

## WÄRMERÜCKGEWINNER IN RAUMLUFTTECHNISCHEN ANLAGEN

## Heat Recovery Devices in Ventilation Systems

Rüdiger Külpmann  
Technische Universität Berlin  
Hermann-Rietschel-Institut für Heizungs- und Klimatechnik  
gf. Direktor: Prof. Dr.-Ing. Horst Esdorn

Abstract The increasing number of heat recovery devices in ventilation systems for residential buildings cause the necessity of a standard test procedure.

In this paper the main examination criteria are stated. The test facilities to determinate the efficiencies and the air leakage of heat recovery devices are specified. The used test procedure is discribed.

The results from different heat recovery units indicate the suitability of the developed test equipment.

## 1. Einleitung

Mit Hilfe von Raumlufttechnischen Anlagen sind die Möglichkeiten gegeben, den Luftwechsel in Gebäuden definiert auf das hygienisch erforderliche Mindestmaß zu beschränken und durch Energierückgewinnung aus der Abluft die Lüftungswärmeverluste zu minimieren. Es ist zu erwarten, daß zukünftig eine Vielzahl von Wärmerückgewinnungsgeräten auf dem Markt angeboten wird.

Damit ergibt sich die Notwendigkeit, durch einheitliche Beurteilungsbedingungen, Wärmerückgewinner in allen betriebswesentlichen Eigenschaften vergleichbar zu machen.

In diesem Bericht werden die bisherigen Ergebnisse

eines Forschungsvorhabens mitgeteilt, dessen Ziel die Entwicklung eines Normprüfverfahrens für Wärmerückgewinner im Leistungsbereich der Wohnungslüftung ist.

Dazu war eine Versuchseinrichtung zu konzipieren, zu bauen und zu erproben. Die Prüfanlage sollte es ermöglichen, unabhängig von äußeren Witterungsbedingungen, für die Abluftseite alle im Bereich der Wohnungslüftung interessierenden Luftzustände und für die Außenluftseite alle in üblichen Regionen der Bundesrepublik Deutschland auftretenden Außenluftzustände nachzubilden. Das Prüfverfahren und die Prüfseinrichtung sollten an einer Reihe unterschiedlicher Typen von Wärmerückgewinnern getestet werden.

## 2. Untersuchungsmethoden

An Hand der in Bild 1 aufgeführten Beurteilungskriterien wird nachstehend das entwickelte Prüfverfahren dargestellt.

### 2.1 Beschreibung des Prüflings

In der Beschreibung des Prüflings müssen neben der Klassifikation (VDI 2071 Blatt 1) auch konstruktive Angaben enthalten sein.

Die wesentlichen sind:

Abmessungen, Gewichte, Werkstoffe des Prüflings, ggf. Zusammensetzung und Menge eines Umlaufmediums, Einbauvorschriften, Versorgungs- und Entsorgungsanschlüsse, Art und Leistungsaufnahme von Hilfseinrichtungen.

### 2.2 Konstruktive Beurteilung des Prüflings

Die konstruktive Beurteilung des Prüflings ist erforderlich bezüglich seines Verhaltens bei extremen Druck- und Temperaturdifferenzen zwischen den Luftströmen.

Das Verhalten unter diesen Extremzuständen wird auch experimentell überprüft. Diese Prüfung kann jedoch keine Aussage über das Langzeitverhalten und über eventuelle Schwachpunkte

in bezug auf mechanische Empfindlichkeit

### 2.3 Leistungskennzahlen

Eine getrennte Ermittlung der Leistungsbilanz und latenter Energieübertragung Rückwärmzahl und Rückfeuchtzahl gemäß den folgenden beschriebenen Versuchen

In Bild 2 ist ein Fließschema der Anordnung und die Auslegung einer von korrespondierenden Außenluft im Bereich der Wohnungslüftung zu Volumenstrom von 300 bis 1000  $\text{m}^3/\text{h}$  bei extremen Winterzuständen ( $t_{21} = -10^\circ\text{C}$ ) bis zu extremen Sommerzuständen alle Zustände einstellbar. Abluft ristische Zustandsbereiche für die Räume ( $t_{11} = 18 - 26^\circ\text{C}$ ;  $x_{11} = 0 - 100\text{ g/m}^3$ ) werden.

Die Funktion der Anlage sei zum "Winterzustand" erläutert:  
Über den kontinuierlich arbeitenden feuchter D bzw. dessen Bypass die Kühlstufen C3, C2 und CT2 über einen Kaltwassersatz verfügt Lufttemperaturen kleiner  $8^\circ\text{C}$  über einen Solekühlkreislauf lator V2 und den Strömungsgenerator in den Meßstreckenberei

Zur Bestimmung des Feuchtegehalts und über das Meßgerät sich die Volumenstrommessung ( $t_{21}$ ) an. Nach der Beleuchtung (p21) tritt der Außenluftströmung

, dessen Ziel die Ent-  
r Wärmerückgewinner im  
ist.

konzipieren, zu bauen  
te es ermöglichen, un-  
gungen, für die Abluft-  
ftung interessierenden  
ite alle in üblichen  
and auftretenden Außen-  
erfahren und die Prüf-  
terschiedlicher Typen  
n.

urteilungskriterien  
verfahren dargestellt.

en neben der Klassi-  
struktive Angaben ent-

Prüflings, ggf. Zusam-  
ms, Einbauvorschriften,  
, Art und Leistungs-

ings

ngs ist erforderlich  
en Druck- und Tempe-  
nen.

den wird auch experi-  
edoch keine Aussage  
ntuelle Schwachpunkte

in bezug auf mechanische Empfindlichkeit liefern.

### 2.3 Leistungskennzahlen

Eine getrennte Ermittlung der Leistungskennzahlen nach sen-  
sibler und latenter Energieübertragung, dargestellt als  
Rückwärmzahl und Rückfeuchtzahl gemäß Bild 1, ist mit dem  
im folgenden beschriebenen Versuchsaufbau möglich.

In Bild 2 ist ein Fließschema der Prüfanlage dargestellt.  
Die Anordnung und die Auslegung erlauben die Einstellung  
von korrespondierenden Außenluft- und Abluftzuständen, die  
im Bereich der Wohnungslüftung zu erwarten sind. Für einen  
Volumenstrom von 300 bis 1000  $m^3/h$  sind Außenluftseitig von  
extremen Winterzuständen ( $t_{21} = -15^\circ C$ ;  $x_{21} = 0,8 \text{ g/kg}$ )  
bis zu extremen Sommerzuständen ( $t_{21} = 32^\circ C$ ;  $x_{21} = 12 \text{ g/kg}$ )  
alle Zustände einstellbar. Abluftseitig können charakte-  
ristische Zustandsbereiche für den Wohnbereich und für Naß-  
räume ( $t_{11} = 18 - 26^\circ C$ ;  $x_{11} = 3 - 13 \text{ g/kg}$ ) eingestellt  
werden.

Die Funktion der Anlage sei zunächst für den Prüffall  
"Winterzustand" erläutert:

Über den kontinuierlich arbeitenden Adsorptions-Luftent-  
feuchter D bzw. dessen Bypass B2 durchströmt die Außenluft  
die Kühlstufen C3, C2 und CT2. Die Kühler C2 und C3 werden  
über einen Kaltwassersatz versorgt, der Kühler CT2, der für  
Lufttemperaturen kleiner  $8^\circ C$  die weitere Kühlung übernimmt,  
über einen Solekühlkreislauf. Über den nachfolgenden Venti-  
lator V2 und den Strömungsgleichrichter G2 tritt die Außen-  
luft in den Meßstreckenbereich AU (Außenluft) ein.

Zur Bestimmung des Feuchtegehaltes wird ein Teilstrom abge-  
zogen und über das Meßgerät (X21) geführt. Daran schließen  
sich die Volumenstrommessung (V21) sowie die Temperaturmes-  
sung ( $t_{21}$ ) an. Nach der Bestimmung des statischen Druckes  
(p21) tritt der Außenluftstrom in den WRG-Prüfling ein.

Auf der Abluftseite werden für den "Winterzustand" der Luft-  
erhitzer H1 sowie die Dampfbefeuchter M10 und M11 benötigt.  
Die Meßgrößenbestimmung erfolgt in gleicher Weise wie bei  
der Außenluftseite.

Die aus dem WRG-Prüfling austretenden Luftströme werden nach der Messung der statischen Drücke (P22)/(P12), der Temperaturen (t22)/(t12), der Volumenströme (V22)/(V12) und der Feuchtegehalte (x22)/(x12) gemischt und erneut dem Kreislauf zugeführt.

Zur Einstellung des gewünschten Differenzdruckes zwischen der Außenluft- und Abluftseite dienen die Drosseln D1 und D2. Über den Ventilator V4 und die Drosselklappen D3 bis D6 wird das Druckniveau gegenüber der Umgebung aufgeprägt.

Für die Einstellung von "Sommerzuständen" werden Außenluftseitig der Luftheritzer H2 und abluftseitig der Wasserkühler C1 eingesetzt. Eine Einstellung von niedrigeren Feuchtegehalten auf der Abluftseite gegenüber der Außenluftseite wird durch Umschaltung des Luftentfeuchters D zur Abluftseite und Betrieb des Dampfbefeuchters M1 auf der Außenluftseite ermöglicht.

Auf die Meßgrößen sei hier nur kurz eingegangen:  
 Die Temperaturen in den Luftkanälen werden, wie in Bild 3 dargestellt, in 4 für alle Wärmerückgewinner-Prüflinge gleichen Temperaturmeßebenen erfaßt. Diese bestehen jeweils aus einem Gitter von 39 in Reihe geschalteten Thermoelementverbindungsstellen (Fe-CuNi) mit einer mittleren Gitterteilung von 2 cm. Zur Erzielung eines praktisch isothermen Strömungsprofils vor den Meßebenen dienen Wirbeleinbauten an den Wärmeaustauscher-Austrittsseiten. Eintrittsseitig wird durch die jeweilige Durchflußmeßeinrichtung vor den Temperaturmeßebenen eine ausreichende Durchmischung der Luft erreicht.

Der Feuchtegehalt wird nach der psychrometrischen Methode gemessen. In Bild 4 ist der Aufbau eines Psychrometers skizziert. Die Temperaturmessungen erfolgen ebenfalls mit Thermoelementen.

Als besondere Merkmale sind zu nennen:  
 Kontinuierliche Befeuchtung des Bauteils  
 Feuchtkugeltemperaturmessung, Mindesttemperatur  
 einflussen durch Führung der Thermometer  
 Schutzrohrstrecke für die Feuchtkugel  
 Wärmeleitungssperren und Strahlung  
 Feucht- und Trockenkugelmeßbereich  
 mung der Meßluft vor Eintritt in den  
 sinken der Feuchtkugeltemperatur  
 punkt zu verhindern.

Für die Erfassung der Luftmasse  
Prüfling werden Düsen nach ISA  
hältnis  $d/D = 0,6$  verwendet. DIN  
1952 (1982).

Als Druckmeßaufnehmer dienen T  
logem elektrischen Ausgangssi

Der Prüfstand ist mit einer Prüfungsanlage ausgestattet. Sämtliche Werte werden in einem 12 Bit A/D-Wandler weiteren Verarbeitung der Zentraleinheit zugeführt.

Die durchgeführten Versuchs  
verschiedene Außenluftzustä  
 $x_{21} = 0,8 \text{ g/kg}$  und  $t_{21} = 32$

Zur Bestimmung der Rückwärtsergebnisse der Vorversuch von  $t_{21} = 0^{\circ}\text{C}/x_{21} = 3,09$

"Winterzustand" der Luft-  
ter M10 und M11 benötigt.  
gleicher Weise wie bei

den Luftströme werden nach  
(P22)/(P12), der Tempera-  
ne (V22)/(V12) und der  
c und erneut dem Kreis-

fferenzdruckes zwischen  
en die Drosseln D1 und  
Drosselklappen D3 bis D6  
Umgebung aufgeprägt.

änden" werden außenluft-  
ftseitig der Wasserkühler  
niedrigeren Feuchtege-  
r der Außenluftseite wird  
ers D zur Abluftseite  
auf der Außenluftseite

eingegangen:

werden, wie in Bild 3  
gewinner-Prüflinge

Diese bestehen jeweils  
schalteten Thermoelement-  
er mittleren Gittertei-  
raktisch isothermen  
ielen Wirbeleinbauten  
ten. Eintrittsseitig  
Beinrichtung vor den  
e Durchmischung der Luft

Der Feuchtegehalt wird nach der psychrometrischen Methode  
gemessen. In Bild 4 ist der Aufbau des hierfür entwickelten  
Psychrometers skizziert. Die Temperaturmessungen (psychro-  
metrische Temperaturdifferenz und Feuchtkugeltemperatur)  
erfolgen ebenfalls mit Thermoelementen.

Als besondere Merkmale sind zu nennen:

Kontinuierliche Befeuchtung des Baumwollstrumpfes für die  
Feuchtkugeltemperaturmessung, Minimierung von Fremdwärme-  
einflüssen durch Führung der Thermodrähte in Luftrichtung,  
Schutzrohrstrecke für die Feuchtkugeltemperatur-Meßleitung,  
Wärmeleitungssperren und Strahlungsschutzrohr über dem  
Feucht- und Trockenkugelmeßbereich, gegebenenfalls Vorwär-  
mung der Meßluft vor Eintritt in den Meßfühler, um ein Ab-  
sinken der Feuchtkugeltemperatur unter den Gefrier-  
punkt zu verhindern.

Für die Erfassung der Luftmassenströme vor und nach dem  
Prüfling werden Düsen nach ISA 1932 mit einem Öffnungsver-  
hältnis  $d/D = 0,6$  verwendet. Die Auswertung erfolgt gemäß  
DIN 1952 (1982).

Als Druckmeßaufnehmer dienen Tauchglockenmanometer mit ana-  
logem elektrischen Ausgangssignal.

Der Prüfstand ist mit einer Datenerfassungs- und verarbei-  
tungsanlage ausgestattet. Sämtliche analogen Eingangssignale  
werden in einem 12 Bit A/D-Wandler digitalisiert und zur  
weiteren Verarbeitung der Zentralrecheneinheit zugeführt.

Die durchgeführten Versuchsreihen umfaßten je Prüfling 5  
verschiedene Außenluftzustände zwischen  $t_{21} = -15^{\circ}\text{C}$ /  
 $x_{21} = 0,8 \text{ g/kg}$  und  $t_{21} = 32^{\circ}\text{C}$ / $x_{21} = 12 \text{ g/kg}$ .

Zur Bestimmung der Rückwärm- und Rückfeuchtzahlen wurde nach  
dem Ergebnis der Vorversuche ein mittlerer Betriebszustand  
von  $t_{21} = 0^{\circ}\text{C}$ / $x_{21} = 3,0 \text{ g/kg}$  für die Außenluftseite gewählt,

da sich in diesem Betriebszustand die Meß- und Regelgenauigkeit des Prüfstandes als am günstigsten herausgestellt hat.

Auf der Abluftseite wurde zur Bestimmung der Rückwärmzahl der Feuchtegehalt der Abluft jeweils so gefahren, daß der Taupunkt unterhalb der Eintrittstemperatur für die Außenluft lag. Die Ablufttemperatur wurde bei allen Versuchen auf 22 °C gehalten.

Versuche zur Bestimmung der Rückfeuchtzahl wurden zusätzlich mit einem abluftseitigen Feuchtegehalt von  $x_{11} = 8 \text{ g/kg}$  durchgeführt. Als Bezugswerte der Massenströme gelten der Außenluftaustrittsstrom ( $m_{22}$ ) und der Ablufteintrittsstrom ( $m_{11}$ ), da diese Größen auch den Sollwerten der RLT-Anlage entsprechen. Bei den Prüfungen wurden diese  $\pm 20\%$  um die Auslegungsmassenströme variiert. Die statische Druckdifferenz  $p_{22} - p_{11}$  zwischen der Außen- und Abluftseite wurde im Bereich von 0 ... 20 Pa eingestellt.

#### 2.4 Leckluftströme

Infolge von Undichtheiten kann sowohl ein Luftaustausch zwischen den Luftwegen eines WRG und der Umgebung ("externer Leckluftstrom") als auch zwischen den Luftwegen ("interner Leckluftstrom") auftreten.

Die Leistungskennzahlen können hierdurch erheblich beeinflußt werden. Die Änderung der Rückwärmzahl  $\phi_2$  mit externem Leckluftstrom zu der Rückwärmzahl  $\phi_{20}$  ohne Leckluft zeigt beispielhaft die untere Darstellung in Bild 5. Ein Übertreten von Abluft zur Außenluftseite wirkt sich ähnlich aus. Durch eine Druckdifferenz  $p_{22} - p_{11} > 0$  kann dieser interne Leckluftstrom jedoch von der Außenluftseite zur Abluftseite gerichtet werden, so daß eine Fehlmessung der Leistungskennzahlen ausgeschlossen ist.

Im Bild 5 ist der Versuchsaufbau zur Ermittlung der möglichen Leckluftströme skizziert. Der externe Leckluftstrom  $m_{\text{Ex}}$  wird an

der Durchflußmeßeinrichtung (V) bei Druckdifferenzen zur Umgebung gemeinsamen Wärmerückgewinner. Bei der Außenluftstromes  $m_1$  wird die Abluftseite positiven Differenzdruck zur Umgebung  $p_2 - p_0 = 0$  hält und dadurch tene Luft über die Durchflußmeßst

Unter Beachtung der jeweiligen  $\Delta p_1$  wurden als maximale Druckdifferenzen externen Leckluftstromes  $\Delta p_{1/2} = \Delta p_1 = 300 \text{ Pa}$  bei der Feststellung

#### 2.5 Mitführungsluftstrom

Zusätzlich zum externen und zum von der Druckdifferenz zwischen bei regenerativen Wärmerückgewinnern schlagung der Austauschflächen Luftaustausch zwischen den Luftrassen verbleibende Luft (hier: u.U. durch spezielle Spülleinrichtungen). Diese Übertragungsgröße muß ermittelt werden. Wenn keine wird der Mitführungsluftstrom bisher "Mitrotationsluft") am Hohlraumvolumens und entsprechend Austauschern mit Spülleinrichtungen z.B. mit Impfmethoden ermittelt

Daneben kann bei den genannten von Luftbeimengungen (Partikel über Haftvorgänge an den Austrittsstellen) diese von denen durch Mitführungsluftstromen müssen bei der Messung der Austrittsstellen wendet werden, bei denen H

ie Meß- und Regelgenauigsten herausgestellt

mmung der Rückwärmzahl so gefahren, daß der Temperatur für die Außen- e bei allen Versuchen

htzahl wurden zusätz- egehalt von  $x_{11} = 8 \text{ g/kg}$  ssenströme gelten der r Abluftteintrittsstrom werten der RLT-Anlage n diese  $\pm 20\%$  um die statische Druckdiffe- und Abluftseite wurde im

l ein Luftaustausch der Umgebung ("externer Luftwegen ("interner

rch erheblich beein- rmzahl  $\phi_2$  mit externem ohne Leckluft zeigt n Bild 5. Ein Übertreten sich ähnlich aus. Durch

n dieser interne Leck- te zur Abluftseite ge- ng der Leistungskenn-

Ermittlung der möglichen Leckluftstrom  $m_{Ex}$  wird an

der Durchflußmeßeinrichtung (V) bei positiven und negativen Druckdifferenzen zur Umgebung gemessen. Er gilt für den gesamten Wärmerückgewinner. Bei der Messung des internen Leckluftstromes  $m_I$  wird die Abluftseite des Prüflings auf einen positiven Differenzdruck zur Umgebung gebracht, während der außenluftseitig angeordnete Ventilator (V2) einen Differenzdruck  $p_2 - p_0 = 0$  hält und dadurch nur die intern übergetretene Luft über die Durchflußmeßstelle (V) absaugt.

Unter Beachtung der jeweiligen herstellerseitigen Grenzwerte wurden als maximale Druckdifferenzen für die Messung des externen Leckluftstromes  $\Delta p_{1/2} = \pm 500 \text{ Pa}$  aufgeprägt sowie  $\Delta p_1 = 300 \text{ Pa}$  bei der Feststellung des internen Leckluftstromes.

## 2.5 Mitführungsluftstrom

Zusätzlich zum externen und zum internen Leckluftstrom, der von der Druckdifferenz zwischen den Luftwegen abhängt, tritt bei regenerativen Wärmerückgewinnern mit wechselnder Beaufschlagung der Austauschflächen durch Außen- und Abluft ein Luftaustausch zwischen den Luftwegen durch in der Speichermasse verbleibende Luft (hier: "Mitführungsluft") auf, der u.U. durch spezielle Spüleinrichtungen reduziert werden kann. Diese Übertragungsgröße muß unter normalen Betriebsbedingungen ermittelt werden. Wenn keine Spüleinrichtungen vorhanden sind, wird der Mitführungsluftstrom (bei rotierenden Austauschern bisher "Mitrotationsluft") am genauesten durch Vermessen des Hohlraumvolumens und entsprechende Umrechnung bestimmt. Bei Austauschern mit Spüleinrichtung kann er nur experimentell, z.B. mit Impfmethoden ermittelt werden.

Daneben kann bei den genannten WRG-Typen auch ein Austausch von Luftbeimengungen (Partikel, Keime, Geruchsstoffe u.a.m.) über Haftvorgänge an den Austauschflächen erfolgen. Wenn diese von denen durch Mitführungsluft getrennt werden sollen, müssen bei der Messung der Mitführungsluft Impfstoffe verwendet werden, bei denen Haftvorgänge (Anlagerung, Adsorption

u.ä.) ausgeschlossen werden können.

Da bisher in der Praxis zwischen den beiden genannten Übertragungsmechanismen nicht unterschieden wird, wurden hierfür bei der bisherigen Entwicklung des Prüfverfahrens Meßmethoden angewendet, bei denen weniger der innere Übertragungsmechanismus im Vordergrund steht als vielmehr die praktische Bedeutung der Impfstoffe. Die Prüfungen wurden zum einen mit Staubpartikeln und zum anderen mit Bakterien durchgeführt.

Bei der Partikelmessung wurden die Partikelkonzentration und die Korngrößenverteilung in beiden Luftströmen mit einem in fünf Kornfraktionen unterteilenden Partikelzähler bestimmt. Die Aufgabe der Partikel erfolgt durch Zerstäubung einer Suspension auf der Abluftseite in ausreichender Entfernung vor der Meßstelle. Zur Erhöhung der Meßgenauigkeit wird dabei der Außenluftstrom über ein Schwebstofffilter (Klasse S) auf geringstmögliche Partikelkonzentration gebracht, so daß die am Austritt des Außenluftstromes gemessenen Konzentrationen praktisch ausschließlich auf die genannten internen Übertragungsmechanismen zurückgeführt werden können. Bei der Messung wird die Außenluftseite des Austauschers auf der Austrittsseite auf leichtem Überdruck gegenüber dem Eintritt der Abluftseite gehalten, so daß eine Beeinflussung des Meßergebnisses durch internen Leckluftstrom ausgeschlossen ist.

In analoger Weise wurden Messungen mit Bakterien durchgeführt. Eine mit Bakterienkulturen beladene Suspension wurde über einen Zerstäuber in den Abluftweg eingesprührt. Die Messung erfolgte mit 4 Anderson-Samplern, bei denen die Abscheidung in sechs unterschiedlichen Fraktionen erfolgt. Die Auswertung wurde durch Bebrüten der Proben und Auszählen der Kulturen vorgenommen.

Als Übertragungsrate ist das Verhältnis definiert: Differenz

der Partikelzahl bzw. Anzahl der kollektiven Einheiten zwischen der Außenluftseite zu der auf der Abluftseite

Eine weitere Beeinflussung der Rückwärmestrom über die Umschließungsf lämmung durchgangswiderstand der Wärme von  $R = 1,5 \text{ m}^2 \text{K/W}$  wird dieser jedoch

## 2.6 Druckverluste

Die luftseitigen Druckdifferenzen an den Austrittsseiten der Wärmerückgewinnungsanlagen über den Umfang gleichverteilten statischen Druck erfaßt und über Transistorische Ausgangssignale umgesetzt für mindestens drei verschiedene Temperatur von  $20^\circ\text{C}$  bestimmt. Die Druckverluste bei WRG mit Übereinstimmung mit den Richtlinien der VDI/VDE 3512

## 2.7 Hilfsenergien

Die Leistungsaufnahme von Hilfsenergien für die Pumpen und Antriebe für rotierende Maschinen wurde unter praktischen Betriebsbedingungen bestimmt.

2.8 Kondensations- und Einfrieren

In den Untersuchungen zum Verdampfen und Vereisung wurde mehreren Stufen bis  $-15^\circ\text{C}$  aufgetragen. Der Zustand  $t_{11} = 22^\circ\text{C}$  und  $x_{11} = 8$  g. Die Messungen erfolgten jeweils auf einer Frostschutzeinrichtung.

Zur Kennzeichnung des Einfrierens des abluftseitigen Druckverlustes von 5 h bei konstant gehaltenem

der Partikelzahl bzw. Anzahl der koloniebildenden Bakterieneinheiten zwischen der Außenluftaustritts- und Eintrittsseite zu der auf der Abluftteintrittsseite.

Eine weitere Beeinflussung der Rückwärmzahl wird durch den Wärmestrom über die Umschließungsflächen bewirkt. Bei einem Wärmedurchgangswiderstand der Wärmedämmung des Prüflings von  $R = 1,5 \text{ m}^2\text{K/W}$  wird dieser jedoch ausreichend begrenzt.

#### 2.6 Druckverluste

Die luftseitigen Druckdifferenzen wurden an den Ein- und Austrittsseiten der Wärmerückgewinner-Prüflinge mit je 4 über den Umfang gleichverteilten Bohrungen für den statischen Druck erfaßt und über Tauchglockenmanometer in elektrische Ausgangssignale umgesetzt. Die Druckverluste werden für mindestens drei verschiedene Luftmassenströme bei einer Temperatur von  $20^\circ\text{C}$  bestimmt. Die Bestimmung der wasserseitigen Druckverluste bei WRG mit Umlaufwasser erfolgt gemäß den Richtlinien der VDI/VDE 3512 / Blatt 3.

#### 2.7 Hilfsenergien

Die Leistungsaufnahme von Hilfseinrichtungen (z.B. Umlözpumpen und Antriebe für rotierende Speichermassen u.a.m.) wurde unter praktischen Betriebsbedingungen gemessen.

#### 2.8 Kondensations- und Einfrierverhalten

In den Untersuchungen zum Verhalten der Prüflinge bei Kondensation und Vereisung wurde die Außenlufttemperatur in mehreren Stufen bis  $-15^\circ\text{C}$  abgesenkt, während der Abluftzustand  $t_{11} = 22^\circ\text{C}$  /  $x_{11} = 8 \text{ g/kg}$  konstant gehalten wurde. Die Messungen erfolgten jeweils mit den zur Prüfung beigestellten Frostschutzeinrichtungen.

Zur Kennzeichnung des Einfrierverhaltens wurde der Anstieg des abluftseitigen Druckverlustes über einer Betriebszeit  $t_p$  von 5 h bei konstant gehaltenem Abluftmassenstrom benutzt.

Überstieg der Druckverlust vor Ablauf der 5 Stunden **Meßzeit** den doppelten Wert gegenüber kondensationsfreiem Betrieb, wurde die Zeit bis zum Erreichen dieses Wertes als kennzeichnende Größe festgehalten.

### 2.9 Regelungs- und Steuereinrichtungen

Aufgrund der gewählten Versuchsanlagenkonzeption mit Zusammenführung von Fortluft- und Zuluftstrom nach dem Wärmerückgewinner-Prüfling wirken sich Änderungen im Übertragungsverhalten des Prüflings infolge von Regelvorgängen nicht auf den Eintrittszustand in die Luftaufbereitungsstrecken aus. Damit ergeben sich auch gute Voraussetzungen für eine Prüfung des Betriebsverhaltens zugehöriger Regel- und Steuereinrichtungen.

### 3. Untersuchungsergebnisse

Die Ergebnisse für drei Testreihen mit Wärmerückgewinnern der Kategorie I bis III (gemäß VDI 2071, Blatt 1) sind in den Tabellen 1 bis 3 dargestellt.

Die durchgeführten Testreihen ergaben, daß alle angestrebten Luftzustände mit der vorgestellten Versuchsanlage stabil einstellbar sind und daß die Meßanordnung die an sie zu stellenden Anforderungen erfüllt.

Einschließlich der erzielten Regelgenauigkeit der Anlage kann die Rückwärmzahl mit einer Meßunsicherheit von  $\pm 3\%$  und die Rückfeuchtzahl mit einer solchen von  $\pm 5\%$ , bezogen auf eine Leistungskennzahl von 50 %, bestimmt werden.

Tabelle 1: Prüfling 1

1.) Gerätespezifikation: WRG-Kategorie I  
Nennluftmassenstrom:  $m_2 = m_1 = m_N = 96$   
Art und Leistungsaufnahme von Hilfseinrichtungen: n  
Regel- und Steuerungseinrichtungen: n

2.) Externer Leckluftstrom:

$p_{1/2} - p_0$ [Pa]
+ 500
- 500

3.) Interner Leckluftstrom:

$p_1 - p_2$ [Pa]
+ 320

4.) Mitführungsluftstrom: entfällt

5.) Rückwärmzahl/Rückfeuchtzahl:

$\frac{m_{22}}{m_N}$	$\frac{m_{11}}{m_N}$
0,8	0,8
0,8	1,0
1,0	0,8
1,0	1,
1,0	1,
1,2	1,
1,2	1,

lauf der 5 Stunden Meßzeit  
sensationsfreiem Betrieb,  
 dieses Wertes als kenn-

ungen

agenkonzeption mit Zusam-  
 mstrom nach dem Wärmerück-  
 rungen im Übertragungsver-  
 regelvorgängen nicht auf den  
 leitungsstrecken aus. Damit  
 engen für eine Prüfung des  
 el- und Steuereinrichtungen.

mit Wärmerückgewinnern  
 2071, Blatt 1) sind in

en, daß alle angestrebten  
 Versuchsanlage stabil  
 rdnung die an sie zu stel-

enauigkeit der Anlage  
 nsicherheit von  $\pm 3\%$   
 chen von  $\pm 5\%$ , bezo-  
 0%, bestimmt werden.

Tabelle 1: Prüfling 1

1.) Gerätespezifikation: WRG-Kategorie I (Rekuperator)

Nennluftmassenstrom:  $m_2 = m_1 = m_N = 960 \text{ kg/h}$

Art und Leistungsaufnahme von Hilfseinrichtungen: keine

Regel- und Steuerungseinrichtungen: nicht zur Prüfung beigestellt

2.) Externer Leckluftstrom:

$p_{1/2} - p_0 [\text{Pa}]$	$\frac{\dot{m}_{\text{Ex}}}{m_N} [\%]$
+ 500	< 1
- 500	

3.) Interner Leckluftstrom:

$p_1 - p_2 [\text{Pa}]$	$\frac{\dot{m}_I}{m_N} [\%]$
+ 320	< 1

4.) Mitführungsluftstrom: entfällt

5.) Rückwärmzahl/Rückfeuchtzahl:

$\frac{\dot{m}_{22}}{m_N}$	$\frac{\dot{m}_{11}}{m_N}$	$\phi_2$	$\psi_2$
0,8	0,8	0,49	-
0,8	1,0	0,51	-
1,0	0,8	0,44	-
1,0	1,0	0,48	-
1,0	1,2	0,50	-
1,2	1,0	0,43	-
1,2	1,2	0,48	-

Fortsetzung Tabelle 1

6.) Luftseitiger Druckverlust bei 20 °C

$\frac{\dot{m}_{22}}{\dot{m}_N} ; \frac{\dot{m}_{11}}{\dot{m}_N}$	$\Delta p_1$ [Pa]	$\Delta p_2$ [Pa]
0,8	93	84
1,0	122	116
1,2	174	153

7.) Versuch zur Bestimmung des Einfrierverhaltens:

Außenluftteintrittszustand	$t_{21}/x_{21}$	:	- 10 °C/1 g/kg
Ablufteintrittszustand	$t_{11}/x_{11}$	:	22 °C/8 g/kg
Massenstromverhältnis	$\dot{m}_{22}/\dot{m}_{11}$	:	$1 \frac{\dot{m}_N}{\dot{m}_N}$
Versuchsdauer	$Z_F$	:	1,9 h
Druckanstiegsverhältnis	$\frac{\Delta p_{E1}}{\Delta p_1}$	:	> 2

Tabelle 2: Prüfling 2

- 1.) Gerätespezifikation: WRG-Kategorie II  
 Nennluftmassenstrom:  $\dot{m}_2 = \dot{m}_1 = \dot{m}_N = 96$   
 Art und Zusammensetzung des Umlaufmediums: Wasser/Gefrierschutzmittel; 34 Vol.-% Wasser, 66 Vol.-% Gefrierschutzmittel  
 Art und Leistungsaufnahme von Hilfseinrichtungen: Flüssigkeitsumwälzpumpe:  $P_{el} = 0,1$  kW  
 Flüssigkeitsseitiger Druckverlust:  $\Delta p_F = 0,1$  bar  
 Nennmassenstrom des Umlaufmediums:  $\dot{m}_W = 96$  kg/h  
 Regel- und Steuereinrichtungen: nicht vorhanden

2.) Externer Leckluftstrom:

$p_{1/2} - p_0$ [Pa]	$\dot{m}_{Ex}$ [kg/h]	AU-Seite	AB-Seite	$\dot{m}_{Ex}$ [kg/h]
300	-46,30	-48,24	-48,24	-4,8
400	-51,56	-54,36	-54,36	-5,1
500	-56,45	-58,52	-58,52	-5,5
-300	43,50	44,83	44,83	4,8
-400	45,00	46,15	46,15	4,5
-500	48,56	50,11	50,11	5,0

$\dot{m}_{Ex} < 0$  : Leckluftstrom zur Umgebung

3.) Interner Leckluftstrom: entfällt

4.) Mitführungsluftstrom: entfällt

Tabelle 2: Prüfling 2

1.) Gerätespezifikation: WRG-Kategorie II (Kreislaufverbund)Nennluftmassenstrom:  $m_2 = m_1 = m_N = 960 \text{ kg/h}$ 

Art und Zusammensetzung des Umlaufmediums:

Wasser/Gefrierschutzmittel; 34 Vol. % Gefrierschutzmittelanteil

Art und Leistungsaufnahme von Hilfseinrichtungen:

Flüssigkeitsumwälzpumpe:  $P_{el} = 0,110 \text{ kW}$ Flüssigkeitsseitiger Druckverlust:  $\Delta p_{W2} = 239 \text{ hPa}$ ;  $\Delta p_{W1} = 232 \text{ hPa}$ Nennmassenstrom des Umlaufmediums  $m_W$ :  $0,22 \text{ kg/s}$ 

Regel- und Steuereinrichtungen: nicht zur Prüfung beigestellt

$\Delta p_2 \text{ [Pa]}$
84
116
153

haltens:

- 10  $^{\circ}\text{C}$ /1 g/kg22  $^{\circ}\text{C}$ /8 g/kg1  $\frac{m_N}{m_N}$ 

1,9 h

&gt; 2

2.) Externer Leckluftstrom:

$P_{1/2} - P_0 \text{ [Pa]}$	$\dot{m}_{Ex} \text{ [kg/h]}$		$\dot{m}_{Ex}/\dot{m}_N \text{ [%]}$		$\Sigma \dot{m}_{Ex} \text{ [kg/h]}$	$\Sigma \dot{m}_{Ex}/\dot{m}_N \text{ [%]}$
	AU-Seite	AB-Seite	AU-Seite	AB-Seite		
300	-46,30	-48,24	-4,82	-5,03	- 94,54	- 9,85
400	-51,56	-54,36	-5,37	-5,66	-105,92	-11,03
500	-56,45	-58,52	-5,88	-6,10	-114,97	-11,98
-300	43,50	44,83	4,53	4,67	88,33	9,20
-400	45,00	46,15	4,69	4,81	91,15	9,50
-500	48,56	50,11	5,06	5,22	98,67	10,28

 $\dot{m}_{Ex} < 0$  : Leckluftstrom zur Umgebung gerichtet3.) Interner Leckluftstrom: entfällt4.) Mitführungsluftstrom: entfällt

Fortsetzung Tabelle 2

5.) Rückwärmzahl/Rückfeuchtzahl:

$\frac{m_{22}}{m_N}$	$\frac{m_{11}}{m_N}$	$\phi_2$	$\psi_2$
0,9	0,9	0,51	-
0,9	1,0	0,54	-
1,0	0,9	0,47	-
1,0	1,0	0,50	-
1,0	1,1	0,51	-
1,1	1,0	0,46	-
1,1	1,1	0,48	-

6.) Luftseitiger Druckverlust bei 20 °C:

$\frac{m_{22}}{m_N} ; \frac{m_{11}}{m_N}$	$\Delta p_1$ [Pa]	$\Delta p_2$ [Pa]
0,9	89	83
1	102	97
1,1	118	116
1,2	135	133

7.) Versuch zur Bestimmung des Einfrierverhaltens:

Außenlufteintrittszustand	$t_{21}/x_{21} : -15^{\circ}\text{C}/0,8 \text{ g/kg}$
Ablufteintrittszustand	$t_{11}/x_{11} : 22^{\circ}\text{C}/8 \text{ g/kg}$
Massenstromverhältnis	$\frac{m_{22}}{m_{11}} : 1 \frac{m_N}{m_N}$
Versuchsdauer	$z_F : 5 \text{ h}$
Druckanstiegsverhältnis	$\Delta p_{E1}/\Delta p_1 : 1,61$
Eintrittstemperatur des Umlaufmediums	$t_{W11} : +3^{\circ}\text{C}$

Tabelle 3: Prüfling 3

1.) Gerätespezifikation: WRG-Kategorie II  
 Nennluftmassenstrom:  $m_2 = m_1 = m_N = 9$   
 Ausführung des Wärmeträgers:  
 Rotierender, sorptionssensibler W  
 Art und Leistungsaufnahme von Hilfse  
 Antriebsmotor für Rotor:  $P_{el} = 0$   
 Regel- und Steuereinrichtungen: nic

2.) Externer Leckluftstrom:

$p_{1/2} - p_0$ [Pa]	$\dot{m}_{Ex}$ [
300	-71
400	-77
500	-83
-300	6
-400	-400
-500	-500

$\dot{m}_{Ex} < 0$  : Leckluftstro

3.) Interner Leckluftstrom: nicht4.) Mitführungsluftstrom:

Ohne Taupunktunterschreitung  
 Mit Taupunktunterschreitung

$p_{22} - p_{11}$ [Pa]	Gesamtkeimübertragu
A	[%]
+20,6	0,03
-17,5*	1,72*

\*) einschließlich internem Leck

Tabelle 3: Prüfling 3

1.) Gerätespezifikation: WRG-Kategorie III (Regenerator)Nennluftmassenstrom:  $m_2 = m_1 = m_N = 960 \text{ kg/h}$ 

Ausführung des Wärmeträgers:

Rotierender, sorptionssensibler Wärmeträger ohne Spülsegment

Art und Leistungsaufnahme von Hilfseinrichtungen:

Antriebsmotor für Rotor:  $P_{el} = 0,312 \text{ KW}$ 

Regel- und Steuereinrichtungen: nicht zur Prüfung beigestellt

2.) Externer Leckluftstrom:

$p_{1/2} - p_0 \text{ [Pa]}$	$\dot{m}_{Ex} \text{ [kg/h]}$	$\dot{m}_{Ex}/\dot{m}_N \text{ [%]}$
300	-71,29	-7,43
400	-79,98	-8,33
500	-88,00	-9,17
-300	67,72	7,05
-400	74,78	7,79
-500	81,44	8,48

 $\dot{m}_{Ex} < 0$  : Leckluftstrom zur Umgebung gerichtet3.) Interner Leckluftstrom: nicht gemessen4.) Mitführungsluftstrom:

Ohne Taupunktunterschreitung der Abluftfeuchte : A

Mit Taupunktunterschreitung der Abluftfeuchte : B

$p_{22} - p_{11} \text{ [Pa]}$	Gesamtkeimübertragungsrate [%]		Gesamtpartikelübertragungsrate [%]	
	A	B	A	B
+20,6	0,03	0,03	2,07	2,41
-17,5*	1,72 *	1,38 *	3,06 *	3,33 *

\*) einschließlich internem Leckluftstrom

Fortsetzung Tabelle 3

5.) Rückwärmzahl/Rückfeuchtzahl:

$\frac{\dot{m}_{22}}{\dot{m}_N}$	$\frac{\dot{m}_{11}}{\dot{m}_N}$	$\phi_2$	$\psi_2$
0,8	0,8	0,72	0,70
0,8	1,0	0,80	0,74
1,0	0,8	0,65	0,62
1,0	1,0	0,72	0,69
1,0	1,2	0,75	0,67
1,2	1,0	-	-
1,2	1,2	-	-

6.) Luftseitiger Druckverlust bei 20 °C:

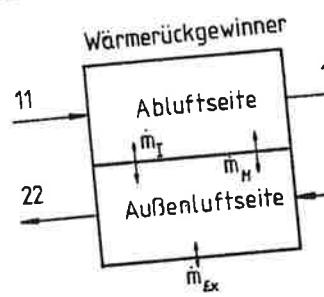
$\frac{\dot{m}_{22}}{\dot{m}_N} ; \frac{\dot{m}_{11}}{\dot{m}_N}$	$\Delta p_1$ [Pa]	$\Delta p_2$ [Pa]
0,8	33	34
1,0	40	44
1,2	55	-

7.) Versuch zur Bestimmung des Einfrierverhaltens:

Außenluftteintrittszustand	$t_{21}/x_{21}$	: - 14,5 °C/0,8 g/kg
Abluftteintrittszustand	$t_{11}/x_{11}$	: 22 °C/8 g/kg
Massenstromverhältnis	$\dot{m}_{22}/\dot{m}_{11}$	: 1 $\dot{m}_N/\dot{m}_N$
Versuchsdauer	$Z_F$	: 5 h
Druckanstiegsverhältnis	$\Delta p_{E1}/\Delta p_1$	: 1,18

Hermann - Rietschel - Institut  
für  
Heizungs - u. Klimatechnik  
TU-Berlin

BEZEICHNUNGEN (VDI 2071/1 (1

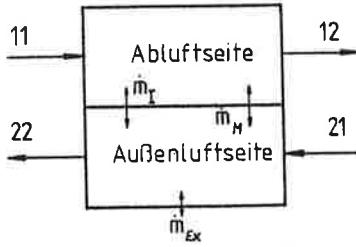


RÜCKWÄRMZAHL

$$\phi_2 = \frac{t_{22} - t_{21}}{t_{11} - t_{21}}$$

## BEURTEILUNGSKRITERIEN

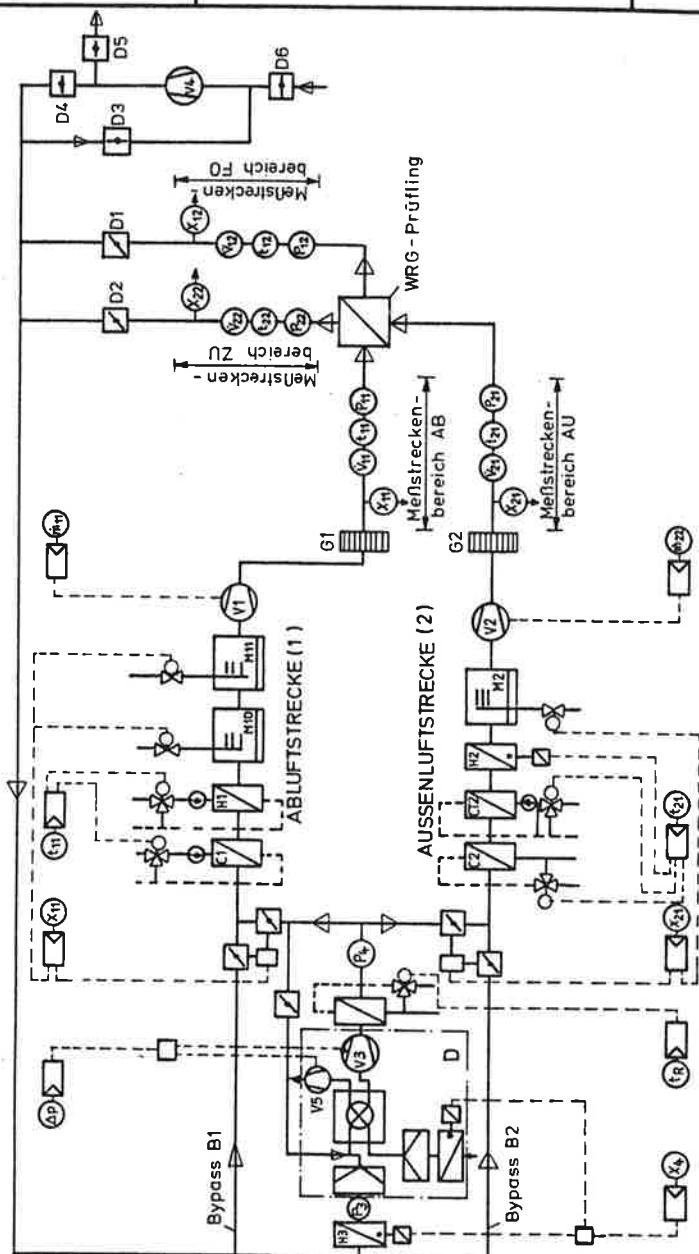
- BESCHREIBUNG DES PRÜF
- KONSTRUKTIVE BEURTEILL
- LEISTUNGSKENNZAHLEN
- EXTERNER LECKLUFTSTRO
- INTERNER LECKLUFTSTRO
- MITFÜHRUNGSLUFTSTROM
- DRUCKVERLUSTE
- HILFSENERGIEN
- VERHALTEN BEI KONDE
- REGELUNGS- UND STEU
- EMPFINDLICHKEIT GEG
- REINIGUNGSFÄHIGKEIT

Hermann - Rietschel - Institut für Heizungs - u. Klimatechnik TU-Berlin	PRÜFVERFAHREN FÜR WÄRMERÜCKGEWINNER	BILD 1
<u>BEZEICHNUNGEN (VDI 2071/1 (1982))</u>		
	<b>Wärmerückgewinner</b> 11 ABLUFTEINTRITT 12 ABLUFTAUSTRITT 21 AUSSENLUFTEINTRITT 22 AUSSENLUFTAUSTRITT	
<b>RÜCKWÄRMZAHL</b> $\phi_2 = \frac{t_{22} - t_{21}}{t_{11} - t_{21}}$	<b>RÜCKFEUCHTZAHL</b> $\psi_2 = \frac{x_{22} - x_{21}}{x_{11} - x_{21}}$	
<u>BEURTEILUNGSKRITERIEN</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- BESCHREIBUNG DES PRÜFLINGS</li> <li>- KONSTRUKTIVE BEURTEILUNG</li> <li>- LEISTUNGSKENNZAHLEN</li> <li>- EXTERNER LECKLUFTSTROM <math>\dot{m}_{ex}</math></li> <li>- INTERNER LECKLUFTSTROM <math>\dot{m}_I</math></li> <li>- MITFÜHRUNGSLUFTSTROM <math>\dot{m}_M</math></li> <li>- DRUCKVERLUSTE</li> <li>- HILFSENERGIEN</li> <li>- VERHALTEN BEI KONDENSATION UND VEREISUNG</li> <li>- REGELUNGS- UND STEUEREINRICHTUNGEN</li> <li>- EMPFINDLICHKEIT GEGEN VERSCHMUTZUNG</li> <li>- REINIGUNGSFÄHIGKEIT</li> </ul>		

Hermann - Rietschel - Institut  
für  
Heizungs - u. Klimatechnik  
TU-Berlin

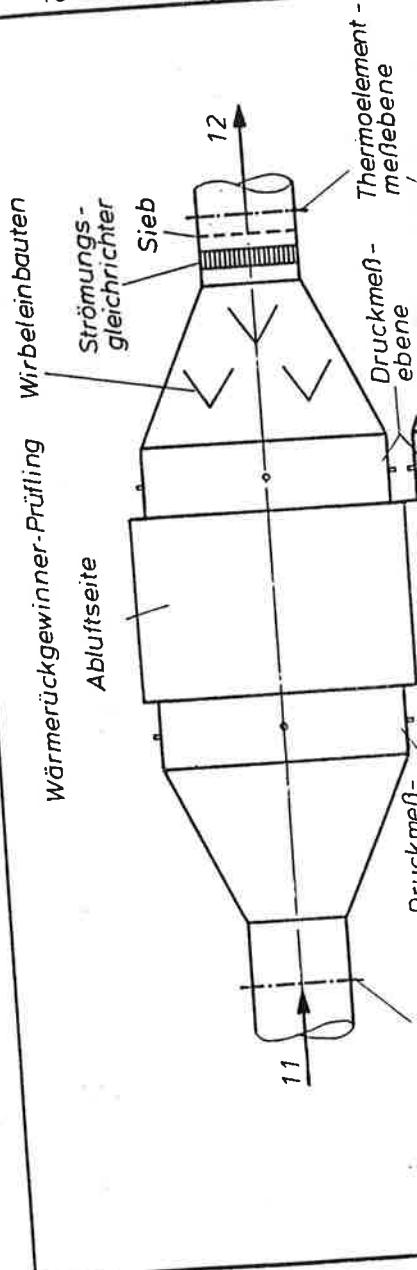
## Prüfverfahren für Wärmerückgewinner, Versuchsstand (Fließschema)

Bild 2



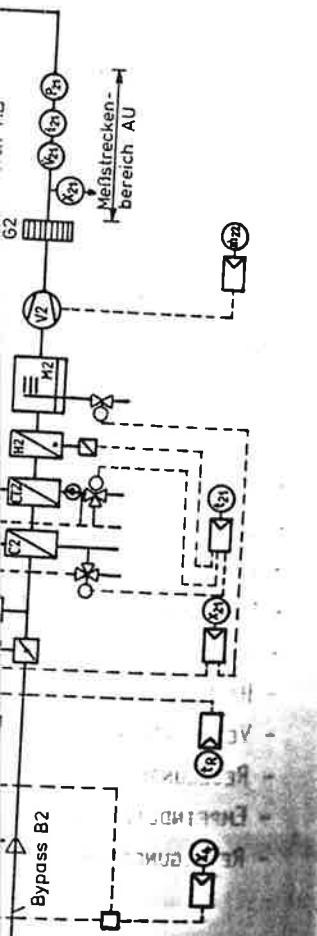
Hermann - Rietschel - Institut  
für  
Heizungs - u. Klimatechnik  
TU-Berlin

## Prüfverfahren gewinner, Temperaturmeß



## Wärmerückstand

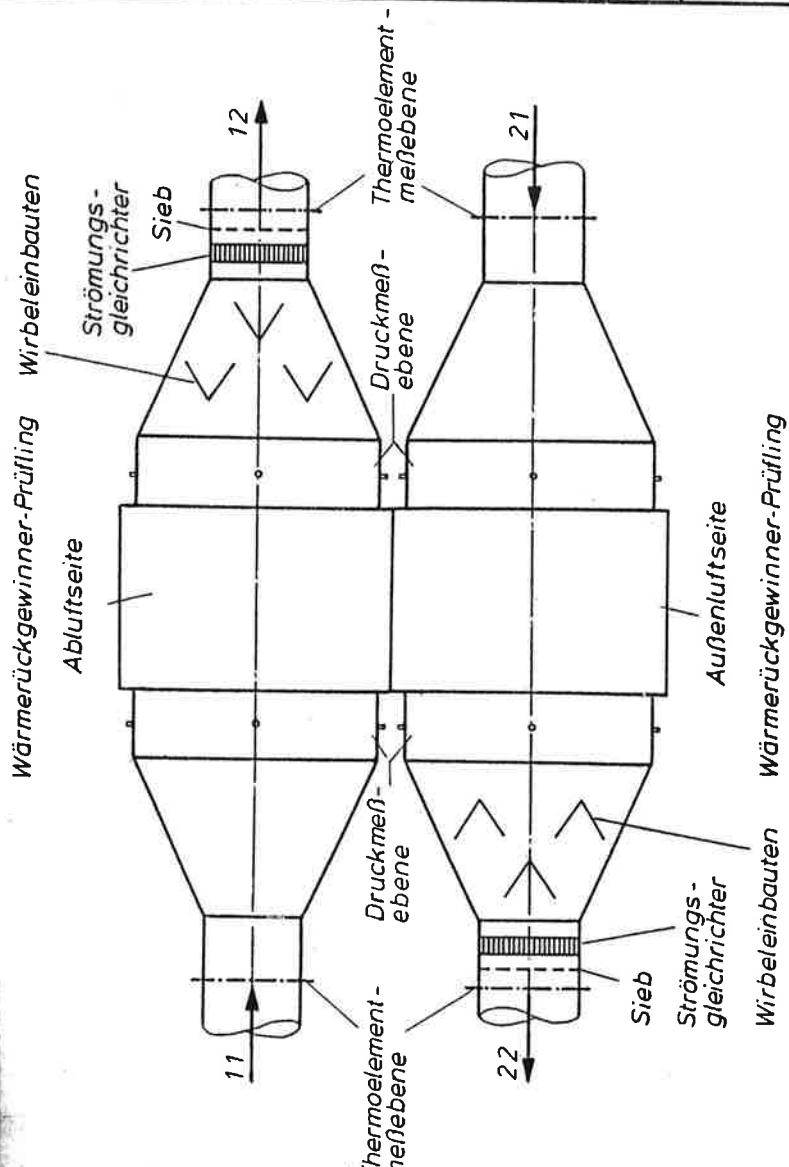
## Bild 2

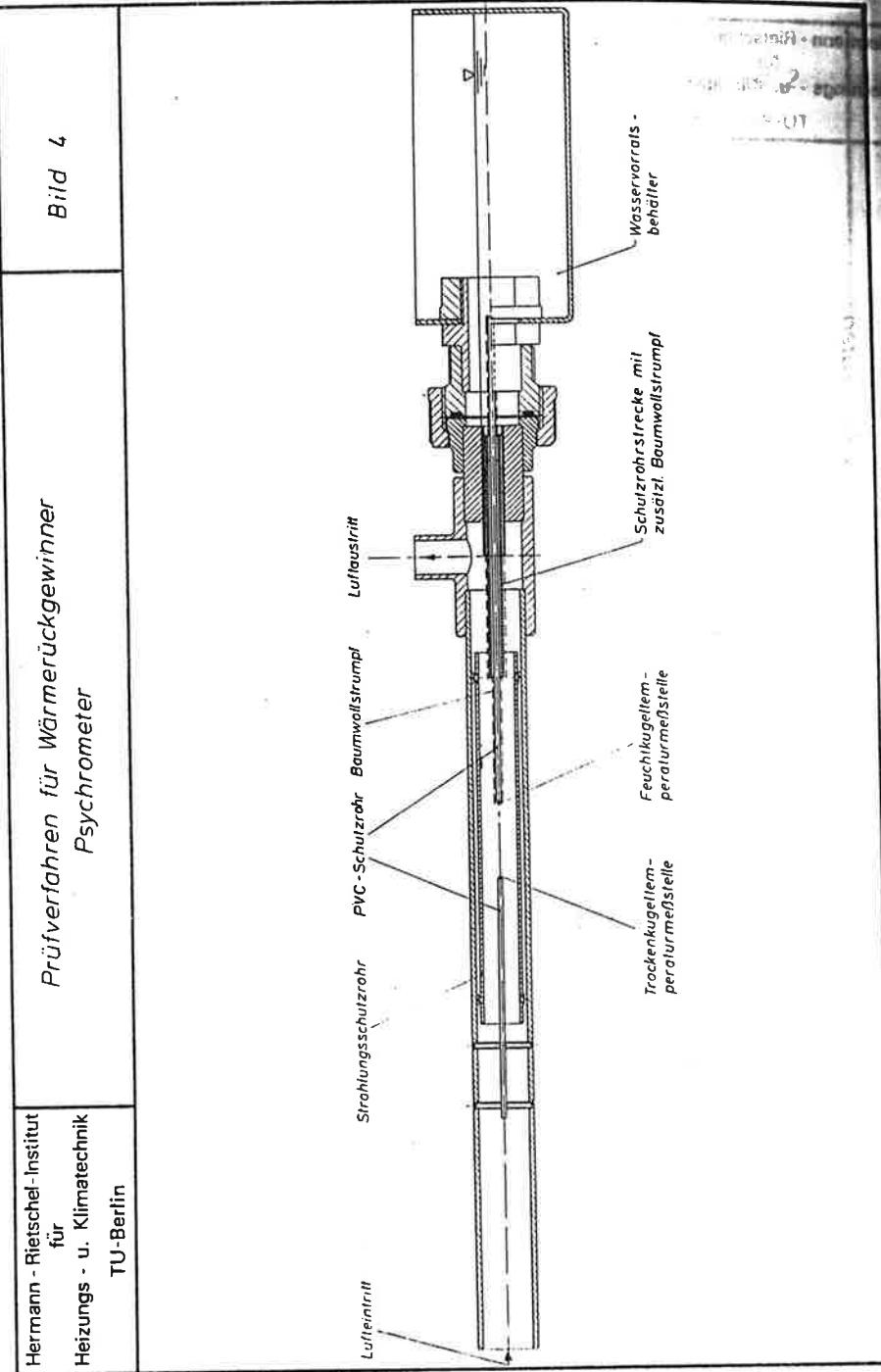


Hermann - Rietschel - Institut  
für  
Heizungs - u. Klimatechnik  
TU-Berlin

## Prüfverfahren für Wärmerückgewinner, Temperaturmeßstellen

*Bild 3*

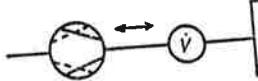




Hermann - Rietschel - Institut  
für  
Heizungs - u. Klimatechnik  
TU-Berlin

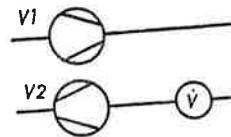
Prüfverfahren  
gewinner  
Meßanordnu

Ventilator (umsteuerbar) Durchfluß -  
Meßgerät



Meßanordnung

Ventilator Durchfluß -  
Meßgerät



Meßanordnu

