

FRAGEBOGEN DER ARBEITSABTEILUNG II

" KÄLTETECHNISCHE LABORATORIEN STELLEN SICH VOR "

1. BEZEICHNUNG UND ANSCHRIFT DES LABORS / INSTITUTS:

Laboratorium für Wärme- und Kältetechnik
der Universität -Gesamthochschule- Paderborn
Pohlweg 55, D-4790 Paderborn

2. NAME DES INSTITUTS- BZW. LABORLEITERS:

Prof. Dr.-Ing. Dieter Gorenflo

3. ANZAHL DER BESCHÄFTIGTEN MITARBEITER:

5 wissenschaftliche Mitarbeiter
6 nichtwissenschaftliche Mitarbeiter

4. LABOREINRICHTUNGEN (ANGABE DER LABORFLÄCHE):

Versuchshalle: 120 m² (Ab Ende 1985: ca. 200 m²)
Laborräume : 387 m² (Ab Ende 1985: ca. 440 m²)

5. ARBEITSGEBIETE:

Wärmeübertragung beim Sieden
Stoffwertmessungen an Kühl- und Gefriergeräten
Wärmerückgewinnung an Lüftungstechnischen Anlagen
(im Aufbau)
Wärme- und Stoffübertragung in Absorptionsanlagen
(im Aufbau)

6. TÄTIGKEITSMERKMALE (BITTE ZUTREFFENDES ANKREUZEN):

Auftragsforschung	X	Gutachten	X
Eigenforschung	X	Studien	
Auftragsentwicklung		Sonstiges	
Eigenentwicklung		

7. FORSCHUNGSTRÄGER - ÖFFENTLICHE UND PRIVATE AUFTRAGGEBER
(MIT ANGABE DER FORSCHUNGSTÄTIGKEIT):

Land Nordrhein-Westfalen

Deutsche Forschungsgemeinschaft

Industrie

8. BESONDERE FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSARBEITEN BZW.
-ERGEBNISSE DER LETZTEN JAHRE:

Einfluß der Heizflächenrauigkeit auf den Wärmeübergang beim Blasensieden (DKV - FB Nr.10)

Maximale Wärmestromdichte beim Blasensieden von Gemischen unter hohem Druck

Aufbau und Inbetriebnahme einer Normapparatur für Wärmeübergangsmessungen beim Blasensieden

Aufbau eines thermostatisierten Fluid-Kreislaufs für Stoffwertmessungen

Aufbau von Laboreinrichtungen für Leistungsmessungen an Kühl- und Gefriergeräten

Aufbau eines Strömungskanals für Leistungsmessungen von Wärmeaustauschern in Lüftungstechnischen Anlagen

LABORATORIUM FÜR WÄRME- UND KÄLTETECHNIK
UNIVERSITÄT (GESAMTHOCHSCHULE) PADERBORN

D. Gorenflo, Paderborn

Das Laboratorium für Wärme- und Kältetechnik ist eine junge und noch im Aufbau befindliche Einrichtung der Paderborner Hochschule. Das Laboratorium gehört zum Fach Thermodynamik/Wärmeübertragung, das die Ausbildung der Maschinenbau- und Verfahrenstechnik-Studenten (mit z.Zt. 260 Erstsemestern) in Thermodynamik, Wärmeübertragung und Kältetechnik zur Aufgabe hat. Ende 1981 standen die ersten drei Geräte der Ersteinrichtung des Faches zur Verfügung: Ein HP 9845 - Rechner mit vollausgebauter Peripherie, eine Hochgeschwindigkeits - Filmkamera und ein Hommel - Tastschnittgerät T 20 für Rauheitsmessungen. Alle drei Geräte waren für Untersuchungen des Wärmeübergangs beim Blasensieden vorgesehen. Seither ist der Ausbau zügig vorangegangen (abzüglich erheblicher Kürzungen am ursprünglichen Programm), und die Ersteinrichtung wird Ende des Jahres zu einem vorläufigen Abschluß gebracht.

Von den im vorstehenden Fragebogen unter Punkt 5 aufgezählten Teilbereichen ist der Sektor Klima- und Kälteausrüstung bisher am weitesten ausgebaut. Bild 1 zeigt einen Grundriß der hierfür im Kellergeschoß der ehemaligen Ingenieurschule zur Verfügung stehenden Räume, mit einem großem Klimaraum (Temperaturbereich 5°C - 50°C bei 20% - 95% relativer Feuchte), zwei Kältekammern (bis -25°C) und einer Tiefkühlkammer (bis 50°C). Der Maschinenraum enthält drei Kältesätze, die wahlweise auf die beiden Kältekammern geschaltet werden können und zusätzlich Praktikumszwecken dienen. Der Kältesatz für die Tiefkühlkammer fehlt z.Zt. noch. Im Auswerteraum ist die digitale Meßwertaufnahme (260 Meßstellen für Temperatur, Spannung, etc., System Acurex) mit der Möglichkeit einer ersten Auswertung (Sirius - Rechner) untergebracht. Die Analog/Digital - Wandlung geschieht zur Vermeidung von Störungen bereits unmittelbar nach dem Austritt der Meßleitungen aus dem Klima- bzw. den Kälteräumen.

Der Klimaraum mit Zu- und Abluftführung über eine Lochdecke wird von einem Soleaggregat versorgt, um die räumlichen und zeitlichen Temperatur- und Feuchteschwankungen möglichst ge-

ring zu halten, vgl. Bild 2. Das Bild gibt den zeitlichen Temperaturverlauf an drei Thermoelement-Meßstellen und ihre vertikale Anordnung wieder. (Element 1 liegt auf einem dünnen Styroporstreifen auf dem Boden aus Aluminium - Warzenblech, Element 3 hängt ca. 30 cm unter der Lochdecke.) Man erkennt, daß die zeitliche Temperaturkonstanz sowohl bei 31 als auch bei 42°C sehr gut ist und daß die maximalen räumlichen Temperaturunterschiede 0,5 K (am Ende der 31°C-Phase) bzw. 1,6 K betragen. Eine entsprechend gute zeitliche und räumliche Temperaturkonstanz wie bei 31°C wurde auch bei 16 und 10°C gefunden.

In Bild 2 ist außerdem das Meßergebnis eines Thermopaars, das aus feuchter und trockener Meßstelle gebildet wird, eingeblendet, um die Feuchtigkeit zu bestimmen. Die Temperaturdifferenz liegt für 31°C zwischen 8 und 8,4 K und für 42°C zwischen 12,5 und 13,1 K, was in beiden Fällen $50 \pm 1\%$ relativer Feuchte entspricht. Bei 16 und 10°C betragen die Temperaturschwankungen nur 0,3 bzw. 0,2 K, allerdings erhöht sich die zugehörige Schwankungsbreite der relativen Feuchte wegen der geringeren Absolutfeuchte auf maximal $\pm 1,5\%$.

Der Klimaraum ist u.a. mit 15 Meßplätzen für Leistungsmessungen an Kühl- und Gefriergeräten ausgerüstet. Bild 3 zeigt als Beispiel solcher Messungen die Aufnahme der Gefrierleistung einer 270 l - Truhe nach einem Meßverfahren, das vom bisher üblichen in zwei wesentlichen Punkten abweicht: Einerseits wird das Gerät bis zum Einlagern des Gefriererguts mit einer Reglerstellung betrieben, die bei vollem Gerät -18°C gewährleistet, und es entfällt somit die Dauerlaufphase vor dem Einlagern, und andererseits ist das Lagerfach bis zur Stapelgrenze mit kaltem Lagergut gefüllt. Die drei ausgewählten Meßstellen 4, 5 und 6 enthalten das am schnellsten (4) und am langsamsten (6) abkühlende Meßpaket des Gefriererguts, und die Meßpakete 1 - 3 sind die am stärksten aufwärmenden Pakete im kalten Lagergut (Paket Nr.1 bis -15,6°C). Insgesamt liefert eine Versuchsreihe für die Grenzbedingung -15,0°C als höchste Temperatur des Meßpakets Nr.1, daß die Truhe bei dieser Meßmethode ein tägliches Gefriervermögen von 17,4 kg besitzt, eine Menge, die dem Zahlenwert nach zwar wesentlich kleiner ist, als aus der üblichen Meßmethode folgen würde, die aber

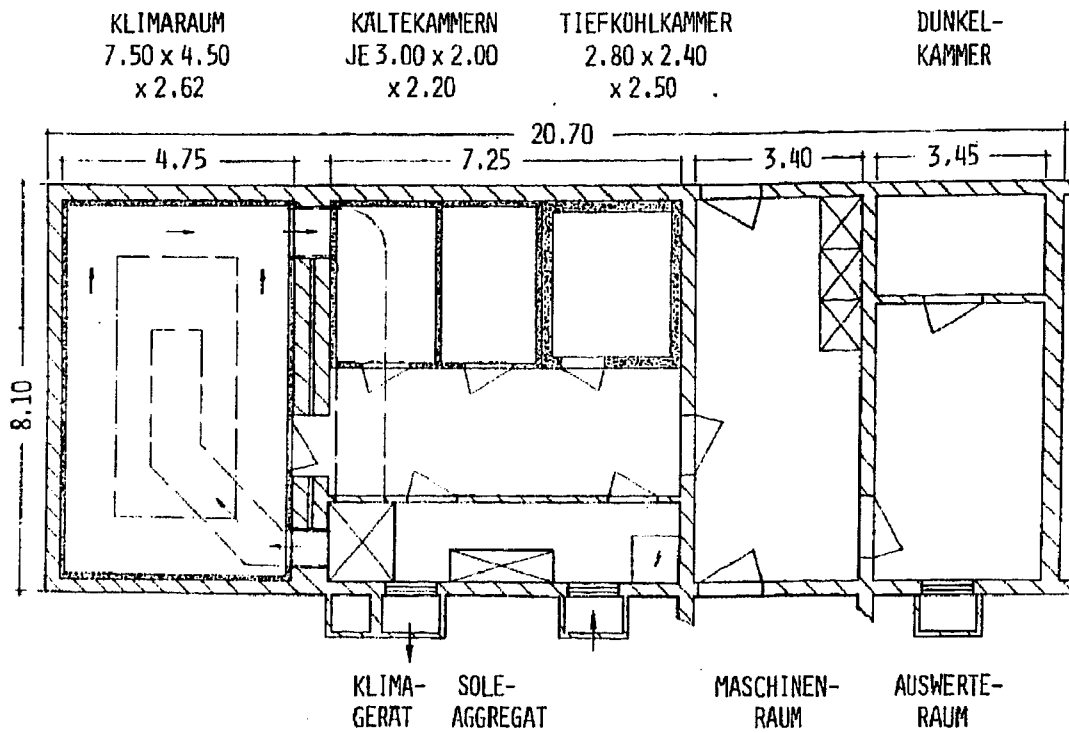


Bild 1 : Klima- und Kälteräume des Laboratoriums (Gebäudegrundriß)

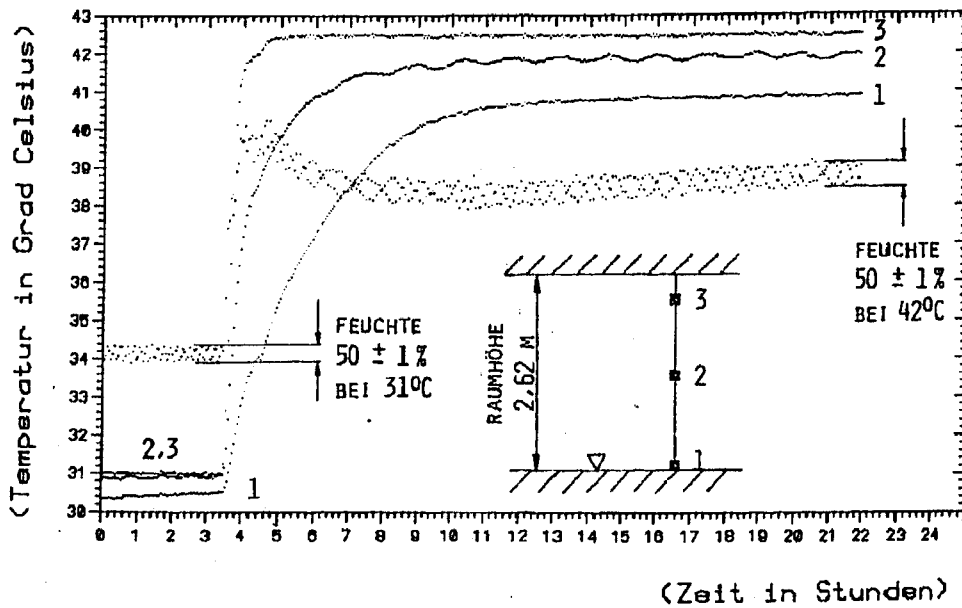


Bild 2 : Zeitlicher Temperaturverlauf an 3 Thermoelementen 1 - 3 im Klimaraum bei einer Wärmebelastung von ca. 1000 W. Eingebildet: Temperaturdifferenz zwischen feuchtem und trockenem Thermoelement bei 31°C bzw. 42°C. Die Ordinate 34°C entspricht dabei 8 K.

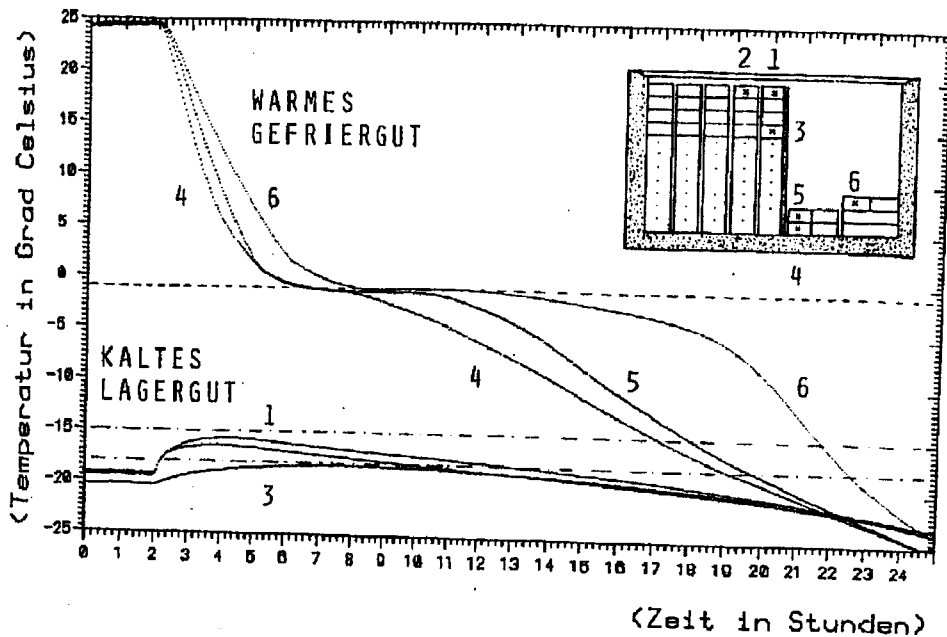


Bild 3: Zeitlicher Temperaturverlauf in je drei ausgewählten Meßpaketen des Lagerguts und des Gefrierzugs bei der Messung der Gefrierleistung einer Haushalts-Gefriertruhe. Eingebildet: Seitenansicht der Stapelung mit Lage der Meßpakete. Lagergutmenge: 104 kg . Gefrierzugmenge: 14,5 kg .

für den praktischen Gebrauch einer Haushalts-Truhe als tägliches Gefriervermögen völlig ausreichend ist*). Längerfristiges Ziel der im Beispiel gezeigten Messungen ist es, die Benutzung des Dauerlaufschalters im Zusammenhang mit dem täglichen Gefriervermögen sowohl aus Normvorschriften als auch Verbraucherinformationen zu streichen und damit u.a. auch zu einer Energieeinsparung beizutragen.

Außer für Arbeiten zur Weiterentwicklung von Normvorschriften, zur Erhöhung der Gebrauchstauglichkeit oder Senkung des Energieverbrauchs von Kühl- und Gefriergeräten eignen sich die in Bild 1 gezeigten Räume auch für Auftragsforschung anderer Art, die als Nebenbedingung eine kalte oder klimatisierte Umgebung erfordert. So wurde z.B. für eine Industriefirma die Aufladung von Druckerpapier bei extrem trockener Raumluft untersucht.

*)

Der Wert entspricht 6,6 kg/24h 100ℓ und liegt damit mehr als 30% (DIN 8953) bzw. 45% (ISO 5155) über den derzeit gültigen Untergrenzen für das tägliche Gefriervermögen.

Auf dem Gebiet der Wärmeübertragung beim Sieden ist bisher eine als DKV-Forschungsbericht erhältliche Arbeit entstanden, in der experimentell ermittelte Größenverteilungen von Rauigkeitsvertiefungen auf Heizflächen mit entsprechenden Verteilungen für aktive Blasenzentren verglichen werden, die aus Literaturangaben zum Wärmeübergangskoeffizienten beim Sieden und zu Blasenbildungsmodellen berechnet wurden /1/*) Inzwischen wurde auch für Wärmeübergangsmessungen eine Versuchsanlage in Betrieb genommen, die in Fortführung Karlsruher Arbeiten zur Entwicklung einer Standardapparatur für Wärmeübergangsmessungen beim Sieden entstanden ist. Die Anlage enthält einen Versuchsstoff-Kreislauf mit Schwerkraftumlauf zwischen einem Verdampfer und einem Kondensator in einer Klimazelle. Die Flüssigkeit verdampft an einer metallischen Oberfläche, z.B. Kupferrohren, die mit transistor-stabilisiertem Gleichstrom beheizt werden, und der Dampf kondensiert an einem großflächigen Rippenrohrbündel, das von einem temperaturgeregelten Kühlmittelstrom durchflossen wird. Bei Temperaturen zwischen ca. 200°C und Umgebungstemperatur geschieht die Wärmeabgabe an eine Thermoölanlage, bei tiefen Temperaturen wahlweise an eine ein- bzw. zweistufige Kältemaschine; letztere ist z.Zt. noch nicht vorhanden.

Bild 4 zeigt eine vor kurzem aufgenommene Siedekurve für das Kältemittel R114 bei 26,10 bar (entsprechend 80 % des kritischen Drucks von R114) in doppelt-logarithmischer Darstellung des Wärmeübergangskoeffizienten über der Wärmestromdichte. Die Messungen reichen von der maximalen Wärmestromdichte des Blasensiedens, q_{\max} , (sog. Burnout-Punkt) bis zu sehr kleinen Werten von q , die für die praktische Anwendung zwar nicht unmittelbar von Interesse sind, für die Aufstellung von Berechnungsgleichungen zum Wärmeübergang beim Blasensieden jedoch große Bedeutung besitzen (vgl. z.B. /1/). Die strichpunktierte Gerade ist nach einem im neuen VDI-Wärmeatlas vorgeschlagenen Rechenverfahren ermittelt /2/*).

*) /1/ V. Knabe: Zum Einfluß der Heizflächenrauigkeit auf den Wärmeübergang und die maximale Wärmestromdichte beim Blasensieden. DKV - Forschungsbericht Nr.10, 1984.

/2/ D. Gorenflo: Behältersieden (Sieden in freier Konvektion). VDI - Wärmeatlas, 4.Auflage, 1984, Abschnitt E a.

Wesentlichen Anteil an der Zuverlässigkeit der Messungen bei kleinen Wärmestromdichten hat die gute Thermostatisierung der Flüssigkeit im Verdampfer und der Luft in der Klimazelle, die aus Bild 5 hervorgeht. Der Temperaturschrieb wurde über Nacht, im Anschluß an die Meßreihe von Bild 4, aufgezeichnet. Man erkennt, daß die mittlere Lufttemperatur exakt konstant gehalten wurde und die Flüssigkeitstemperatur nur um etwa 0,05 K gedriftet ist. Die kurzfristigen Temperaturschwankungen betragen für die Luft weniger als $\pm 0,05$ K und für die Flüssigkeit im Verdampfer weniger als die Hälfte dieses Werts.

Die Meßreihe in Bild 4 ist Teil eines Ringversuchs, an dem 3 weitere Institute an den Universitäten Stuttgart und Karlsruhe beteiligt sind. Der Versuch soll dazu beitragen, Ursachen für die zum Teil unterschiedlichen Ergebnisse von Messungen zum Wärmeübergang beim Blasensieden aufzudecken, die auftreten, wenn die gleichen Flüssigkeiten an verschiedenen Forschungsstellen verdampft werden; ein Tatbestand, der bei der Überprüfung von Modellvorstellungen zum Blasensieden und bei der Aufstellung von Berechnungsgleichungen für Verdampfer immer noch sehr hinderlich ist. Parallel zu den in Bild 4 gezeigten Messungen wird demnächst auch eine Apparatur für Stoffwertmessungen an siedenden Flüssigkeiten und Zweistoffgemischen in Betrieb genommen, für die eine Klimazelle samt Versuchsstoff-Kreislauf wie bei der Siedeapparatur bereits aufgebaut ist und die an die Kühlkreisläufe der Siedeapparatur wahlweise angeschlossen werden kann.

Ein weiterer Arbeitsbereich mit einer Apparatur im Aufbauzustand kann mit "Wärmerückgewinnung in Lüftungstechnischen Anlagen" umschrieben werden. Hierzu existiert der in Bild 6 in einer Seitenansicht gezeigte Strömungskanal, bei dem die warme Abluft im Kreislauf geführt und die kalte Frischluft oben angesaugt und unten ausgeblasen wird. Der in der Darstellung von Bild 6 horizontal liegende Versuchswärmetauscher zwischen den beiden Luftströmen kann durch Schwenken des unteren Teils des Kaltluftkanals wahlweise auch vertikal betrieben werden. Die zugehörige Meß- und Regelungstechnik wird z.Zt. aufgebaut.

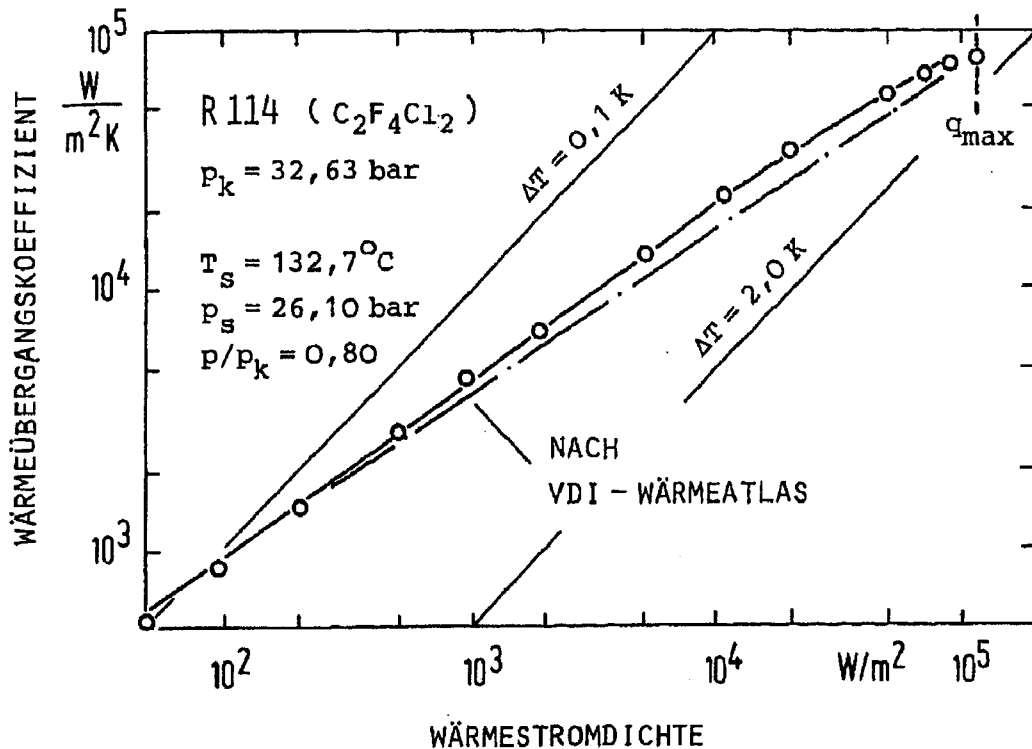


Bild 4: Wärmeübergangskoeffizient in Abhängigkeit von der Wärmestromdichte für das Blasensieden von R 114 bei konstantem Siededruck (26,10 bar).
 Strichpunktiiert: Rechnung für $p/p_k = 0,8$ nach VDI - Wärmeatlas.
 Gestrichelt: Maximale Wärmestromdichte des Blasensiedens.

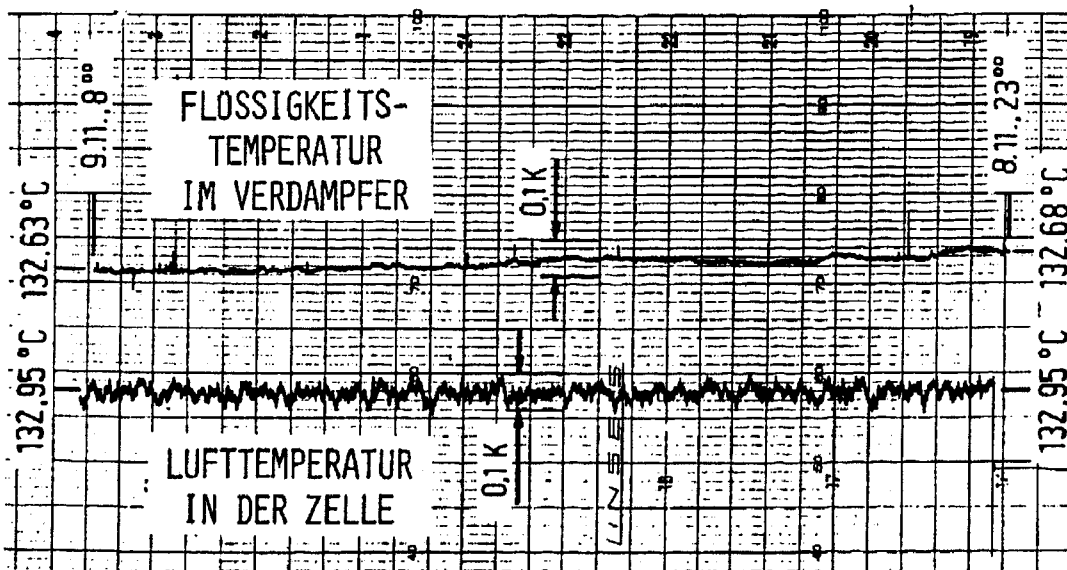


Bild 5: Zeitlicher Temperaturverlauf an einem Thermoelement im Zustrom der Luft an den Verdampfer (unten) bzw. der Flüssigkeit im Verdampfer an das Versuchsrohr (oben).
 Auflösung: 40 Skalenteile pro 1 Kelvin.
 Nullpunkte der beiden Schreiberkanäle gegeneinander versetzt.

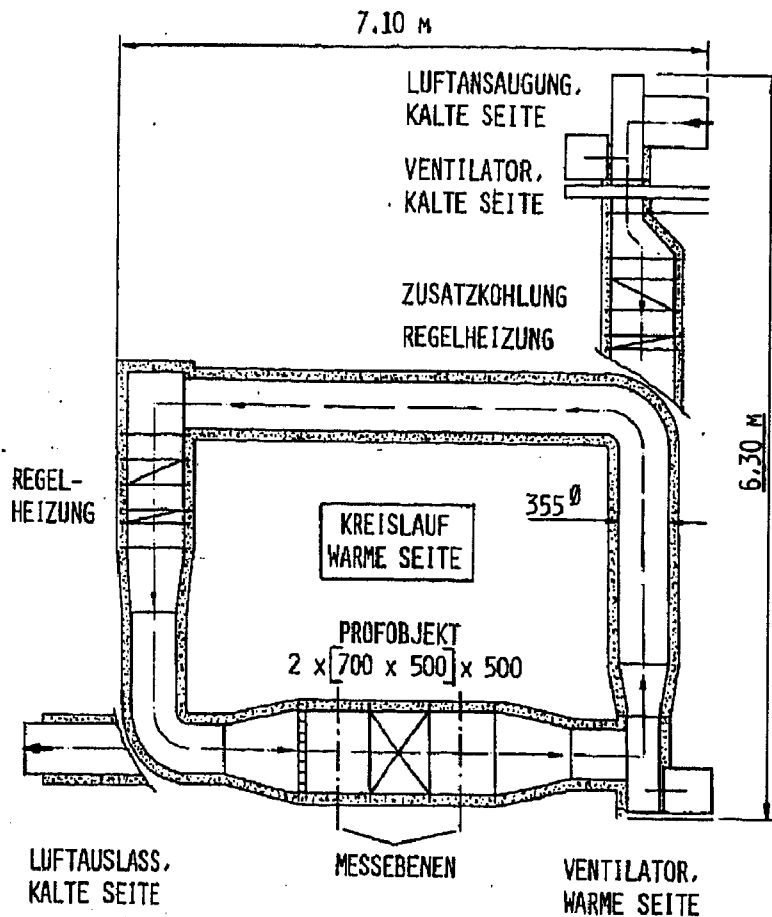


Bild 6: Seitenansicht eines Strömungskanals mit warmer Seite im Kreislauf (vorn) und kalter Seite offen (hinten). Wärmeaustauscher horizontal zwischen den beiden Strömen angeordnet, maximaler Strömungsquerschnitt auf jeder Seite 700 x 500 mm, maximale Bautiefe 500 mm.

Das Projekt entstand durch Anregung und mit Unterstützung der Industrie. In diesem wie in den anderen Arbeitsbereichen bestehen bereits Kontakte zur Industrie, die außer zu interessanten Fragestellungen in dankenswerter Weise auch zu namhaften Sachspenden geführt haben. Es besteht der Wunsch, die Kontakte zu erweitern, vor allem auch, um die Absolventen der Hochschule möglichst früh, d.h. in Verbindung mit Studien- und Diplomarbeiten - gegebenenfalls auch größeren Forschungsarbeiten - mit Fragestellungen aus der Praxis konfrontieren zu können.