



RLT- und kältetechnische Lösungen für Großrechenzentren*

Tibor Rákóczy, Köln

Bei Rechenzentren müssen hohe konstante Maschinenlasten ganzjährig gekühlt werden. Die Wärme wird z. T. mittels Wasser und z. T. mit Luft gekühlt. Die Zuluft wird vorzugsweise aus dem Doppelboden dem Raum zugeführt und in der Deckenebene abgesaugt. Bei der Luftaufbereitung können zwei unterschiedliche RLT-Systeme angewandt werden:

- Zentrale Aufbereitung des gesamten Zuluftstromes, mit dem Vorteil, daß die Außenluftenthalpie für Kühlzwecke ohne Kältemaschinenbetrieb im Winter zur Verfügung steht.
- Die wirtschaftlichere Lösung ist die direkte Luftkühlung durch Umluftkühlgeräte, die auf der RZ-Fläche aufgestellt werden. Dabei braucht nur ein minimaler Zuluftanteil zentral aufbereitet zu werden, damit die Feuchtehaltung, die Außenluftzufuhr und die Druckhaltung im Raum sichergestellt werden. In diesem Fall bietet sich die Freie Kühlung oder die Nutzung der Abwärme (Wärmepumpe) an.
- Eine weitere Variante wird vom Verfasser vorgeschlagen, und zwar: Die Anwendung des Quell-Luftstromprinzips bei der Luftzuführung für RZ-Flächen. Hierdurch kann die Doppelbodenhöhe reduziert werden, und die Luftdurchlässe im Boden können entfallen.

Air conditioning solutions for computer centers

In computer centers there are to be cooled high cooling loads from machines and equipment. Heat is usually cooled by water, partially by air. Supply air is preferably carried into the room by raised floor and is exhausted through the ceiling. There are two ventilating systems:

- Central processing – with the benefit of utilizing the outside-air enthalpy for cooling without cooling machines during the winter.
- The more economic solution is cooling of recirculating air by sensible coolers set up in the surface of the operating room. A minimal part of supply air is centrally conditioned for obtaining the humidity, the outside air quantity and the pressuring inside the space. In this case it is useful free cooling or utilizing the heat gain by heat-pump.
- A further variant is here proposed by the author: Using the principle of displacement ventilation. By this means the height of the raised floor can be reduced and the outlets in the floor surface can be cancelled.

Matériel de conditionnement d'air: Des solutions frigorifiques pour grands centres de calcul

Les centres de calcul exigent pendant toute l'année le refroidissement d'un parc de machines important et constant. La chaleur dégagée y est refroidie pour partie par de l'eau, pour partie par de l'air. Au niveau de la salle des calculateurs, l'air est de préférence amené par le double sol et évacué par le plafond. Pour le traitement de l'air, deux systèmes de climatisation différents sont envisageables:

- Un traitement centralisé de l'ensemble du flux d'air amené, ce qui présente l'avantage de pouvoir utiliser en hiver l'enthalpie de l'air extérieur à des fins de refroidissement sans tirer sur les machines frigorifiques.
- Le refroidissement direct au moyen des appareils de refroidissement à circulation d'air installés dans la salle des calculateurs représente une solution plus économique. Elle exige en effet de ne traiter de manière centralisée qu'une partie minimale de l'air amené pour garantir un maintien correct de l'hygrométrie, de l'alimentation en air extérieur et de la pression. Dans un tel cas, on peut recourir au refroidissement direct ou récupérer la chaleur perdue (pompe à chaleur).
- L'auteur propose une autre variante: appliquer le principe du courant d'air de source sur l'amenée d'air dans les locaux de calcul. Ceci permet de réduire la hauteur du double sol et de supprimer les passages d'air dans le sol.

Schlüsselwörter – Keywords

Rechenzentren (RZ), Thermische Lasten, Doppelboden, Sensible Cooler (SC), Quell-Luftführung, Wandstrahl, Radial-Bodenstrahl
Computer centers, cooling loads, raised floor, sensible cooler, displacement ventilation, wall-outlets, floor outlets

1. Einleitung

Räume mit extrem hohen thermischen Lasten, bei denen die Lasten ausschließlich die Kriterien zur Bemessung des Volumenstromes sind, werden grundsätzlich von unten nach oben belüftet (siehe Bild 1). Die Zuluft wird – bis jetzt – vorzugsweise zu dem Doppelboden-Hohlraum geführt und durch Luftdurchlässe, die im Fußboden eingesetzt werden, zu der RZ-Fläche (Rechenräumen) geführt. Die flächenbezogenen thermischen Lasten bewegen sich in RZ-Flächen zwischen 250 bis 900 W/m².

Ein Teil der thermischen Lasten von ca. 30 %, der sog. CPU-Anteil, wird oft auf direktem Wasserweg abgeführt. Dieser Anteil

ist der maschinengekühlte Anteil der Kühllasten. Der luftgekühlte Anteil der Lasten wird auf dem Luftweg abgeführt. Die Zuluft wird in einem Zustand von 18 bis 20 °C und ca. 70 % relativ

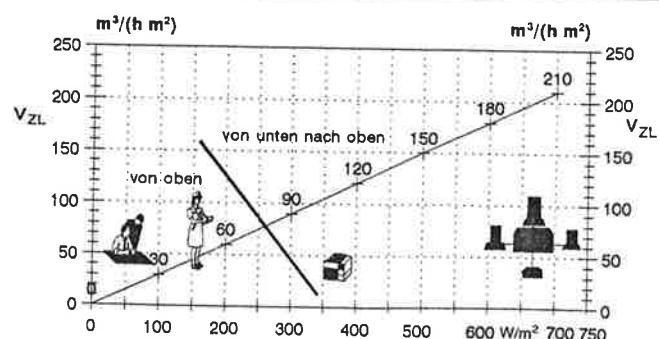


Bild 1 Luftführung: Auswahldiagramm.

Tibor Rákóczy, BRANDI-Ingenieure GmbH, Technisches Zentrum, Köln-Marsdorf

* Manuskript eingereicht im November 1992. Überarbeitete Fassung des bei der DKV-Tagung in Bremen gehaltenen Vortrags.

Feuchte über den Doppelboden in den Raum geleitet. Die effektive Raumlufttemperatur im RZ-Raum stellt sich in Abhängigkeit von den thermischen Lasten ansteigend mit der Raumhöhe ein. Typische Lufttemperatur-Verteilung bei verschiedenen thermischen Lasten zeigt das Bild 2. Die flächenbezogenen Zuluftvolumenströme bei RZ-Flächen bewegen sich zwischen

$60 \div 200 \text{ [m}^3/(\text{hm}^2)\text{]}$.

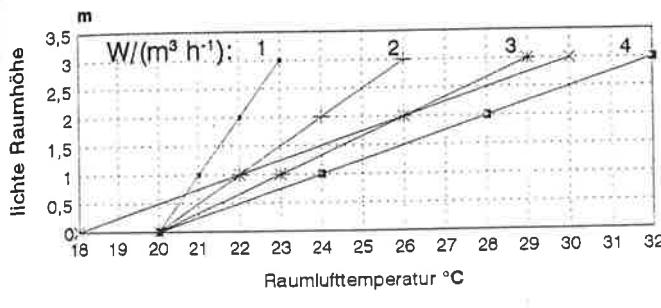


Bild 2 Gerechnete Werte für Luftführung von unten.
Spezifische Kühllasten: 1-4 $\text{W}/(\text{m}^3 \text{ h}^{-1})$.

Die Ablufttemperatur im RZ-Raum kann bei hohen flächenbezogenen Lasten 30 bis 32 °C erreichen. Um die Luftbelastung der unterschiedlichen Lasten zu erfassen und vergleichen zu können, wurde eine spezifische Kühllast von

$(\dot{q}/\dot{v})_{\text{SPEZ}} \text{ [W}/(\text{m}^3 \text{ h}^{-1})]$

eingeführt. Es können spezifische Luft-Last-Werte zwischen 1 bis 5 auftreten (siehe Bild 2).

Die raumlufttechnische Behandlung der Rechenzentren kann auf zwei grundsätzliche RLT-Systeme, und zwar *zentrale* und *dezentrale* Luftaufbereitung zurückgeführt werden. In den meisten Fällen wird eine Mischung der beiden Prinziplösungen gewählt. Die *zentrale Luftaufbereitung* (ZL) stellt den erforderlichen Mindestaußenluftstrom, die gewünschte Raumluftkondition und den notwendigen Überdruck des RZ-Raumes sicher. Die Kühlung der Maschinenwärme wird vorzugsweise durch vor Ort aufgestellte dezentrale Umluftkühlgeräte, genannt *Sensible Cooler* (SC), übernommen. Bei der Zentralaufbereitung bietet sich im winterlichen Betrieb die Außenenthalpie für die Kühlung der Maschinenlasten anstelle der maschinellen Kühlung an. Beim Einsatz von SC-Geräten muß die maschinelle Kühlung ganzjährlich betrieben

werden. Die freie Kühlung und/oder die Abwärmenutzung der Kälteerzeugung bringt die Wirtschaftlichkeit des SC-Betriebs. Besondere Vorteile des SC-Systems sind die Flexibilität und die Redundanz. Nachteil ist, daß die SC-Geräte nach Möglichkeit auf die RZ-Fläche aufgestellt werden müssen, um optimale Energiekosten erzielen zu können (siehe Bild 3).

2. Raumluftkondition (aus dem h,x-Diagramm)

Raumlufttemperatur im Aufenthaltsbereich: 24 °C – 1+2 °C

relative Raumluftfeuchte: 55 % +5–5 %

Taupunkttemperatur: 14 °C / 95 %

Zulufttemperatur im Doppelboden: 19 °C / 70 %

Ablufttemperatur bei max. Lasten: 32 °C

3. Zuluftstromermittlung

3.1 Ermittlung des flächenbezogenen Zuluftstromes:

$$\dot{v} = \frac{3 \cdot \dot{q}}{\Delta T_1} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{hm}^2} \right] \quad (1)$$

worin:

\dot{q} W/m² Wärmelast

$\Delta T_1 = t_{AB} - t_{ZL}$ K

4. Energiebedarfsermittlung bei 8760 h/a

4.1 Jährlicher Kältebedarf

$$E_{\text{KÄLTE1}} = \dot{v} \cdot x \cdot (2,92 + 2,434 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\Delta p_{\text{SC}}}{\eta_{\text{SC}}}) \quad (2-1)$$

$$E_{\text{KÄLTE2}} = \dot{v} \cdot (1-x) \cdot (3,43 + 2,434 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\Delta p_{\text{ZL}}}{\eta_{\text{ZL}}}) \quad (2-2)$$

$$E_{\text{KÄLTE3}} = -\dot{v} \cdot (1-x) \cdot 2,92 \cdot \Delta T_2 \quad (2-3)$$

Daraus ergibt sich der jährliche flächenbezogene Kältebedarf:

$$E_{\text{KÄLTE}} = E_{\text{KÄLTE1}} + E_{\text{KÄLTE2}} + E_{\text{KÄLTE3}} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{a}} \right] \quad (2)$$

worin:

x [%/100] SC-Anteil

Δp (PA) Druckdiff.

η Wirkungsgrad

$\Delta T_2 = t_{ZL} - t_{\text{r}}$ [K]

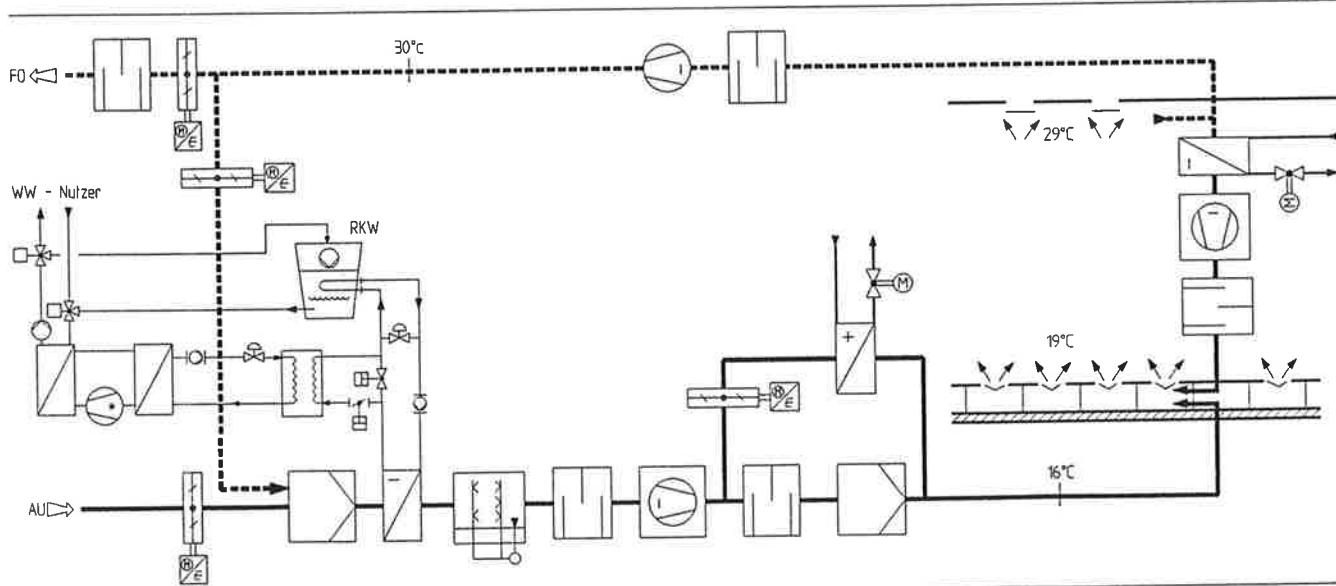


Bild 3 Fließschema einer RZ-Anlage.

KLIMA / Modifizierte RLT-Systeme



4.2 Jährlicher Elektrobedarf

$$E_{ELT} = \dot{v} \cdot \left[(x \cdot 2,433 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\Delta p_{SC}}{\eta_{SC}}) + (1-x) \cdot 2,433 \cdot \left(\frac{\Delta p_{ZL}}{\eta_{ZL}} + \frac{\Delta p_{AB}}{\eta_{AB}} \right) \right] \quad (3)$$

in kWh/(m² a).

4.3 Jährlicher Wärmebedarf

Im normalen Betrieb wird im Bereich der Zentralluftaufbereitung mit Umluftbetrieb gearbeitet, daher entsteht kein Wärmebedarf. Wärmeanschluß wird nur wegen Anfahrt der Anlage im winterlichen Betrieb vorgehalten. Der jährliche Wärmebedarf des Vorerhitzers ohne Umluftbetrieb ist nach der Formel (4) zu ermitteln.

$$E_{WÄRME-VE} = \dot{v} \cdot (1-x) \cdot \Delta T_1 \cdot 1,78 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{a}} \right] \quad (4)$$

5. Energiekosten-Optimierung

Um optimale Energiekosten zu erzielen lässt sich, nach Gleichung (4), ein „optimaler SC-Anteil“ ermitteln.

$$x_{OPT} = \frac{t_{ZL} - \left(t_{\tau} + \frac{\Delta p_{ZL}}{1200 \cdot \eta_{ZL}} \right)}{\Delta T_1 + \frac{\Delta p_{SC}}{1200 \cdot \eta_{SC}} + t_{ZL} - \left(t_{\tau} + \frac{\Delta p_{ZL}}{1200 \cdot \eta_{ZL}} \right)} \quad (5)$$

INDIZES:

SC → Sensibler Cooler

ZL → Zuluft

AB → Abluft

τ → Taupunkt

1 → Abluft-Zulufttemp.

2 → Zuluft-Taupunkttemp.

6. Beispielberechnung

Es wurde ein Beispiel mit einer flächenbezogenen EDV-Maschinenlast von 675 W/m², davon ist der CPU-Anteil: 125 und der luftgekühlte Anteil: 550 W/m², die Beleuchtung und Personen wurden mit 25 W/m² angenommen (siehe Bild 4). Die Elektro-Anschlußleistungen zeigt das Bild 5. Zunächst wurde der SC-Anteil analysiert bei 40% und 70% SC-Wirkungsgraden. Die Ventilatorwirkungsgrade der Zentralventilatoren wurden dabei mit 70% angenommen. Bei der Energiekostenermittlung wurde die „normale“ Versorgung, die sog. Wärmepumpen-Lösung, und die Kälteversorgung, z. T. über freie Kühlung untersucht. Das Ergebnis der Berechnung lässt sich dem Bild 6 entnehmen. Ein optimaler SC-Anteil mit den niedrigsten Energiekosten ergibt sich bei einem Wert von ca. 20% bei dem normalen Betrieb. Das

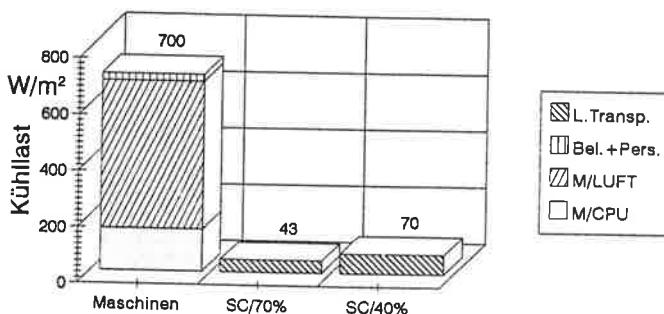


Bild 4 Flächenbezogene Kühllastverteilung in W/m².

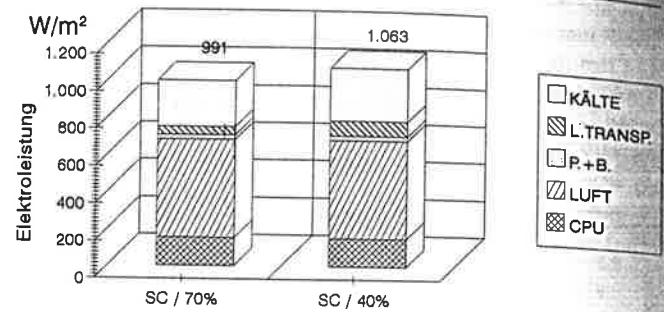
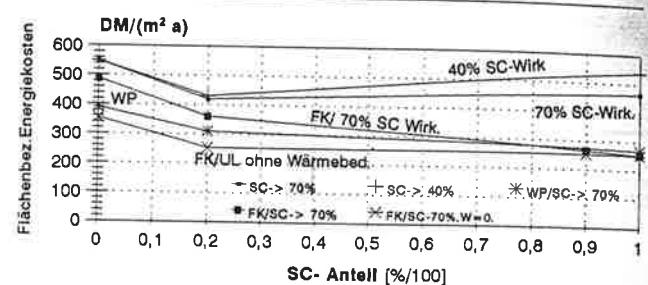
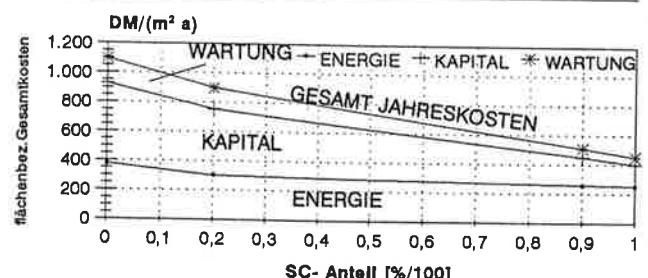


Bild 5 Flächenbezogene Elektroleistung in W/m².



Betriebszeit: 8760 h/a; Energiepreise: $\dot{a}_{ELT} = 230$ und $\dot{a}_{W+K} = 70$ DM/MWh
Wärmepumpenbetrieb: $\dot{a}_{W+K} = 35$ DM/MWh; freie Kühlung: $\dot{a}_K = 32,5$ DM/MWh.

Bild 6 Energiekostenvergleich
Lasten: 550 W/m² + 150 W/m² CPU-Anteil.



Betriebszeit: 8760 h/a; Wirkungsgrade: ZL = 70 %, SC = 70 %
FK-Betrieb; Energiepreise: $\dot{a}_{ELT} = 230$ DM/MWh, $\dot{a}_{K+W} = 32,5$ DM/MWh.

Bild 7 Gesamtkostenvergleich
Lasten: 550 W/m² + 150 W/m² CPU-Anteil.

Optimum ist dann gegeben, wenn der Zentralluft-Anteil von Taupunkt- auf Zuluftzustand mit Hilfe der Maschinenlasten und der SC-Einheiten im Doppelboden erwärmt werden kann. In diesem Fall wäre die maschinelle Kühlung nicht erforderlich. Bei den weiteren Versorgungslösungen findet sich der niedrigste Energieaufwand bei dem maximalen SC-Anteil. Daher wird ein Zentralanteil nach der Raumluftkondition, Überdruckhaltung und Personenluftrate gewählt. Die jährlichen Gesamtkosten für den Fall der freien Kühlung (FK) mit Umluftbetrieb bei der Zentraleufbereitung zeigt das Bild 7.

7. Anwendung von „Quell-Luft“-Führungsprinzip bei RZ-Flächen

Es besteht die Möglichkeit, bei EDV-Räumen die Zuluft z. T. auch über den Doppelboden zuzuführen (siehe Bild 8). Bei dem Einsatz der Schichtenlüftung in RZ-Flächen kann seitens der Luftführung z. T. auf den Doppelboden verzichtet werden. Weitere Vorteile des „Quell-Lüftungsprinzips“ in RZ-Flächen sind: die

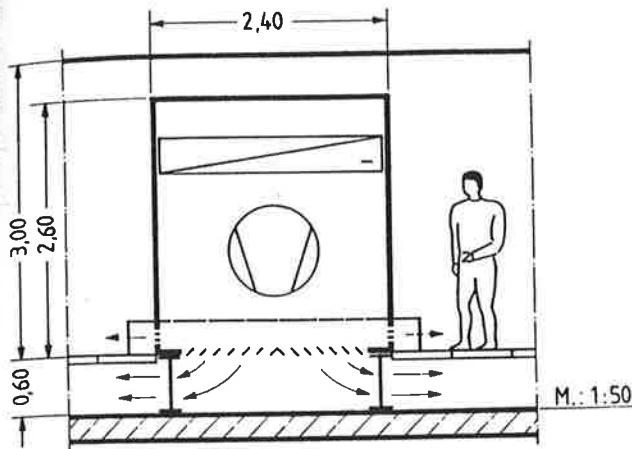
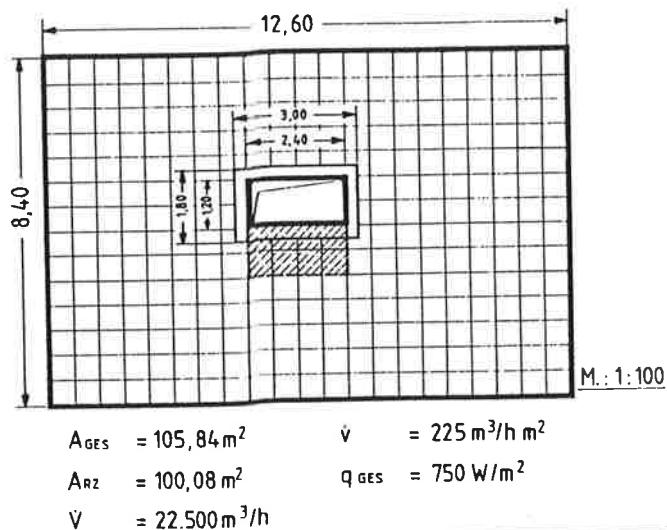


Bild 8 SC-Gerät, teilweise mit Quell-Luftführung
Offenlegungsschrift DE 4129156 A1.



Einsparung der Luftdurchlässe, die in den Fußböden zum Einsatz kämen, Undichtigkeiten im Doppelboden sind sogar erwünscht, was bei der Installation der Equipment vor allem der Leitungsführung entgegenkommt, die niedrigere Geschoßhöhe, die vor allem bei nachträglicher Installation von RZ-Flächen von großem Vorteil ist, und nicht zuletzt das Zur-Verfügung-Stellen des Doppelbodens für andere Installationen.

Einige Aufstellungsvarianten von SC-Geräten auf der RZ-Fläche zeigt das Bild 9.

8. Zusammenfassung

Die optimale Lösung der RLT- und kältetechnischen Versorgung der RZ-Flächen ist durch ein gemischtes Zentral- und Dezentralsystem gegeben, wobei der Zentralanteil ca. 10 % und der Dezen-

tralanteil ca. 90 % der thermischen Lasten abführt. Hierbei wird der CPU-Anteil außer acht gelassen. Die besonderen Vorteile der vorgeschlagenen Lösung sind Flexibilität, Redundanz, Erweiterungsmöglichkeit und Anpassung an Flächenbelastung auch bei Hardware-Änderungen der RZ-Räume. Die SC-Geräte, die auf die RZ-Fläche oder unmittelbar neben der Fläche aufgestellt werden, zeichnen sich durch Einfachheit (nur Lufttransport, Kühlung und Filterung) und Bedienungsfreundlichkeit aus. Gute Wirkungsgrade und kleine dynamische Anteile der Ventilatoren sind von größter Bedeutung aus der Sicht der Energieeinsparung. Bei optimalen SC-Geräten kann z. B. auf Schalldämpfer verzichtet werden, um die Energie- und Investitionskosten zu reduzieren. Weitere bauseitige Vorteile, die von größerer Bedeutung sind, erzielt man durch die neuartige Luftführung oberhalb des Doppelbodens.

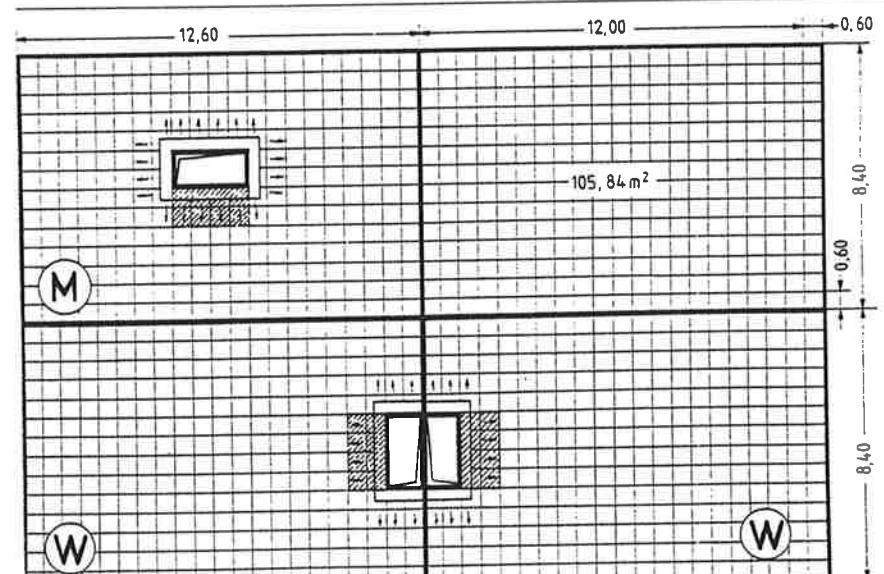


Bild 9
SC-Geräteanordnung.