



#2449

Temperaturverhältnisse und Luftströmungen

in Räumen mit Luftheizung durch Mini-Luftleitungen unter Berücksichtigung des Fenstereinflusses

Prof. Dr. Philipp Katz*

Zur Beurteilung eines Wohnungs-Heizsystems ist entscheidend, in welcher Weise es geeignet ist, den Bewohnern Behaglichkeit herzustellen. Ein sehr guter Beurteilungsmaßstab ist die Wärmeverteilung im Raum, zusammen mit der durch die Heizung hervorgerufenen Raumluftrömung, da letztere für die Wärmeverteilung in erster Linie bestimmend ist. Beherrschbare Verhältnisse sind nur zu erwarten, wenn die Strömungen stabil sind.

A318

1. Einleitung

Die bereits veröffentlichten Ergebnisse [1] der Untersuchungen an Radiatoren-, Fußboden- und Kachelofenheizungen, jeweils ebenfalls unter Berücksichtigung des Fenstereinflusses, ergaben:

- Die Radiatorenheizungen mit den unter den Fenstern angebrachten Heizkörpern bringen die besten Raumströmungs- und die gleichmäßigsten Temperaturverhältnisse, auch bei Niedertemperaturbetrieb, und damit gute Behaglichkeit.

- Die Kachelofenheizung kann ähnlich stabile Raumströmungsverhältnisse wie die Radiatorenheizung bringen. Für die Raumluftrömung ist aber bei dieser Heizung die Güte der Fenster von wesentlicher Bedeutung, da Kachelöfen nicht unter den Fenstern angebracht werden können.

- Die Fußbodenheizung ist nicht in der Lage, stabile Strömungs- und damit Behaglichkeitsverhältnisse ohne zusätzliche Heizkörper im Fensterbereich zu schaffen. Die Wohnbarkeit der Räume wird durch Kaltluftströme bis zu 3 m Abstand von der Fensterwand wesentlich gemindert. Ursa-

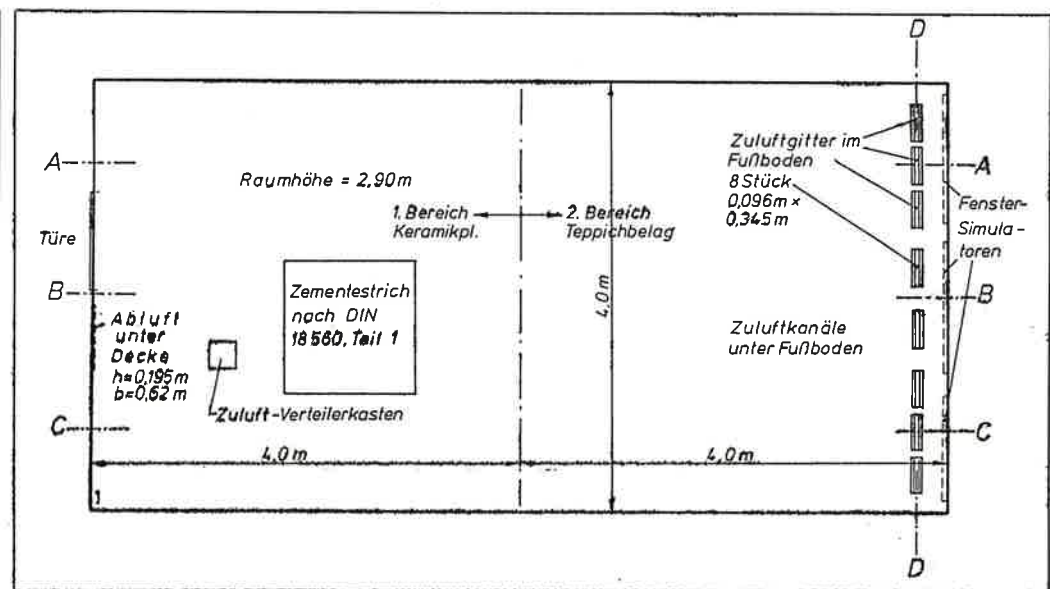


Bild 1: Versuchsaufbau - Grundriß des Prüfraumes

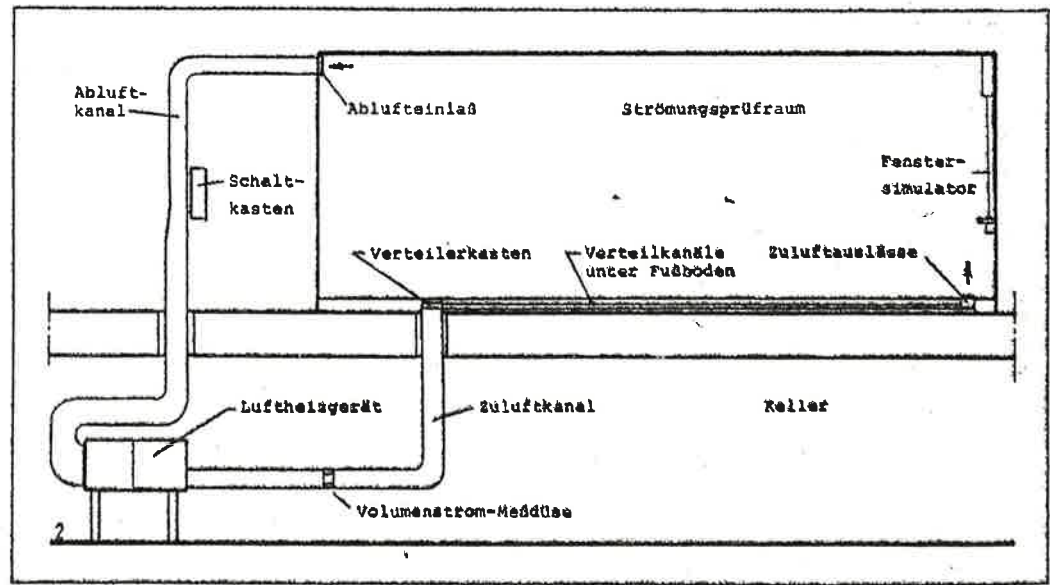


Bild 2: Versuchsaufbau - Schnitt der Prüfanlage

*Leiter des Instituts für Klimatechnik und Umweltschutz Gießen an der Hochschule für Technik und Wirtschaft

che dafür ist die bekannte Schwierigkeit [2], eine flächendeckende Anregung von Luftströmungen zu erreichen.

Es liegen in größerer Anzahl (auch eigene) Untersuchungsergebnisse von Luftheizungsanlagen vor. Diese sind aber mit den vorerwähnten Untersuchungen deshalb nicht ohne weiteres vergleichbar, weil bei Luftheizungen in der Regel die lufttechnischen und nicht die heizungstechnischen Aspekte in erster Linie der Planung zugrundegelegt werden müssen. Zuluft- und Abluftöffnungen sind nach den Gesetzmäßigkeiten der Luftströmung im Raum zu bestimmen und lie-

gen meist nicht im Fensterbereich.

Im Gegensatz zu diesen üblichen raumluftheizungstechnischen Anlagen entspricht das System, über dessen Untersuchungen nachstehend berichtet wird, in Anlage und Wirkung weitgehend den vorerwähnten Wohnungs-Heizsystemen und ist daher prinzipiell mit ihnen vergleichbar; dies um so mehr, als die Untersuchungen im gleichen Prüfraum durchgeführt wurden, in dem auch die Systeme eingebaut waren, über die bereits berichtet worden ist [1]. Der nachstehende Aufsatz ist Auszug aus einem entsprechenden Forschungsbericht [3].

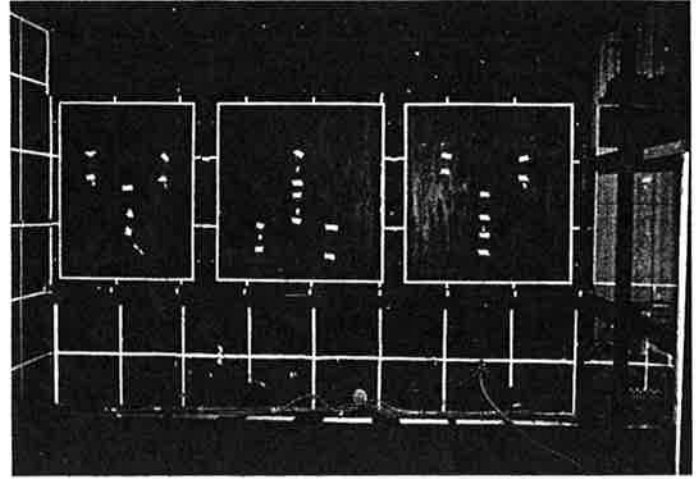


Bild 5: Versuchsaufbau – Rückwand des Prüfraumes mit Fenstersimulatoren

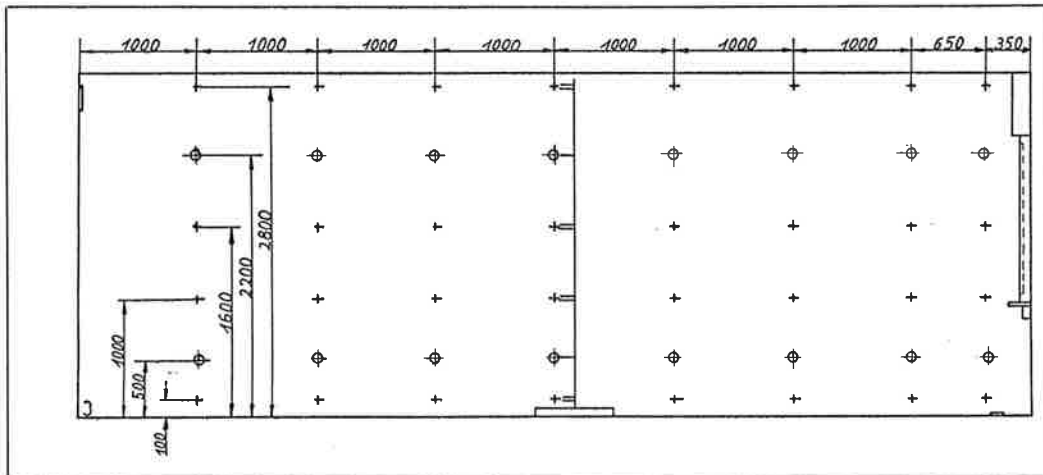


Bild 3: Versuchsaufbau – Meßstellenanordnung: + Temperatur- und Luftgeschwindigkeitsmeßstellen; O Temperaturmeßstellen

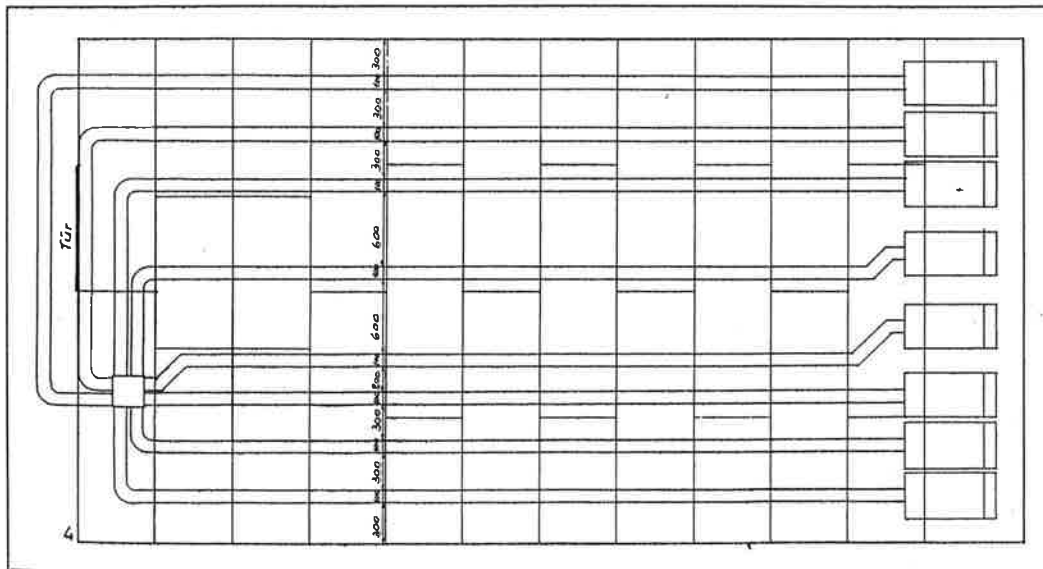


Bild 4: Versuchsaufbau – Lage der Zuluftkanäle im Fußboden

2. Versuchsaufbau

Untersucht wurde ein Klima-Zentralheizungs-System mit Mini-Luftleitungen und Luftauslässen im Fußboden vor den Fenstern. Bild 1 zeigt den Grundriß des Versuchsaufbaus und die Lage der vier Meßebenen A, B, C und D, Bild 2 den Schnitt dazu und Bild 3 die Anordnung der Meßstellen in jeder Meßebe.

Die im Fußboden angeordneten Zuluftöffnungen vor der Fensterwand wurden durch Mini-Luftkanäle versorgt, die gemäß Bild 4 im Fußbodenestrich des Raumes verlegt worden sind. Um den Einfluß verschiedener Fußbodenbeläge beurteilen zu können, wurde der Boden des Prüfraums je zur Hälfte mit Keramikplatten und mit Teppichboden belegt. Bild 5 zeigt die Rückwand des Prüfraumes mit den Fenstersimulatoren und den davor im Boden angeordneten Zuluftöffnungen.

Die Untersuchungen erfolgten bei Temperaturverhältnissen, die denen der Voruntersuchungen [1] entsprachen. Daher wurde der Raumluftheizthermostat auf 22°C eingestellt. Er war im Abluftkanal unmittelbar hinter der Abluftöffnung angeordnet.

Um die für die wissenschaftliche Untersuchung erforderlichen Beharrungszustände herzustellen und gleichzeitig die realen Bedingungen einzuhal-

ten sowie die Vergleichbarkeit mit den früheren Untersuchungen zu sichern, wurden die Temperaturverhältnisse an den Fenstersimulatoren und den Umgebungsflächen entsprechend eingestellt. Die installierte Anlage, bezüglich der Luftleistung stufenlos, bezüglich der Heizleistung in vier Stufen regelbar, entsprach dem Wärmeverlust des Raumes.

Untersucht wurden:

- die Luftströmungsverhältnisse bei verschiedenen Luftleistungen und
- die Temperaturverteilung.

Da die im Fußboden verlegten warmen Zuluftkanäle nicht wärmedämmend sind, gelangt ein Teil der zugeführten Wärme durch den Fußboden in den Raum. Zu untersuchen waren daher die Anteile der durch Warmluft und durch den Fußboden dem Raum zugeführten Heizleistung.

Wie aus Bild 4 ersichtlich ist, wurden die Zuluftkanäle zu den Luftauslässen großflächig im Fußboden verlegt. Nach der Funktion handelt es sich daher beim Prüfling um eine kombinierte Luft- und Fußbodenheizung. Diese Kombination hat mit Sicherheit Auswirkungen auf die Empfindung der im Raum sich aufhaltenden Personen. Eine entsprechende wärmephysiologische Untersuchung wurde daher ebenfalls durchgeführt. Die Ergebnisse sind in einem gesonderten Forschungsbericht [4] zusammengefaßt, auf sie kann im Rahmen dieses Aufsatzes aus Platzgründen nicht eingegangen werden.

Der Prüfraum war mit drei Fenstersimulatoren ausgerüstet (Bilder 1 und 5). Um die Wirkung verschiedener Fensterqualitäten gleichzeitig beurteilen zu können, wurden an den Fenstern unterschiedliche Oberflächentemperaturen eingestellt. Dabei wurden die beiden Fenster in den Schnitten A und B (Bild 1) gleich temperiert, das Fenster in Schnitt C höher, d.h. einer besseren Fensterqualität oder einer hö-

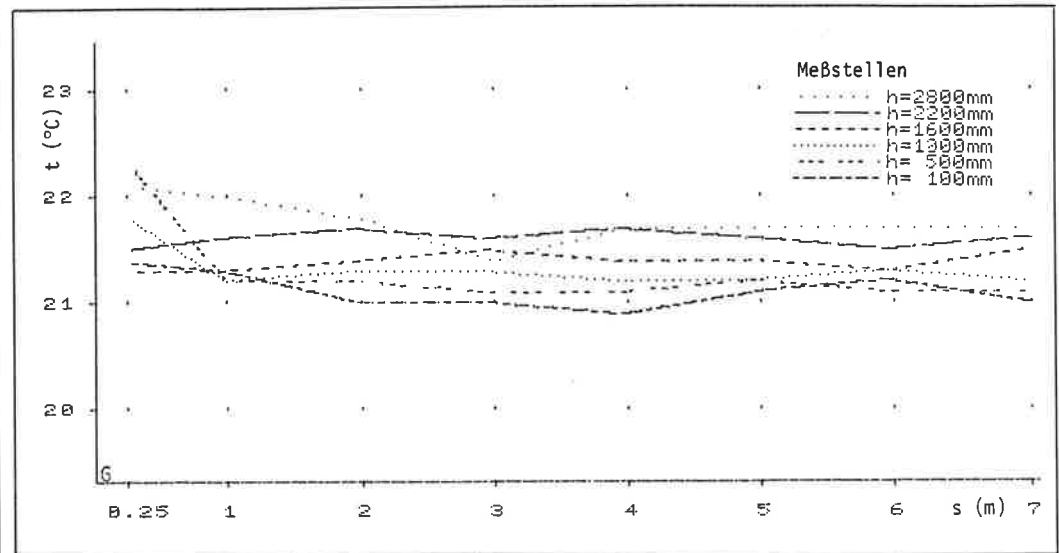


Bild 6: Horizontale Temperaturverteilung in der Meßebeine B-B bei Zuluftvolumenstrom $\dot{V} = 231 \text{ m}^3/\text{h}$

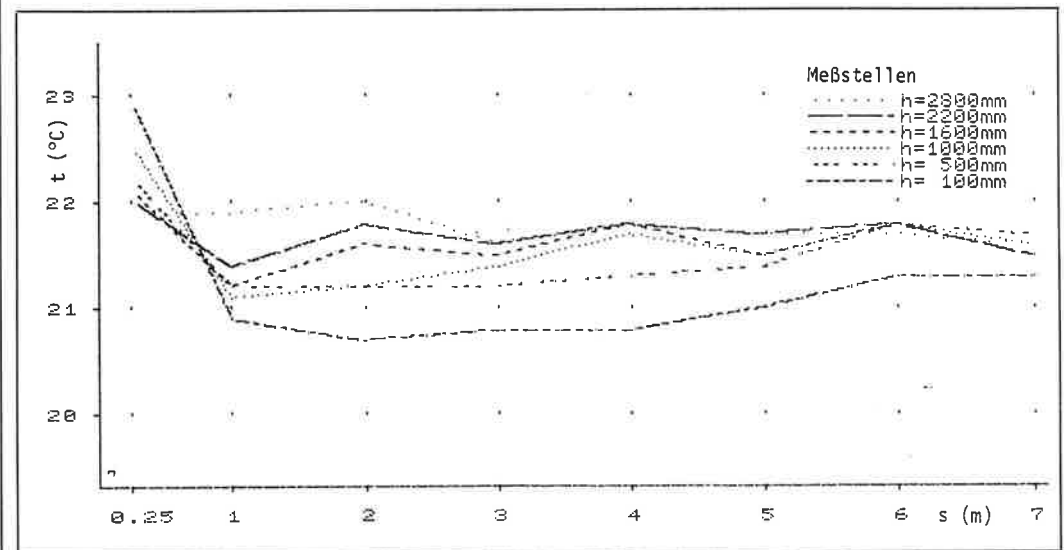


Bild 7: Horizontale Temperaturverteilung in der Meßebeine B-B bei Zuluftvolumenstrom $\dot{V} = 417 \text{ m}^3/\text{h}$

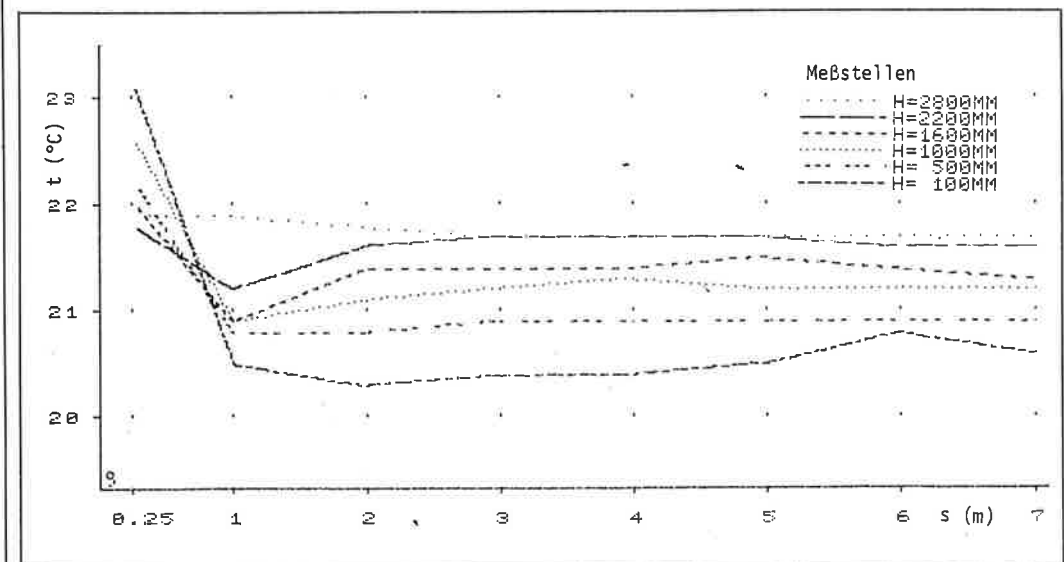


Bild 8: Horizontale Temperaturverteilung in der Meßebeine B-B bei Zuluftvolumenstrom $\dot{V} = 1094 \text{ m}^3/\text{h}$

heren Außentemperatur entsprechend.

Als innere Oberflächentemperatur der beiden Fenster- simulatoren in A und B wurde 8°C gewählt. Der Wert entspricht dem k_{max} -Wert der 2. Wärmeschutzverordnung von 3,1 W/(m² · K) bei einer Außentemperatur von -15°C.

Für den Fenstersimulator C wurde entsprechend den Vor- untersuchungen eine Oberflächentemperatur von 15°C eingestellt. Diese entspricht unter gleichen Voraussetzungen einer Außentemperatur von 3,6°C, d.h. der mittleren Heiz- periodentemperatur in Ober- bayern.

Für andere Fensterqualitäts- ten lassen sich die zugehörigen Außentemperaturen leicht errechnen.

Alle Messungen erfolgten bei einer rel. Luftfeuchte von ca. 50%.

Das Volumen des Prüf- raums betrug 93 m³. Die Untersuchungen wurden jeweils bei drei verschiedenen Zuluftvolumenströmen durch- geführt: bei 231 m³/h, 417 m³/h und 1094 m³/h. Der niedrigste Volumenstrom ent- spricht dem Mindestvolumen-

strom, der zur Erzielung einer raumerfüllenden Strömung erforderlich ist, der größte Vo- lumenstrom entspricht der maximalen Luftleistung der installierten Anlage.

3. Ergebnisse

Kurz gefaßt waren die

Ergebnisse der Untersuchen- gen folgende:

3.1 Temperaturverhältnisse im Raum

Die Temperaturverhältnisse in der mittleren Schnittebene B bei den drei verschiedenen Volumenströmen sind in den

Bildern 6 bis 8 für die horizontale Temperaturverteilung dargestellt. Wie ersichtlich, sind bei der größten Zuluftmenge das Temperaturniveau und die Temperaturspreizung etwas größer als bei kleineren Volumenströmen. Es muß an dieser Stelle auch darauf hingewiesen werden, daß beim höchstmöglichen Volumenstrom in einigen Stellen des Raumes die Luftgeschwindigkeiten unzulässig hoch werden.

In den Bildern 9 bis 11 ist die Temperaturverteilung in vertikaler Richtung über die Raumhöhe dargestellt. Bild 9 zeigt in der Meßebene A die Temperaturverteilung bei 231 m³/h Zuluft, Bild 10 in der Meßebene B bei 417 m³/h und Bild 11 in der Meßebene C bei 1094 m³/h. Es ist ersichtlich, daß zwischen 0,1 m und 2,8 m über Fußboden die Temperaturspreizung vertikal unter 2 K liegt. Es wird ebenso ersichtlich, daß bei geringerem Zuluftvolumenstrom die Fußbodentemperaturen höher sind als bei höherem Volumenstrom. Dies hängt damit zusammen, daß bei gleicher Heizleistung, aber größerem Volumenstrom die

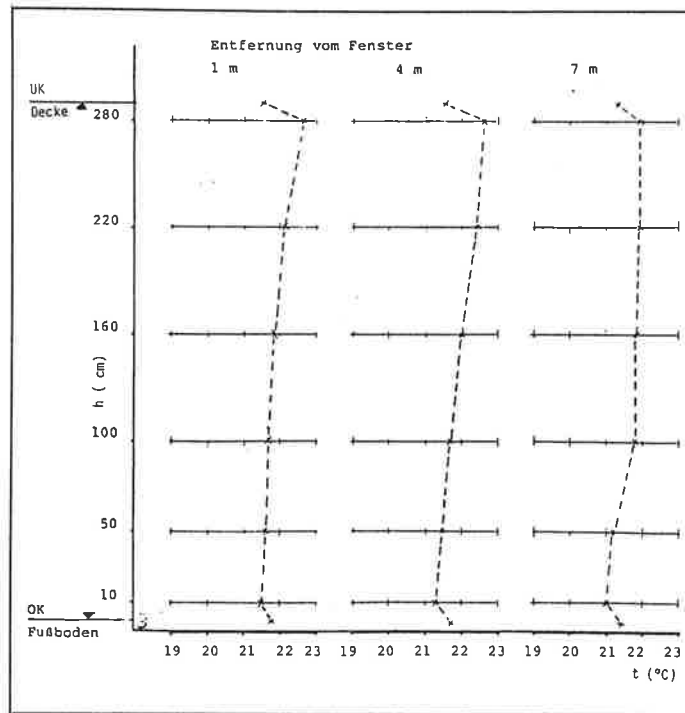


Bild 9: Vertikale Temperaturverteilung in der Meßebene A-A bei Zuluftvolumenstrom $\dot{V} = 231 \text{ m}^3/\text{h}$

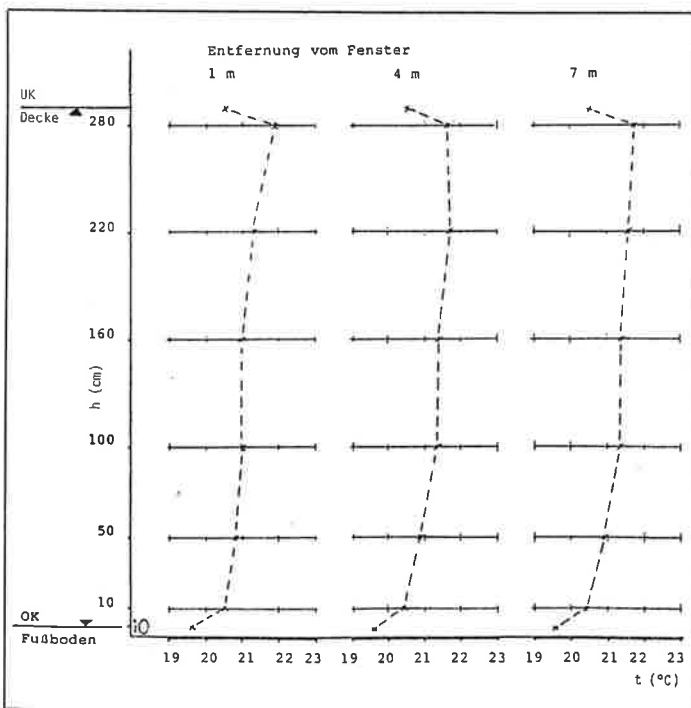


Bild 10: Vertikale Temperaturverteilung in der Meßebene B-B bei Zuluftvolumenstrom $\dot{V} = 417 \text{ m}^3/\text{h}$

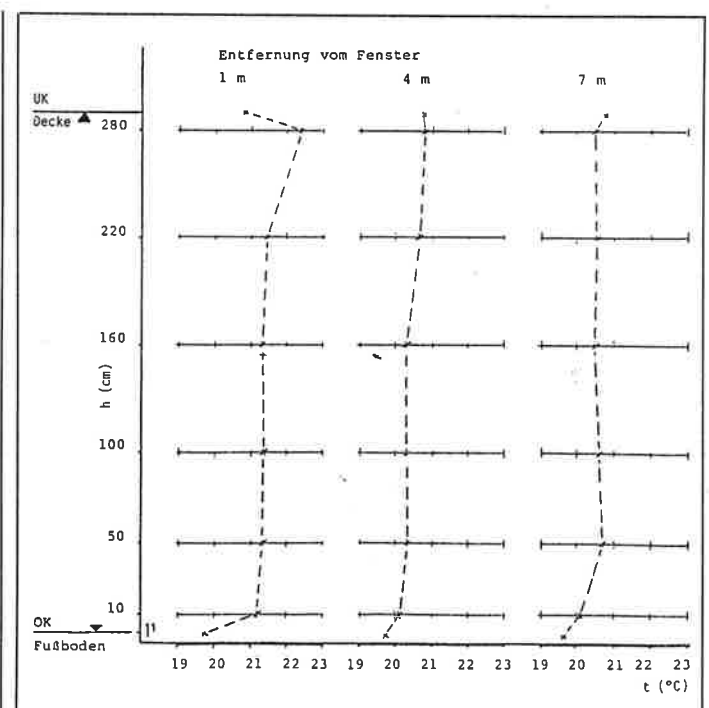


Bild 11: Vertikale Temperaturverteilung in der Meßebene C-C bei Zuluftvolumenstrom $\dot{V} = 1094 \text{ m}^3/\text{h}$

Temperaturdifferenz zwischen Zuluft und Raum und damit auch zwischen Kanälen und Fußboden kleiner wird.

Aus der Tabelle 1 sind die prozentualen Anteile an der Heizleistung zu ersehen, die dem Raum zugeführt werden. Es wird deutlich, daß die Heizleistung größenordnungsmäßig jeweils zur Hälfte über dem Fußboden und über die Zuluft in den Raum eintritt.

3.2 Luftströmung im Raum

Zur Beheizung eines Raumes muß raumerfüllende Strömung herrschen. Die dafür erforderliche Energie muß von den Wärmequellen und der Zuluft dem Raum zugeführt werden. Im vorliegenden Fall wird die Wärmeleistung jeweils zur Hälfte durch die Zuluft und durch den Fußboden gedeckt. Jedoch bringt die Zuluft die wesentlichen Raumströmungen zustande, da flächendeckende Anregung von Luftströmungen Schwierigkeiten bringt [2]. Eine beheizte Fußbodenfläche ist in dieser Beziehung durchaus einer ganzperforierten Klimadecke vergleichbar.

Die Bilder 12 bis 15 zeigen die Strömungsbilder in allen vier Schnittebenen (A, B, C und D) bei einer Zuluftmenge von $\dot{V} = 417 \text{ m}^3/\text{h}$. Aus dem Vergleich der Schnittebenen A und C wird deutlich, daß die raumerfüllende Strömung bei niedrigen Fenstertemperaturen, d.h. niedrigeren Außentemperaturen oder schlechteren Fensterqualitäten (Schnitt A), besser wird als bei den höheren Temperaturen der Fenster (Schnitt C-C), also besseren Fenstern. Dies hängt damit zusammen, daß die Ablenkung durch den kälteren, nach unten gerichteten konvektiven Luftstrom an den kälteren Fenstern eine bessere raumerfüllende Strömung zustande bringen kann. Bedingt ist dies dadurch, daß die Eindringtiefe eines Strahls, der senkrecht gegen die Decke gerichtet wird, nach den Gesetzen der Luftströmung im

Raum [5] nur 1 bis 1,5 mal Raumhöhe betragen kann, während ein horizontal eintretender Strahl eine Eindringtiefe von 3 bis 4,5 mal Raumhöhe

hat. Ein schräg eintretender Strahl liegt dazwischen, hat also einen größeren Wirkungsbereich als der senkrechte. Durch Einstellen an den Ein-

trittsgittern im Fußboden lassen sich wegen des dabei auftretenden Coanda-Effekts [5] die Verhältnisse nicht wesentlich verbessern; jedoch ist bei

Tabelle 1: Heizleistung des Prüfgerätes bei verschiedenen Zuluftvolumenströmen. Die Volumenströme sind auf die Luftleistung des Gerätes bezogen, nicht auf die Zuluft im Raum.

Bezeichnung	Stufe		
	1	2	3
Zuluftvolumenstrom am Gerät \dot{V} (m ³ /h)	278	557	1280
Heizleistung bei automatischer Temperaturregelung (Thermostat 22°C) \dot{Q} (kW)	2,47	2,30	2,39
Heizleistung (%)	100	100	100
Diese Heizleistung teilt sich wie folgt auf (Mittelwerte):			
- Mit Warmluft in den Raum (%)	35,66	46,15	39,30
- Mittelbar über Fußboden in den Raum (%)	42,00	36,55	39,20
- Verluste in der Zuluftleitung zwischen Gerät und Fußboden (%)	17,80	9,65	8,95
- Verluste in der Abluftleitung in Klimahalle und Keller (%)	4,54	7,65	12,55
- Verluste insgesamt (%) (Kellertemperatur $t_K = 18^\circ\text{C}$, Hallentemperatur $t_H = 13,5^\circ\text{C}$)	22,34	17,30	21,50

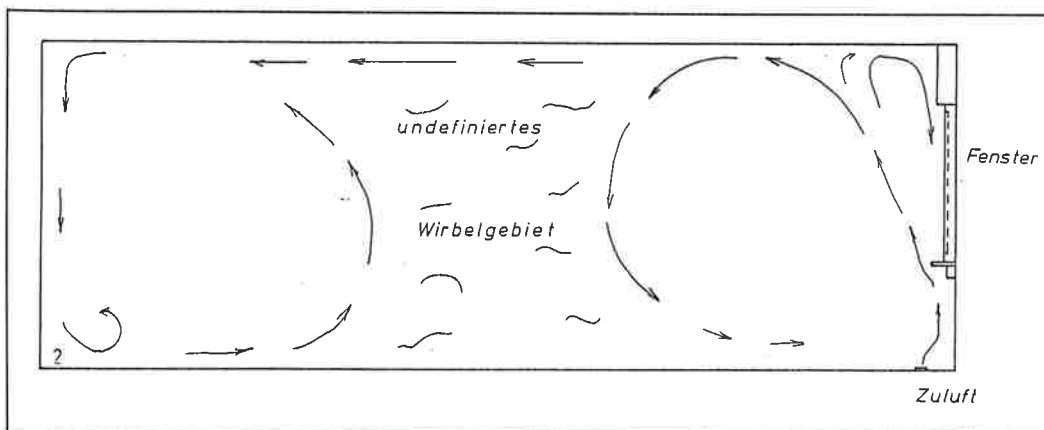


Bild 12: Luftströmung in der Meßebene A-A bei Zuluftvolumenstrom $\dot{V} = 417 \text{ m}^3/\text{h}$. Die Pfeile zeigen nur die Strömungsrichtung an, nicht deren Geschwindigkeit.

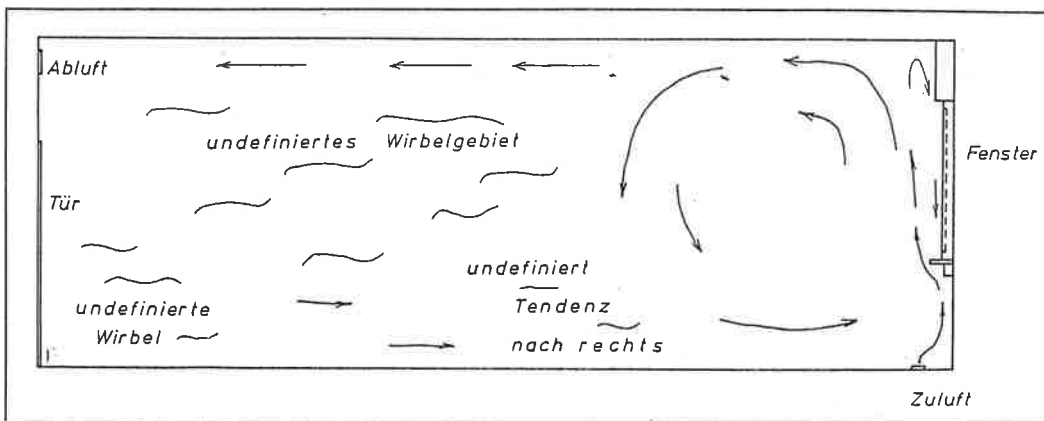


Bild 13: Luftströmung in der Meßebene B-B bei Zuluftvolumenstrom $\dot{V} = 417 \text{ m}^3/\text{h}$. Die Pfeile zeigen nur die Strömungsrichtung an, nicht deren Geschwindigkeit.

entsprechender Gestaltung der Fensterbänke eine gewünschte Ablenkung zwecks Erzielung größerer Eindringtiefe zu vermuten.

Aus den Bildern 16 bis 18 sind die zugehörigen Luftgeschwindigkeiten zu entnehmen.

4. Beurteilung der Luftströmung und der Temperaturverteilung im Raum

4.1 Luftströmung

Die durch die Anlage hervorgerufenen Raumströmungen sind bei entsprechender Auslegung und Gestaltung der Anlage in der Lage, ein beherrschbares Strömungs- und Temperaturverhalten im Raum auszulösen. Daß die Anlage teilweise ihre Wärme als Fußbodenheizung an den Raum abgibt, wirkt sich nicht nachteilig auf das Luftströmungsverhalten aus, da durch die von den Fenstern eintretende Zuluft der bei der reinen Fußbodenheizung bis zu einer Raumtiefe von ca. 3 m erheblich störende Einfluß der Fenster ausgeschaltet wird.

Wie aus den Geschwindigkeitsmessungen (Bilder 16 bis 18) und insbesondere aus den Strömungsbildern (Bilder 12 bis 15) hervorgeht, ist das untersuchte Klima-Zentralheizungssystem mit Mini-Luftleitungen geeignet, befriedigende Raumströmungsverhältnis-

se herzustellen, wenn die erforderliche Energie für die Herstellung raumerfüllender Strömung aufgebracht, d.h. der Mindestluftwechsel eingehalten wird. Das Energieangebot (der Luftwechsel) sollte jedoch auch nicht über einen Wert von ca. 5 bis 6 h⁻¹ angehoben werden, da sonst Schwierigkeiten, insbesondere Zugerscheinungen, nicht auszuschließen sind.

Der Prüfraum war mit Fenstern verschiedener Güte, d.h. unterschiedlicher Innentemperatur, ausgerüstet. Wie aus dem Vergleich, insbesondere der Strömungsbilder in den Schnitten A-A und C-C, hervorgeht, wird die Durchströmung in tieferen Räumen (Raumtiefe größer als ca. 2 mal Raumhöhe) durch den Einfluß schlechterer Fenster ver-

bessert. Ursächlich ist die größere Ablenkung des Zuluftstrahls in den Raum durch den an den Fenstern auftretenden, nach unten gerichteten Kaltluftstrom. Das Heizsystem ist also besonders geeignet, den Einfluß kälterer Fenster, z.B. Einzelfenster, zu kompensieren. Auf die Ursache dieser Erscheinung ist vorstehend bereits hingewiesen worden.

Der unterschiedliche Bodenbelag hatte keinen wesentlichen Einfluß auf die Raumströmung.

Im Verhältnis zu untersuchten Raumheizungen mit Radiatoren-, Fußboden- und Kachelofenheizung [1] liegt die untersuchte Anlage bezüglich der Qualität der Raumluftströmung zwischen der Radiatoren- und der Kachelofenheizung, wenn bei letzterer quali-

tativ hochstehende Fenster verwendet werden. Hier liegt ein wesentlicher Unterschied zwischen den Systemen, bedingt dadurch, daß Kachelöfen nicht vor Fenstern angeordnet werden können.

Das geprüfte Klima-Zentralheizungssystem mit Mini-Luftkanälen und Anordnung der Zuluftöffnungen vor den Fenstern ist einer üblichen Fußbodenheizung bezüglich der Luftströmung überlegen.

4.2 Temperaturverteilung im Raum

Wie aus den Bildern 6 bis 8 zu ersehen ist, treten wesentliche horizontale Temperaturschwankungen im Raum in den einzelnen Höhenprofilen nicht auf, sie sind kleiner als 1 K. Die vertikalen Temperaturschwankungen über die Höhe betragen weniger als 2 K (Bilder 9 bis 11). Damit entspricht auch in vertikaler Verteilung bei gleichen Verhältnissen das System annähernd der Radiatorenheizung und übertrifft die Fußbodenheizung geringfügig. Letztere ist jedoch im Fensterbereich deutlich ungünstiger. Die Kachelofenheizung ist in diesen Bereichen unvergleichbar, weil die Fenstereinflüsse hier besonders groß sind. Bei Fenstern geringer Wärmedämmung ist das System der Kachelofenheizung in der Temperaturverteilung überlegen.

Bei dem untersuchten System wird die Wärme dem Raum jeweils ca. zur Hälfte über die Zuluft und zur Hälfte über den Fußboden zugeführt. Dennoch treten die bei der Fußbodenheizung früher festgestellten nachteiligen Kaltluftströmungen von den Fenstern mit entsprechenden Temperaturdifferenzen bis ca. 3 m Raumtiefe vor den Fenstern hier nicht auf. Die auslösenden Kaltluftströme von den Fenstern werden durch die Zuluft vor den Fenstern kompensiert.

Wesentliche Unterschiede der Temperaturen des Fußbodens über und neben den Luft-

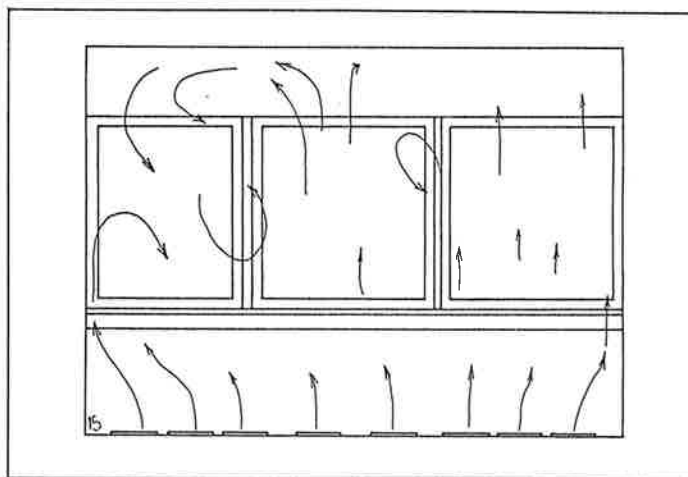


Bild 15: Luftströmung in der Meßebene D-D bei Zuluftvolumenstrom $\dot{V} = 417 \text{ m}^3/\text{h}$. Die Pfeile zeigen nur die Strömungsrichtung an, nicht deren Geschwindigkeit.

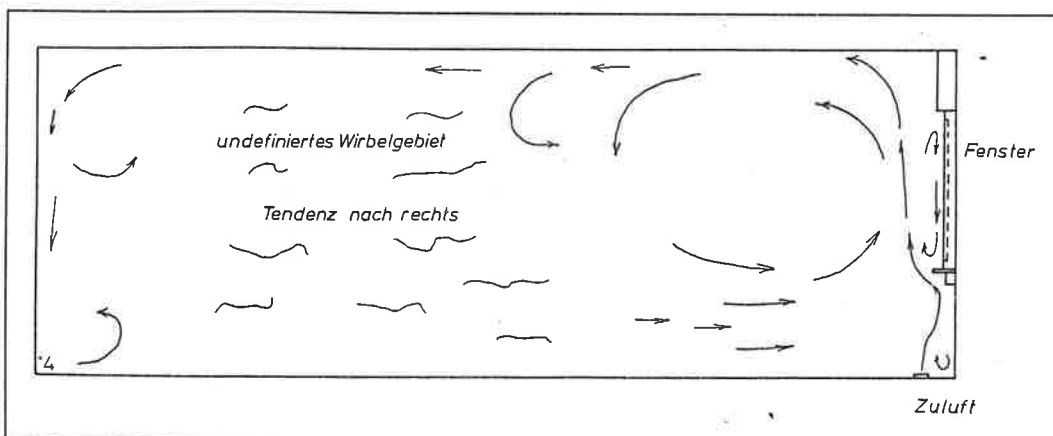


Bild 14: Luftströmung in der Meßebene C-C bei Zuluftvolumenstrom $\dot{V} = 417 \text{ m}^3/\text{h}$. Die Pfeile zeigen nur die Strömungsrichtung an, nicht deren Geschwindigkeit.

kanälen traten ebensowenig auf wie zwischen den verschiedenen Fußbodenbelägen.

Die Fußbodentemperatur lag höher als bei einer Radiatorheizung, aber bedeutend niedriger als bei der Fußbodenheizung. Diese Temperaturdifferenzen sind von wärmephysiologischer Bedeutung. Für mit dem untersuchten System beheizte Räume über kälteren Räumen, z.B. Kellerräumen, ist die hier gegenüber der Radiatorheizung höhere Fußbodentemperatur wärmephysiologisch von Vorteil.

5. Zusammenfassung

Das untersuchte Klima-Zentralheizungssystem mit Mini-Luftleitungen ist zur Raumheizung geeignet und entspricht in seiner Wirkung in etwa einer Radiatorenheizung. Es ist einer Fußbodenheizung und, bei schlechten Fenstern, einer Kachelofenheizung eindeutig überlegen. Das System ist geeignet, schlechtere (kältere) Fensterflächen zu kompensieren und auch in unmittelbarer Fensternähe behagliche thermische Verhältnisse herzustellen.

Die vorstehend aufgeführten Ergebnisse sind im einzelnen mit denen in der Vorveröffentlichung [1] vergleichbar und sollten im Bedarfsfall auch verglichen werden.

Schrifttum

- [1] Katz, Ph.: Temperaturverhältnisse und Luftströmungen in Räumen mit Radiatoren-, Fußboden- und Kachelofenheizung unter Berücksichtigung des Fenstereinflusses. IKZ (1984) Nr. 17, S. 70-76.
- [2] Katz, Ph.: Lehrbuch der Klimatechnik, Bd. 3 Abschnitt 6, Luftein- und -auslässe, Klimadecken und Klimaleuchten. 2. Aufl. 1982, Verlag C.F. Müller.
- [3] Katz, Ph.: Forschungsbericht Nr. 8114116, Unter-

suchung eines Klima-Zentralheizungs-Systems mit Mini-Luftleitungen unter Berücksichtigung der Fenster-Einflüsse, Ermittlung der Luftströmungsverhältnisse in Räumen bei Anordnung der Zuluftöffnungen unter den Fenstern, Feststellung der Temperatur-

verteilung im Raum bei gleichen Verhältnissen. Institut für Klimatechnik und Umweltschutz Gießen, 1985.

- [4] Katz, Ph.: Forschungsbericht Nr. 8114117, Untersuchung des Einflusses erwärmter Fußbodenkanäle auf die Behaglichkeit des

Raumes - wärmephysiologische Untersuchung. Institut für Klimatechnik und Umweltschutz Gießen, 1986.

- [5] Katz, Ph.: Lehrbuch der Klimatechnik Bd. 1, Abschn. 6, Luftströmungen im Raum, 3. Aufl. 1982, Verlag C.F. Müller. □

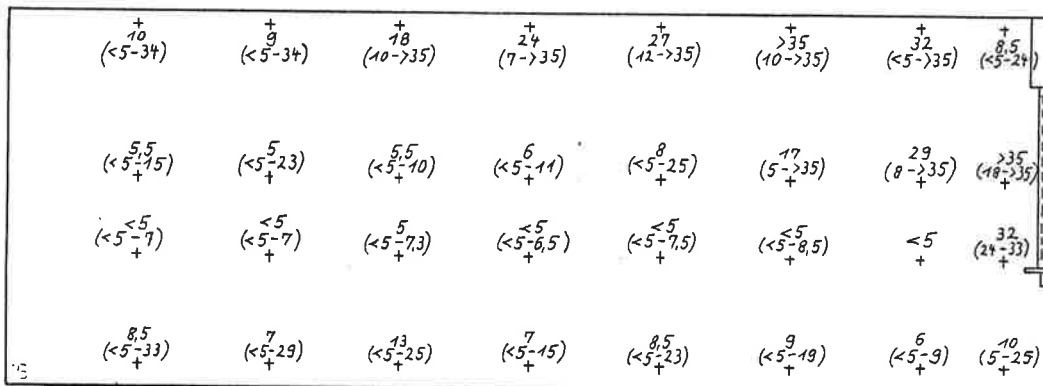


Bild 16: Luftgeschwindigkeiten in cm/s in der Meßebebene A-A bei Zuluftvolumenstrom $\dot{V} = 417 \text{ m}^3/\text{h}$. Die einzelstehenden Zahlen geben die häufigste, die Klammerwerte die niedrigste und die höchste Geschwindigkeit an jeder Meßstelle (+) an.

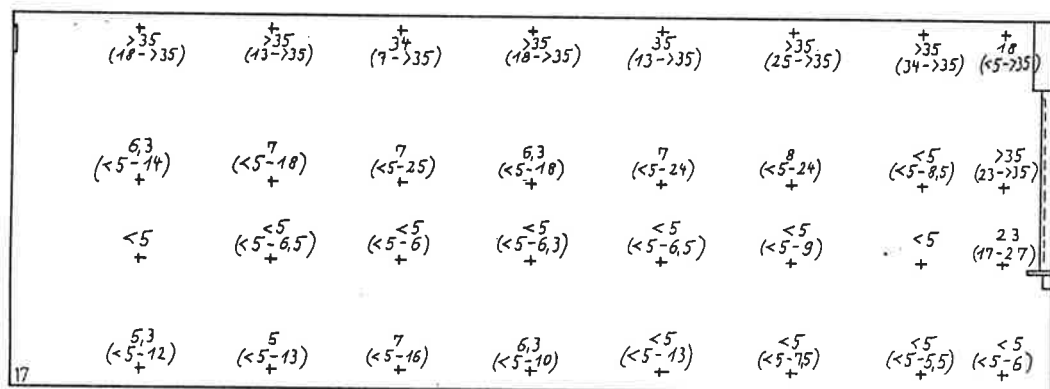


Bild 17: Luftgeschwindigkeiten in cm/s in der Meßebebene B-B bei Zuluftvolumenstrom $\dot{V} = 417 \text{ m}^3/\text{h}$. Die einzelstehenden Zahlen geben die häufigste, die Klammerwerte die niedrigste und die höchste Geschwindigkeit an jeder Meßstelle (+) an.

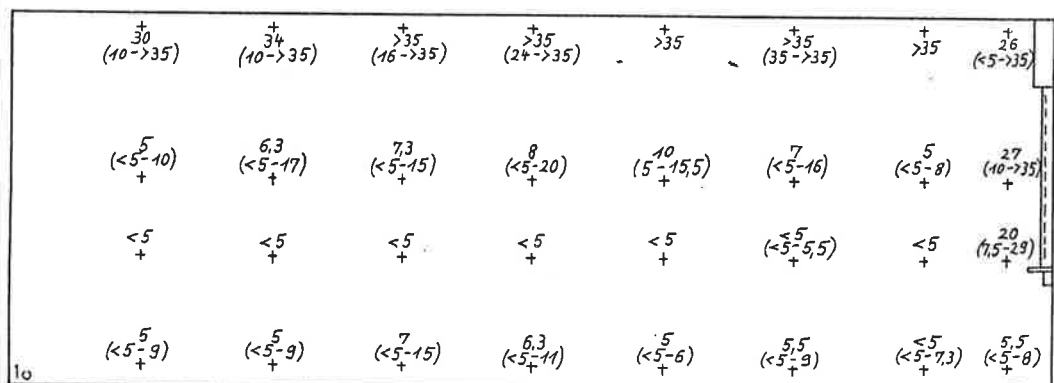


Bild 18: Luftgeschwindigkeiten in cm/s in der Meßebebene C-C bei Zuluftvolumenstrom $\dot{V} = 417 \text{ m}^3/\text{h}$. Die einzelstehenden Zahlen geben die häufigste, die Klammerwerte die niedrigste und die höchste Geschwindigkeit an jeder Meßstelle (+) an.