



Dipl.-Ing. Monika Reiß, technische Mitarbeiterin für Behörden-Engineering bei der Hoechst AG (Werk Griesheim).

Anhand eines kurzen Abrisses über die Herstellung von Aerogelen, die im wesentlichen aus einem SiO₂-Gerüst und Luft bestehen, wird gezeigt, daß es sich bei diesem neuen hochporösen Dämmstoff um ein ökologisch und toxisch absolut unbedenkliches Isolationsmaterial handelt, das nicht brennbar ist und zudem über sehr gute Wärmedämmeigenschaften verfügt.

Es werden die Meßergebnisse bezüglich Wärmeleitfähigkeit eines Aerogel-Komposits (= Aerogele eingelagert, z. B. in ein Polymer) gezeigt. Basierend auf diesen Meßergebnissen bzw. Analogien zu anderen Feststoffmatrizes (z. B. Armaflex) werden die Energiesparpotentiale am Beispiel eines Verdampfers in einem Kältekreislauf diskutiert, der mit einem Aerogel-Komposit isoliert ist, im Vergleich zu einem Schaum, der auf der Basis von R 11 bzw. CO₂ getrieben worden ist.

Aerogele - Wärmedämmstoffe der Zukunft*

Monika Reiß, Frankfurt am Main

Warum ein neuer Wärmedämmstoff?

Angesichts staatlicher Vorgaben wie Wärmeschutzverordnung und Ausstieg aus der FCKW-Produktion ist die Industrie gezwungen, auf dem Wärmedämmsektor bzw. bei der Schaumstoffherstellung nach neuen Alternativen zu suchen. Hierbei empfiehlt es sich, nach Langzeitlösungen zu suchen. Das heißt, die Alternative muß chlorfrei sein, so daß unter diesem Aspekt sofort Schäume wegfallen, die auf der Basis von HFCKW (z. B. R 141 b) getrieben werden. Beobachtet man die politischen Trends, läßt sich nicht ausschließen, daß eines Tages auch Schäume mit einem Treibmittel auf der Basis von HFCKW und dem damit verbundenen Treibhauspotential verboten sind.

Unter ökologischen Gesichtspunkten interessiert neben Ozonabbau- und

Treibhauspotential natürlich auch das Recycling einer solchen Alternative und selbstverständlich sollte das Produkt nicht toxisch sein.

Last but not least soll das Produkt eine möglichst geringe Wärmeleitfähigkeit aufweisen.

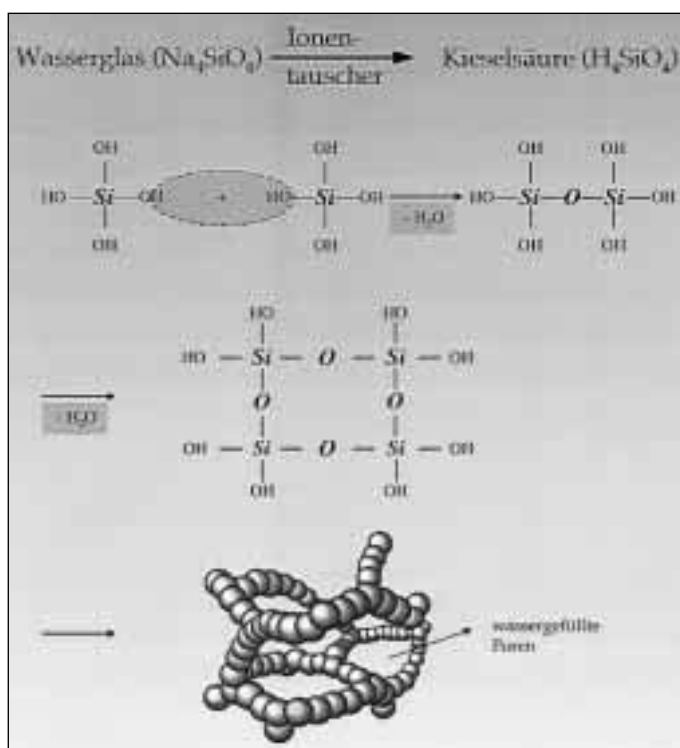
Eine solche Alternative, die all diesen Anforderungen gerecht wird, stellen Aerogele dar.

Ausgehend vom Herstellungsverfahren bis hin zum Endprodukt und seiner besonderen chemischen Struktur wird nachfolgend der Beweis geführt, daß Aerogele eine Langzeitlösung mit dem oben aufgeführten Eigenschaftsprofil darstellen.

Herstellungsverfahren

Eine verdünnte Wasserglas-Lösung (Na₄SiO₄) wird über einen Ionentauscher geschickt. Dabei werden die Na⁺-Ionen gegen H⁺-Ionen ausge-

Abb. 1 Herstellungsverfahren (Teil 1).



* Als Vortrag gehalten anlässlich der Deutschen Kälte-Klima-Tagung 1996 des DKV vom 20.-22. 11. 1996 in Leipzig.

tauscht. Die entstehende freie Kieselsäure (H_4SiO_4) ist nicht stabil und spaltet unter Ausbildung von Si-O-Si-Bindungen Wasser ab.

Dieser Prozeß läuft in allen drei Raumrichtungen gleichzeitig ab. Es entstehen größere Teilchen, die schließlich ein dreidimensionales Netzwerk bilden. Die Lösung wird fest. Es hat sich ein Gel gebildet, das das darin enthaltene Wasser fest eingebunden hat (siehe Abb. 1).

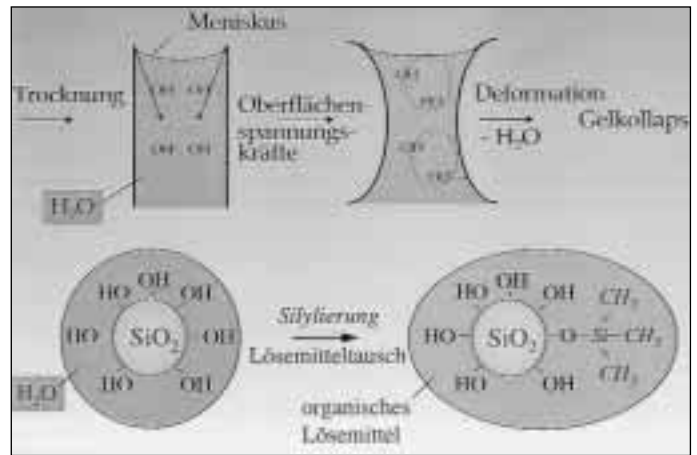
Versucht man nun, dieses wäßrige Gel zu trocknen, kommt es zum Zusammenbruch der Gelstruktur.

Das Gel besteht aus lauter kleinen Kapillaren (ca. 10 nm). Auf der Oberfläche sitzen immer noch freie OH-Gruppen. Beim Trocknen bildet sich eine Phasengrenzschicht. Durch die starke Oberflächenspannung kommen sich die auf den Wänden der Kapillaren sitzenden OH-Gruppen so nahe, daß unter Wasserabspaltung weitere Si-O-Si-Bindungen geknüpft werden und das Gel kollabiert.

Hoechst hat nun einen Prozeß entwickelt, indem man die Gele auf unterkritischem Wege trocknet. Das Wasser im Gel wird im ersten Schritt gegen ein organisches Lösemittel ausgetauscht. Dies hat den Vorteil, daß die Verdampfungsenthalpie und die Oberflächenspannung deutlich niedriger sind als bei Wasser. In einem zweiten Schritt werden ein Teil der OH-Gruppen auf der Oberfläche durch Trimethylsilyl-Gruppen ersetzt (siehe Abb. 2). Die Hydroxid- und die Methylgruppe (= CH_3 -Gruppe) reagieren nicht miteinander. Außerdem sorgen die Methylgruppen für sterische Behinderungen, so daß sich noch vorhandene OH-Gruppen nicht zu nahe kommen können und damit auch kein weiteres Wasser abgespalten wird.

Anschließend wird bei Normaldruck getrocknet. Aufgrund der Stabilisierung des Gitternetzes können die bei der Trocknung des Lösemittels auftretenden kontraktiven Oberflächenspannungskräfte dem Gittergerüst nichts anhaben; es schrumpft bzw. altert nicht. Bisher konnte man diese Oberflächenspannungskräfte nur dadurch überwinden (BASF-Verfahren), indem man das Gel im überkritischen Zustand, d. h. bei höheren Drücken und Temperaturen, trocknet. Nur bei einem überkritischen Fluid ist der Unterschied zwischen Gas und Flüssigkeit aufgehoben, es gibt keine Grenzflächen und damit auch keine Oberflächenspannungen mehr. Kritischer Druck und kritische Temperatur

Abb. 2 Herstellungsverfahren (Teil 2).



hängen von der Flüssigkeit ab. Im Falle von Aceton z. B. bedeutete dies 235 °C und ca. 47 bar, sicherlich keine leichten Bedingungen für ein Herstellungsverfahren im großtechnischen Maßstab.

Das Endprodukt Aerogel besteht also in 1. Linie nur aus SiO_2 -Ketten und Luft. Aerogele in natura betrachtet können als durchsichtige Zylinder oder in Granulatform hergestellt werden.

Zusammenfassend bleibt festzustellen, daß Aerogele

1. hochporöse Feststoffe mit einer Dichte $< 300 \text{ kg/m}^3$ sind,
2. ein Porenvolumen $> 80 \%$ aufweisen, wobei der Porenradius bei ca. 10 nm liegt und die Oberfläche ca. $800 \text{ m}^2/\text{g}$ beträgt,
3. temperaturbeständig bis $250 \text{ }^\circ\text{C}$ sind,
4. langzeitstabil (kein Alterungseffekt) und wasserabstoßend sind,
5. transluzent und unbrennbar (da anorganisch) sind,
6. ökologisch sowie toxikologisch unbedenklich sind und
7. eine Wärmeleitfähigkeit von nur $10\text{--}15 \text{ mW/mK}$ aufweisen.

Diese geringe Wärmeleitfähigkeit hebt sich vor allem im Vergleich zu anderen

herkömmlichen Dämmstoffen positiv ab (siehe Abb. 3). Wie man sieht, weist der Aerogel-Zylinder eine geringere Wärmeleitfähigkeit auf als das Pulver. Dies ist dadurch begründet, daß selbst die dichteste Kugelpackung – und als solche wird das Pulver hier betrachtet – Zwischenräume aufweist, die mit Luft gefüllt sind, wobei diese Zwischenräume ca. $1/3$ des Gesamtvolumens ausmachen und wie die Grafik ebenfalls zeigt, besitzt Luft eine höhere Wärmeleitfähigkeit als Aerogele.

Worauf beruht die geringe Wärmeleitfähigkeit der Aerogele?

Zur Beantwortung dieser Frage werden an dieser Stelle die drei Wärmeübertragungsmöglichkeiten aufgezeigt:

1. Konvektion,
2. Strahlung,
3. Leitung.

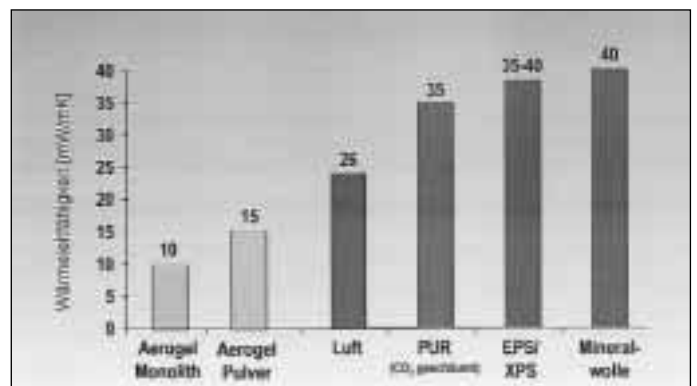
Konvektion

Konvektion bzw. Strömung der Luft ist aufgrund der extrem kleinen Poren (ca. 10 nm) nahezu ausgeschlossen.

Strahlung

Die Wärmestrahlung wird bei Temperaturen unterhalb ca. $20 \text{ }^\circ\text{C}$ in ausrei-

Abb. 3 Vergleich der Wärmeleitfähigkeit unterschiedlicher Dämmstoffe.



chendem Maße vom Kettengerüst bzw. den SiO₂-Einheiten absorbiert. Bei höheren Temperaturen nimmt der Strahlungstransport jedoch zu. Um dies zu verhindern, kann man das Aerogel z. B. mit Ruß, einem sehr effektiven Infrarotabsorber modifizieren. Die Aerocele sind dann zwar nicht länger transluzent, isolieren aber dafür besser.

Leitung

Hier ist zwischen Feststoff- und Gaswärmeleitfähigkeit zu unterscheiden. Die Feststoffwärmeleitung ist aufgrund der hochverzweigten, porösen Struktur stark behindert. Sie nimmt mit zunehmender Porosität bzw. abnehmender Dichte ab.

Die Gaswärmeleitung ist ebenfalls sehr gering, denn bei einer mittleren Porengröße von nur 10 nm im Vergleich zur mittleren freien Weglänge der Luftmoleküle von 70 nm stoßen die Luftmoleküle statistisch betrachtet eher mit den Porenwänden zusammen statt mit den Nachbarmolekülen.

Aerogel-Komposite

Die praktische Anwendung der Aerocele in Form von Granulat ist in Kompositen mit Schäumen, Polymeren, Klebern, Zement, Fasern usw. gegeben.

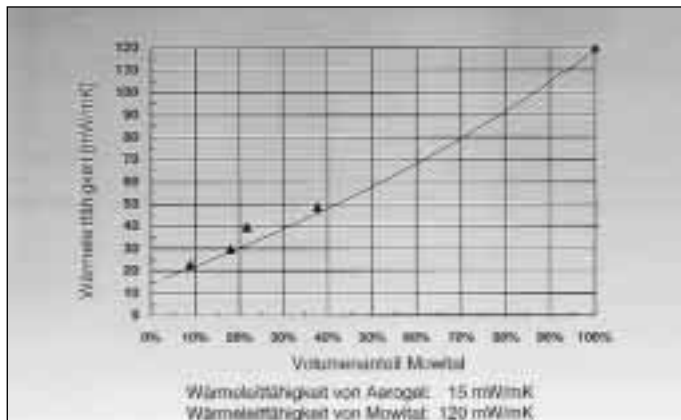
Hierzu ein Beispiel:

Das von Hoechst produzierte Polymer Mowital wurde mit verschiedenen Volumenanteilen an Aerogel-Granulat versehen, und anschließend wurde die Wärmeleitfähigkeit dieser Komposite bestimmt (siehe Abb. 4). Die Wärmeleitfähigkeit des reinen Mowitals beträgt 120 mW/mK, die des reinen Aerogel-Granulats 15 mW/mK. Bei einem Volumenanteil von 90 % Aerogel und 10 % Mowital beträgt die Wärmeleitfähigkeit ca. 23 mW/mK.

Die experimentellen Werte konnten sehr gut durch theoretische Berechnungen nachvollzogen werden. Dieser Sachverhalt sollte nicht nur für das Polymer Mowital, sondern auch für andere Komposite gegeben sein, so daß eine Vorausberechnung der Wärmeleitfähigkeit eines Komposits, bestehend aus Aerogel und einem Schaumstoff auf Basis synthetischen Kautschuks (z. B. Armaflex), vertretbar ist (siehe Abb. 5).

Geht man z. B. von einer Mischung bestehend aus 70 % Aerogel und 30 % Armaflex aus, so kann man bei einer mittleren Temperatur von -10 °C mit

Abb. 4 Mowital – Theorie und Praxis.



einer Wärmeleitfähigkeit von ca. 17 mW/mK rechnen. Reines Armaflex weist bei dieser Temperatur 35 mW/mK, ein mit R 11 getriebener PUR-Schaum 19 mW/mK auf.

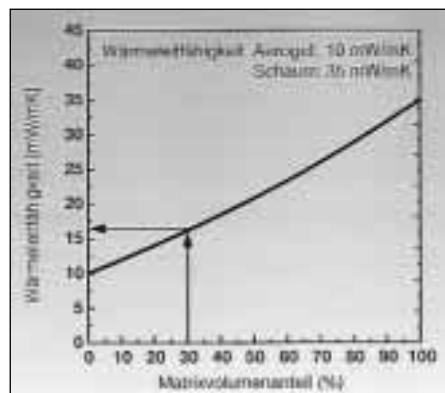


Abb. 5 Wärmeleitfähigkeit des Aerogel-Komposits.

Man stelle sich nun einen Verdampfer in einem Kältekreislauf vor, dessen Verdampfungstemperatur -40 °C und die Fläche 20 m² betragen, die Umgebungstemperatur beträgt 20 °C. Dieser Verdampfer soll mit einer 80 mm dicken Isolierschicht versehen werden. Wird er mit reinem Armaflex isoliert,

beträgt der Kälteverlust ca. 0,52 kW. Bei einer Isolierung mit R 11 getriebenem PUR-Schaum beträgt der Verlust 0,28 kW, und nimmt man das Komposit aus Armaflex und Aerogel, so beträgt der Verlust sogar nur 0,25 kW.

Bei einem Strompreis von 26 Pf pro kWh und 8000 Betriebsstunden bedeutet dies weitere Betriebskosten für den Ausgleich der Kälteverluste in Form von zusätzlicher Verdichterleistung (siehe Tab. 1).

Die Tabelle zeigt deutlich, daß man mit einem Aerogel-Komposit dieselben guten Dämmeigenschaften erreicht wie ehemals mit R 11 getriebenen PUR-Schäumen bzw. diese sogar noch leicht übertrifft. Vergleicht man die Kosten, die bei einer Armaflexisolierung im Vergleich zum Komposit entstehen, so liegen diese doppelt so hoch.

Zusammenfassung

Aerogele bestehen aus einem SiO₂-Gerüst, dessen Poren mit Luft gefüllt sind. Dementsprechend sind Aerocele sowohl in ökologischer (ODP = 0, GWP = 0) als auch toxikologischer Hinsicht absolut unbedenklich, so daß bei diesem Produkt nicht mit politischen

Tabelle 1 Energie-sparpotentiale verschiedener Isolierungen.

Basis: Verdampferoberfläche 20 m ² Isolierschichtdicke 80 mm Temperaturdifferenz 60 K				
	Wärmeleitfähigkeit [mW/mK]	Kälteverlustleistung [kW]	Energieverbrauch bei 8000 h [kWh]	Energiekosten bei 8000 h [DM]
Armaflex	35	0,52	3520	915
R 11/PUR	19	0,28	1920	499
Komposit	17	0,25	1680	437

Restriktionen zu rechnen ist. Aerogele stellen eine Langzeitlösung dar, die neben Unbrennbarkeit und umweltfreundlicher Recyclingfähigkeit zudem eine äußerst geringe Wärmeleitfähigkeit von nur 10–15 mW/mK aufweisen und das ohne zeitliche Beschränkung

im Gegensatz zu Vakuum-Isolations-Panels (= VIPs), die mit einer Wärmeleitfähigkeit von 6–8 mW/mK zwar noch besser isolieren, deren Lebensdauer jedoch aufgrund einer wenn auch sehr geringen Leckagerate nach Angaben von Degussa [1] auf ca.

15 Jahre beschränkt ist, einhergehend mit einer Verschlechterung der Wärmedämmleistung.

Literatur

[1] Vakuumisolation auf Kieselsäurebasis, KK 10/1992.



Dipl.-Ing. Rüdiger Pielke

Dieser Beitrag ist das Ergebnis einer Reklamations-Bearbeitung. Es handelt sich hier um folgenden Fall:

In einem Kellergeschoß-Raum befand sich eine USV (unterbrechungsfreie Stromversorgungs)-Anlage. Zur Abführung der anfallenden Verlustwärme der USV-Anlage war ein Umluftkühlgerät mit einer Kälteleistung von 3,55 kW eingebaut.

Betriebsdaten

USV-Anlage

Leistung: 60 kVA, Normalbetrieb bei 40 % Last!

Räumlichkeit

Kellergeschoß, L = 4,50 m, B = 2,20 M, H = 3,50 m.

Reklamiert wurde, daß sich im Raum eine zu hohe Temperatur einstellt. Es konnte sich um folgende Störursachen handeln:

- Das Kühlgerät konnte zu klein dimensioniert sein,
- die Ventilationsleistung an der USV-Anlage konnte gestört sein.
- Man mußte die Möglichkeit in Betracht ziehen, daß die VSV-Anlage

Gemessen, gerechnet und analysiert

Rüdiger Pielke, Maintal

einen höheren Kühlbedarf hatte als einmal angenommen war. Abb. 1 zeigt die räumliche Anordnung der Geräte.

Zunächst wurde die Austrittstemperatur am Kühlgerät gemessen. Diese lag bei ca. 18 °C, man spürte den Luftstrom des Zuluftventilators, die Filtermatte im Gerät war sauber. Das Gerät arbeitete ganz offensichtlich einwandfrei. Die große Unbekannte war die USV-Anlage. Die Luftansaugung erfolgte vom Bodenbereich her. Die Warmluft wurde auf einer oberen Seite über Schlitzgitter entsprechend Abb. 2 abgeführt.

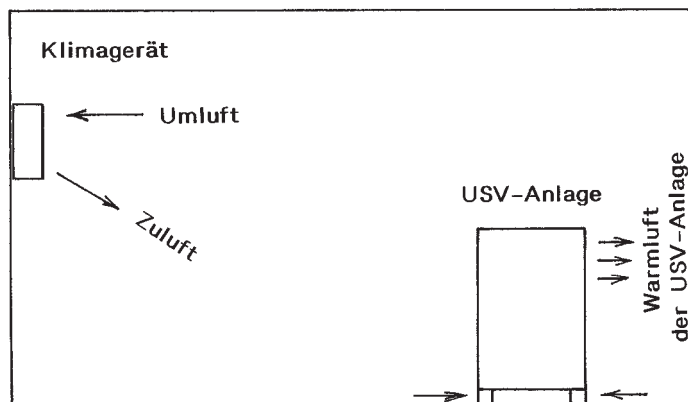
Zur Erstellung einer Störungs-Analyse war es erforderlich, den Luftvolumenstrom der USV-Anlage und die Temperaturdifferenz zwischen Luftein- und Austritt zu ermitteln. Zur Luftvolumen-

stromermittlung standen für die erforderliche Luftgeschwindigkeitsmessung 3 verschiedene Flügelrad-Anemometer zur Verfügung. Dies waren:

- Ein mechanisches Flügelrad-Anemometer mit 100 mm Meßkopf.
 - Ein elektronisches Flügelrad-Anemometer mit 66 mm Meßkopf.
 - Ein weiteres elektronisches Flügelrad-Anemometer mit 25 mm Meßkopf.
- Es mußte jetzt eine Meß-Strategie gefunden werden, denn die Meßverhältnisse waren schlecht.

Ausgewählt wurde das Anemometer mit dem 66-mm-Meßkopf, weil dieser sich ideal auf die Luftaustritts-Schlitzfläche zur Messung von Teil-Luftströmen aufsetzen ließ. Es konnte so die Absicht verfolgt werden, eine Luftaustritts-Schlitzreihe von links nach rechts Stück für Stück durchzumessen. Ins-

Abb. 1 Schnittbild durch den Raum mit Klimagerät (links oben) und USV-Anlage.



gesamt ergaben sich somit 14 Meßpunkte pro Schlitzreihe.

Es mußte jetzt nur eines bedacht werden: Als Luftaustrittsfläche mußte die freie Schlitzfläche bestimmt werden, die das Flügelrad jeweils abdeckte. Diese Fläche wurde entsprechend Abb. 3 auf Millimeterpapier empirisch ermittelt.

In der Praxis sah dies so aus, daß das Schlitzgitter maßgenau auf Millimeterpapier aufgezeichnet wurde, daß dann ein 66-mm-Kreis gezogen und die freie Schlitzfläche innerhalb des Kreises durch Auszählen der Millimeterquadrate bestimmt wurde. Dann konnte gerechnet werden.

Die Beschreibung zeigt, daß die Arbeit etwas mühsam war, aber es ergab sich auch die Bestätigung dafür, daß sich die Sorgfalt gelohnt hatte. Das Meßergebnis deckte sich nämlich schließlich nahezu mit der Soll-Luftmenge, die der Hersteller der USV-Anlage angegeben hatte.

Die Aufnahme der Meßdaten und die anschließende Berechnung soll nun gezeigt werden.

Jede der 3 Luftaustritts-Schlitzreihen bestand aus 96 Einzelschlitzzen von 6 mm Breite und 79 mm Höhe. Unten und oben waren die Schlitzze kreisförmig gerundet. Dazwischen lag jeweils ein Steg von 4,5 mm Breite.

2 Arten von Messungen wurden durchgeführt:

1. Der 66-mm-Flügelradmeßkopf wurde je Reihe 14 mal gleichmäßig auf das Schlitzfeld aufgelegt und dann wurde jeweils 16 Sekunden lang gemessen. So ergaben sich insgesamt $3 \times 14 = 42$ Meßpunkte.

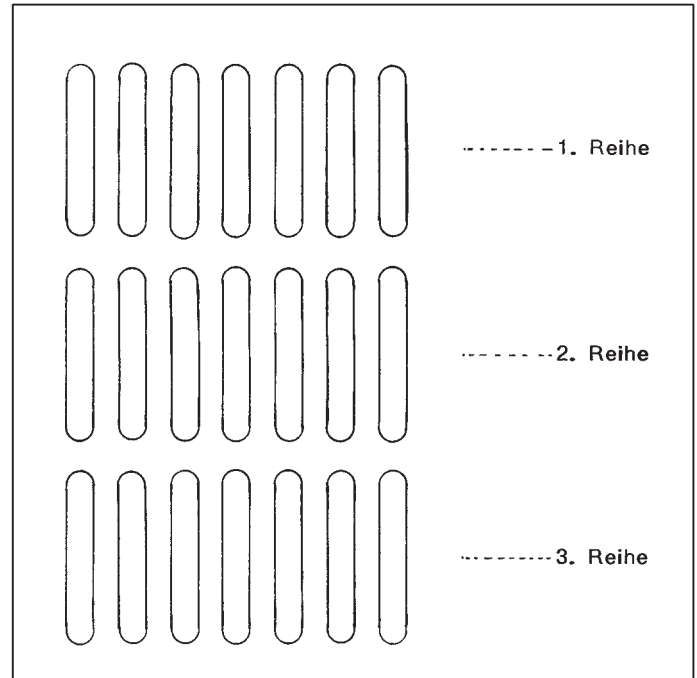
2. Es wurden je Reihe 2 St. „Wendelmessungen“ über den Gesamt-Querschnitt des Schlitzauslaßgitters vorgenommen. Es ergaben sich die folgenden, protokollierten Werte:

- 1. Reihe: 0,35 m/s,
- 2. Reihe: 1,80 m/s,
- 3. Reihe: 3,70 m/s.

Übersicht über die Meßflächen: Ein gestanzter Luftaustrittsschlitz von 79 mm Höhe (oben und unten gerundet) und 6 mm Breite stellt eine freie Fläche von $4,64 \text{ cm}^2$ dar. Die freie Schlitzfläche einer Reihe (96 Schlitzze) beträgt dann $445,44 \text{ cm}^2$.

Die freie Fläche unter dem aufgesetzten Flügelrad-Meßkopf von 66 mm \varnothing wurde dann auf mm-Papier empirisch durch Aufzeichnen und Auszählen er-

Abb. 2 Warmluft-Luftaustrittsfläche an der USV-Anlage. Je Reihe waren 96 St. Einzelschlitzze ausgestanzt.



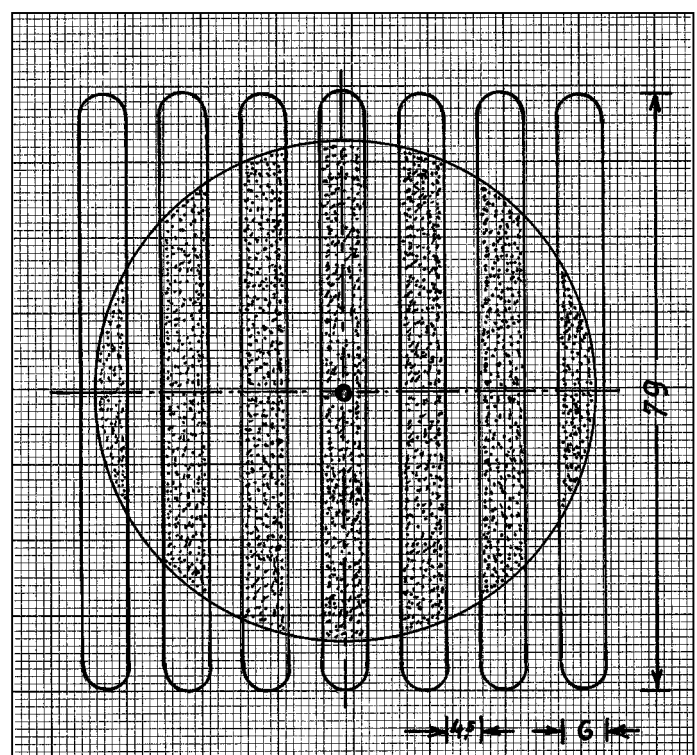
mittelt. Sie beträgt $19,20 \text{ cm}^2$. Bei 14 Messungen je Reihe ergeben sich insgesamt $268,80 \text{ cm}^2$. Bei der Auswertung der Meßergebnisse mußte folgender Gedanke berücksichtigt werden: Gegenüber der „Wendelmessung“, die den Gesamt-Querschnitt i. M. erfaßt, wurde bei der Punktmessung nur ein Teil-Luftstrom gemessen!

Die Gesamtfläche und die Teilfläche sind somit zueinander ins Verhältnis zu setzen und der ermittelte Teil-Volumenstrom ist mit dem sich ergebenden Faktor zu multiplizieren!
Faktor-Ermittlung:

$$F_{\text{ges.}} : F_{\text{Teil}} = 445,44 : 268,8 = 1,66$$

Lt. Luftgeschwindigkeits-Meßprotokoll (Tabelle 1) wurde anhand der Mittel-

Abb. 3 Der Flügelradanemometer-Meßkopf von 66 mm \varnothing wurde je Schlitzreihe 14 mal so zur Luftgeschwindigkeitsmessung aufgesetzt.



Meßpunkt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	m/s i.M.	V (m³/h)
1. Reihe	0,27	0,39	0,0	0,0	0,0	0,41	0,45	0,30	0,27	0,42	0,47	0,50	0,56	0,59	0,33	32
2. Reihe	0,84	1,23	1,32	1,30	1,28	1,49	1,77	1,94	1,72	1,65	1,08	1,53	2,09	1,73	1,50	145
3. Reihe	2,27	3,74	5,14	3,44	3,72	3,60	3,58	3,33	3,28	3,85	3,44	3,27	3,96	3,08	3,48	333

Tabelle 1 Protokoll der Luftgeschwindigkeitsmessungen in m/s.

$V_{\text{Teil}} = \underline{\underline{510}}$

werte der Teil-Luftvolumenstrom errechnet, und zwar 510 m³/h. Die Multiplikation mit Faktor 1,66 ergibt den Gesamt-Volumenstrom 846,60 m³/h.

Wie ein Vergleich der Mittelwerte für die Luftgeschwindigkeiten ergibt, liegen diese bei den „Wedelmessungen“ ca. 10–20 % höher.

Da bei der Punktmessung die Meßstelle durch den Widerstand des Anemometer-Meßkopfes auch etwas beeinflusst wird, sollte man das Meßergebnis um 5 % nach oben hin korrigieren.

Der Luftvolumenstrom beträgt dann $846,6 \times 1,05 = 888,93 \text{ m}^3/\text{h}$.

Der Sollwert wurde mit $V = 900 \text{ m}^3/\text{h}$ angegeben.

Das Meßergebnis kam dem Sollwert so sehr nahe. Die übliche Fehlergrenze von $\pm 10 \%$ konnte hier etwas eingengt werden, da die Vielzahl der Messungen und die praktizierte Genauigkeit mit zu berücksichtigen waren. Als Fehlergrenze wurden hier $\pm 5 \%$ Ungenauigkeit angesetzt.

Temperaturmessung

Verwendet wurde ein Digital-Thermometer mit der Meßgenauigkeit: 0,1 °C. Gemessen wurde die Ansaugtemperatur im Sockelbereich der USV-Anlage über alle vier Seiten. Temperaturen

wurden ermittelt wie sie in Abb. 4 dargestellt sind.

Da ein definierter Luftstrom der jeweiligen Ansaugseite nicht zugeordnet werden konnte, wurde das arithmetische Mittel aus allen Ansaugpunkten mit 24,1 °C ermittelt.

Am Luftaustritt wurden folgende Temperaturen gemessen:

1. Schlitzreihe
28,3 27,8 31,1 27,6 27,3 °C.
2. Schlitzreihe
30,5 32,5 35,2 32,5 30,0 °C.
3. Schlitzreihe
32,6 32,6 36,3 34,1 29,3 °C.

Aus den vorgenannten Temperaturen

ergibt sich für die jeweilige Schlitzreihe folgende Mitteltemperatur:

1. Schlitzreihe 28,4 °C.
2. Schlitzreihe 32,1 °C.
3. Schlitzreihe 33,0 °C.

Da die Luftverteilung in dem Ausblasbereich nicht gleichmäßig ist, wurde der ermittelten Schlitzmitteltemperatur der jeweilige Luftstrom zugeordnet.

1. Schlitzreihe 6,27 °C.
2. Schlitzreihe 28,43 °C.
3. Schlitzreihe 65,30 °C.

Nun kann die „mittlere“ Ausblastemperatur „t“ berechnet werden:

$$t = 0,0627 \times 28,4 \text{ °C} + 0,2843 \times 32,1 \text{ °C} + 0,653 \times 33,0 \text{ °C}$$

$$t = 32,5 \text{ °C}$$

Rechnerische Ermittlung der Verlustwärme der USV-Anlage

Der bisherige meßtechnische Aufwand wurde betrieben, um eine mögliche Störungsursache zu finden. Aber weder die Messungen noch die korrespondierenden Berechnungen deuteten auf eine Störung hin.

So mußte nun der Frage nachgegangen werden „wie groß ist die Verlustwärme der USV-Anlage“? Ist sie größer oder kleiner als die Leistung des installierten Klimagerätes?

Aus den aufgenommenen und berechneten Daten mußte der Wärmestrom der USV-Anlage nach „bekannter“ Formel berechnet werden:

$$Q = m \times c \times t.$$

Das heißt, in die Gleichung einzusetzen und miteinander zu multiplizieren sind:

Massenstrom der Luft × spezifischer Wärme × Temperaturdifferenz (Luft-EIN ÷ Luft-AUSTRITT)

$$Q = 888,9 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,17 \text{ kg/m}^3 \times 0,279 \text{ Wh/kgK} \times (32,5 - 24,1) \text{ K}$$

$$Q = 2438,4 \text{ W.}$$

Vom Hersteller der USV-Anlage war zu erfahren, daß bei einer Auslastung über dem „Normalbetrieb“ ein weiterer

Anstieg der Verlustwärme nicht zu erwarten ist. Auf diesem Niveau erfolgt eine „Stabilisierung“.

Die Gesamt-Kälteleistung des installierten Klimagerätes beträgt 3550 Watt. Geht man davon aus, daß die „sensible Leistung“ des Gerätes 70 % der Gesamt-Kälteleistung beträgt, so ergeben sich für

$$Q_{\text{sen.}} = 0,7 \times 3550$$

$$Q_{\text{sen.}} = 2485 \text{ Watt.}$$

Damit ist nachgewiesen, daß die Leistung des Klimagerätes größer ist als die Wärmeverlustleistung der USV-Anlage.

Meßtechnisch und rechnerisch ist somit „alles in Ordnung“. Hat der Kunde nun zu Unrecht reklamiert? Die Antwort muß „NEIN“ lauten, die von ihm vorgenommenen Messungen waren nicht falsch, im Bereich der USV-Anlage war es zu warm!

So stellt sich die Frage, „was ist hier nicht in Ordnung?“

Die Antwort lautet: „Die Luftverteilung“. Man betrachte Abb. 1 . . . und es muß doch die „Erleuchtung“ kommen.

Das Klimagerät „kühlt im linken Bereich“, die USV-Anlage „wärmt im rechten Bereich“ des Raumes. Warmluft und Kaltluft „mischen sich nicht“, weil keine ausreichende Luftzirkulation von den Geräten ausgeht. Das Klimagerät saugt somit keine ausreichende Warmluft zur Kühlung an, sondern eher „gerade gekühlte Luft“. Damit erreicht es nicht den erforderlichen Dauerlauf . . . und so wird es im Raum „zu warm“!

Es wurde der Rat erteilt, einen Zusatzventilator einzusetzen, der einzig und allein die Aufgabe übernehmen sollte, dem Klimagerät Warmluft aus dem Bereich der USV-Anlage zuzuführen.

Warmluft und Kaltluft mischen sich nur zwangsweise! Diese Gesetzmäßigkeit mußte realisiert werden.

Um diese Aussage jedoch machen zu können, mußte zunächst „gemessen, gerechnet . . . und dann analysiert werden“!

Abb. 4 Draufsicht auf die USV-Anlage mit den gemessenen Boden-Luftansaug-Temperaturen.

