis unbezahlbar. Für die individuelle Regelung wird die Bedienung der Fenster bei dem KVS und bei allen Systemen nach Bild 8 herangezogen

Das **variable Volumenstrom (VVS) System** kann auch mit oder ohne Heizlastübernahme eingesetzt werden. Die grundsätzlichen Einsatzmöglichkeiten aller vorgeschlagenen Systeme zeigt schematisch das Bild 9. Die Luftführungsart und der Ort des Zuluftdurchlasses muß so abgestimmt werden, daß die dem Raum zugeführte Luft im Heizfall die Außenflächen des Raumes thermisch abschirmt. Das VVS-System ist grundsätzlich durch seinen veränderlichen Luftstrom bei konstanter Zulufttemperatur zur Lastanpassung im Raum (Lufttemperaturregelung) geeignet.

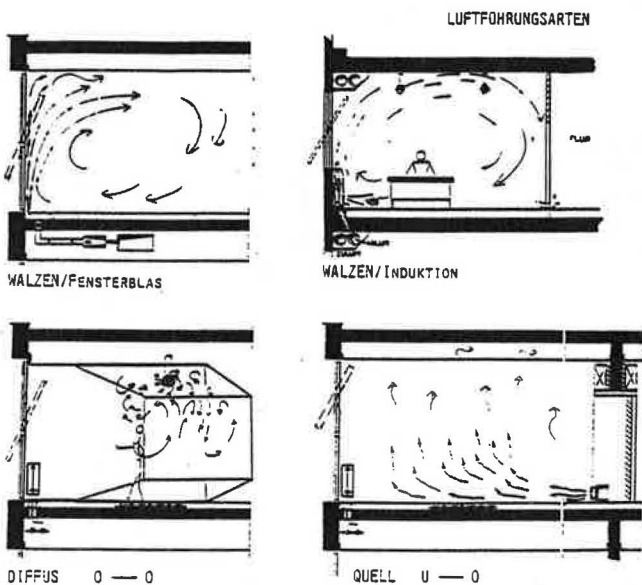


Bild 9 Grundsätzliche Einsatzmöglichkeiten aller vorgeschlagenen Systeme

Luftführungsarten

Im Bild 8 sind drei Luftführungsarten: Walzen-, Diffus- und Quell-Lüftung dargestellt. Der Ort des Zuluftdurchlasses ist dem Bild 9 zu entnehmen. Die *Walzen- und Diffuslüftung* von 0-->0 (von oben nach unten) hat den Nachteil, daß die im Raum freiwerdende gesamte Wärme, Verunreinigungen (u. a. Geruchsstoffe) zwar verdünnt, annähernd gleichmäßig im Raum verteilt werden. Dabei kommt eine gleichmäßige Raumlufttemperaturverteilung zustande.

Die wirksame Temperaturdifferenz zwischen Raum- und Zuluft und dadurch die Leistungsfähigkeit des Zuluftstromes im Raum ist bei Walzenlüftung als Fensterblaslösung um 10 - 20 % effektiver als bei der 0-->0 Diffuslüftung. Es ist durch die höhere Induktion und Beimischung der Raumluft im Bereich der Fensterbrüstung der längere Strahlweg gegenüber der Diffuslüftung gegeben.

Die Luft kann nach dem *Quell-Lüftungsprinzip* horizontal über den Fußboden, oder aus dem Doppelboden dem Raum zugeführt werden. Die Zuluft nimmt die Lasten im Raum auf und strömt, ohne sich stark zu vermischen, nach oben. Dabei entsteht eine stetige Raumlufttemperaturzunahme in der Raumhöhe. Die Lufttemperatur im Aufenthaltsbereich ist wegen des Temperaturgradienten 2 bis 4° C niedriger als die Ablufttemperatur. Mit anderen Worten ergibt sich eine thermische Lastreduktion bezogen, auf die Aufenthaltszone, von ca. 30 %. Die spezifische Leistung der Quelllüftung ist mit der Diffuslüftung 0-->0 gleichzusetzen, mit dem Unterschied, daß die thermischen Lasten nur mit einem Anteil von ca. 65 % bei Quelllüftung in der Aufenthaltszone wirksam werden.

4. Raumluftkonditionen, Anforderungen an Raumlufttemperaturen nach DIN 1946 Teil 2 Entwurf vom August 1991

Der neue DIN-Entwurf gibt erstmals eine Raumlufttemperaturspreizung zwischen 22 und 25° C bzw. kurzzeitig 26° C ganzjährig vor (siehe Bild 10).

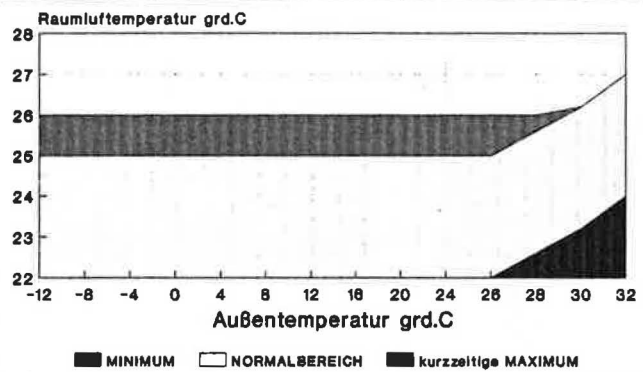


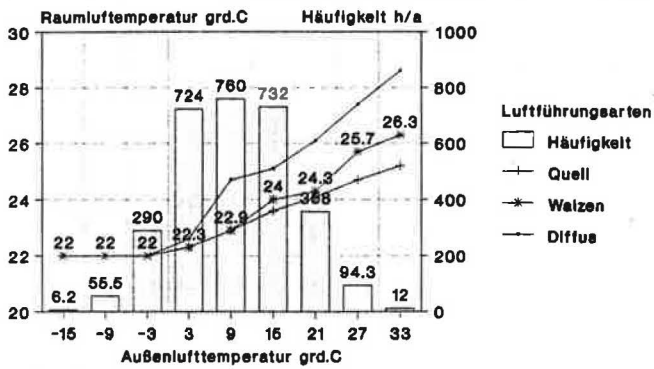
Bild 10 Raumlufttemperaturverlauf nach DIN 1946 Teil 2, Entw. Aug. 1991

Dies bedeutet, daß die maximale Raumlufttemperatur von 25/26° C auch im Winter bei Auftreten von maximalen Innenlasten (Kühllasten) zugelassen ist. Die Zufriedenheit der Mitarbeiter in Bürogebäuden kann mit der Kombination der freigegebenen Fensterlüftung während des Betriebes der RLT-Anlage nach zahlreichen Beispielen deutlich besser sichergestellt werden als in festverglasteten Gebäuden und sog. Vollklimatisierung.

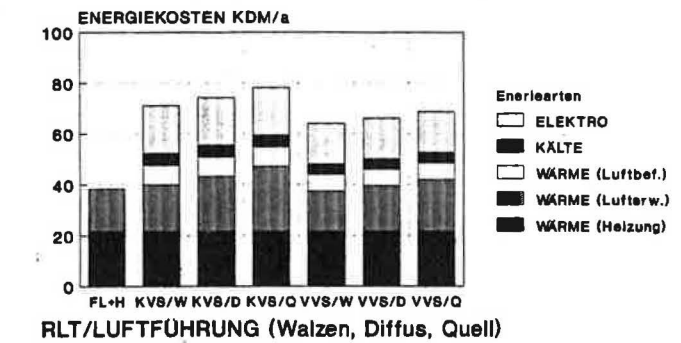
5. Abschätzung der Raumlufttemperaturen, Leistungen, Energiebedarf, Kosten

Um die Raumlufttemperaturen ermitteln zu können wurde ein Beispiel gerechnet.

Annahmen:	Büronutzfläche: 5000 m ² lichte Raumhöhe: 3,0 m Glasanteil: 35 % der Fassade Verglasung: Isolier Sonnenschutz: äußere Fenster sind offenbar
Raumbelegung:	10 m ² /Person 16 W/m ² Beleuchtung 250 W/m ² /Person installierte Maschinenleistung
Flächenbezogener Luftstrom: Raumluftzustand:	7,5 m ³ /h m ² Winter 20/22 °C, r. F. > 35 % 12 °C Nacht Sommer < 28 °C, r. F. < 45 % bei mechanischer Lüftung
Betrieb: Energiepreise:	3924 h/a, reiner Außenluftbetrieb Elt. Strom: 230 DM/MWh, Wärme: 60 DM/MWh und Kälte: 70 DM/MWh.



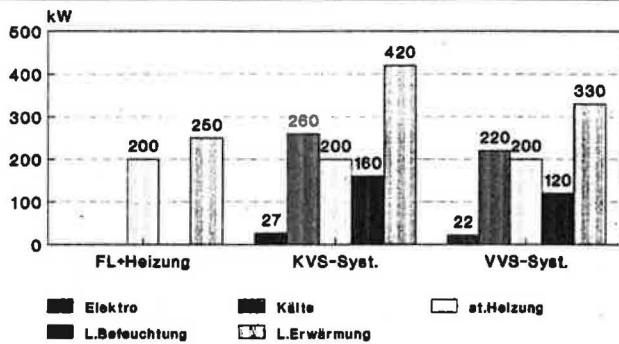
nach DIN 4710, Raum: Frankfurt am Main



RLT/LUFTFÜHRUNG (Walzen, Diffus, Quell)
 FL→4,5 m³/hm² (1,5 1/h)
 ML→7,5 m³/hm² (2,5 1/h)

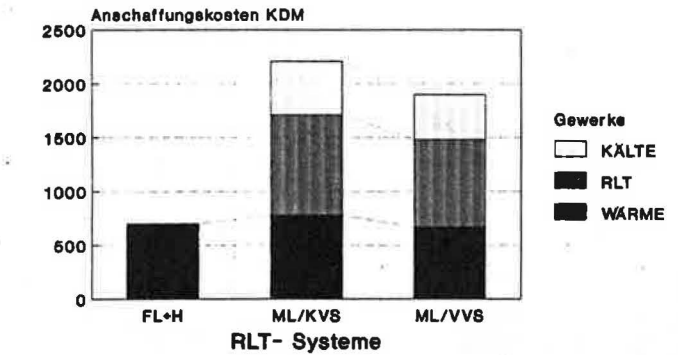
Bild 11 Mechanische Lüftung – Raumlufthausdiagramm 7,5 m³/h m², LW = 2,5 1/h, 250 W/Person

Bild 12 Anschlussleistungen



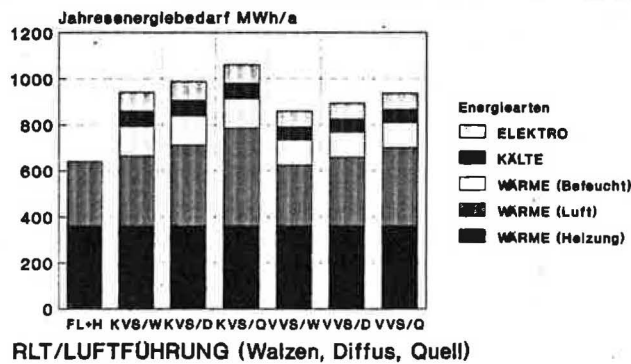
Büronutzfläche: 5.000 m², 7,5 m³/hm²
 4,5 m³/hm² bei FL(Fensterlüftung)

Bild 13 Energiebedarf für Büronutzung Nutzfläche: 5000 m², Betrieb: 3024 h/a FL + H und ML-Systeme



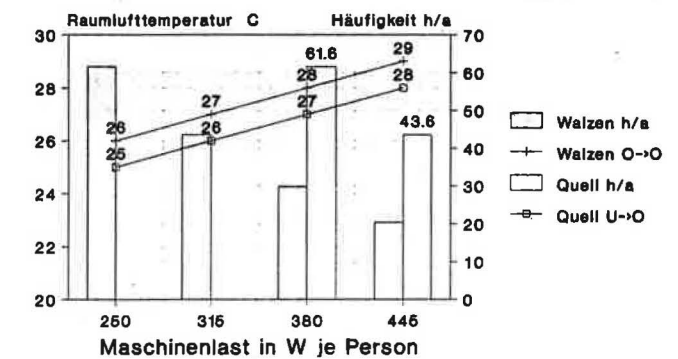
KDM ohne Nebenkosten und MWST, Stand: '92

Bild 14 Energiekosten für Büronutzung Nutzfläche: 5000 m², Betrieb: 3024 h/a FL + H und ML-Systeme



RLT/LUFTFÜHRUNG (Walzen, Diffus, Quell)
 FL→ 4,5 m³/h (1,5 1/h)
 ML→ 7,5 m³/h (2,5 1/h)

Bild 15 Investition – RLT – Wärme- und Kältetechnische Anlagen Büronutzfläche: 5000 m²



Einfluß der Luftführungsarten

Bild 16 Inst. Maschinenlast-Erweiterung 7,5 m³/hm² (2,5 1/h)

Die KVS- und VVS-Systeme fördern bei maximaler Belastung die gleichen (maximalen) Zuluftströme. Die maximalen Raumlufthausdiagramm bei den untersuchten RLT-Systemen und verschiedenen Luftführungsarten zeigt Bild 11. Auf diesem Bild ist auch die jährliche Stundenhäufigkeit eingetragen. Die Anschlussleistungen der verschiedenen Energiearten sind aus dem Bild 12 zu entnehmen.

Die jährlichen Energiebedarfswerte sind auf dem Bild 13 und die Energiekosten auf Bild 14 dargestellt.

Die Raumbedarfswerte der technischen Anlagen wurden nicht gesondert aufgeführt. Die Anschaffungskosten der RLT-Systeme zeigt Bild 15.

Die Auswirkungen der installierten Maschinenlastenerweiterung am Arbeitsplatz auf die maximalen Raumlufthausdiagramm und deren Stundenhäufigkeit wurde auf Bild 16 dargestellt.

Literatur

- [1] Rákóczy, T.: „RLT-Anlagen mit Fensterlüftung und Kühlung“. HLH Bd. 40 (1989) Nr. 3 S. 154/157.
- [2] Rákóczy, T.: „Instationäres Rechenverfahren für variable Luftvolumensysteme“. KI 3/87 Teil 6. S. 155/159.
- [3] Rákóczy, T.: „Natürliche und/oder mechanische Lüftung“. KI 2/82. S. 71/80.
- [4] Todorović, B. B.: Cooling load from solar radiation. ASHRAE TRANSACTIONS, 1982.