

# Probleme des Klimas und der Klimakontrolle

Von Edgar Denninger, Stuttgart

Unter dem Begriff Klima wird in der Meteorologie der mittlere Zustand der Atmosphäre über einem bestimmten Gebiet und der für dieses Gebiet charakteristische Ablauf der Witterung verstanden. Als wichtigste Klimaelemente werden an den meteorologischen Stationen laufend beobachtet:

Temperatur, Luftdruck, Wind-Richtung und -Stärke, Niederschläge, Luftfeuchtigkeit, Bewölkung und Sonnenscheindauer. Die Auswertung dieser Messungen führt dann zu den amtlichen Wettervorhersagen, die für einen oder mehrere Tage mit mehr oder weniger großer Genauigkeit die kommende Witterung angeben. Vom Außenklima wird weitgehend auch das Klima in Innenräumen bestimmt, das indessen, besonders durch die winterliche Heizung, in wesentlichen Werten stark verändert werden kann. Das gilt außer für die Temperatur insbesondere für die Luftfeuchtigkeit. Wie hoch diese für das Wohlbefinden der Menschen in Innenräumen bewertet wird, beweisen die heute in Neubauten in steigendem Maße vorgesehenen Klimaanlage, deren Hauptaufgabe es ist, die für den Menschen förderlichste Luftfeuchtigkeit zu erzeugen und zu erhalten.

Nach den Lüftungsregeln des Vereins Deutscher Ingenieure gelten in Deutschland als Mindestforderungen für den Winter eine Raumlufttemperatur von 20° C und 35—70 % relative Luftfeuchte und für den Sommer bei 22° Raumlufttemperatur eine relative Luftfeuchte von 70 %; bei 25° C nur 60 % relative Luftfeuchte.

In vielen Industriebetrieben wird je nach der Art der dort hergestellten Erzeugnisse ein besonderes Klima verlangt, aber auch für Krankenhäuser, Büchereien und Museen sind optimale Werte für Temperatur und Luftfeuchtigkeit festgelegt worden. Die folgende Tabelle gibt diese Werte im einzelnen wieder:

Tabelle 1

Betrieb	° C	% r. F.
Textil-	20—25	50—80
Druckerei-	20—22	60—70
Krankenhaus- (Oper.-Raum)	24—27	40—65
Bücherei	18—20	40—60
Museen	18—22	55—65
Ideales Klima für Museen	20	60

## Das Klima in Museen, Kirchen und Sammlungen

In unserem Zusammenhang interessieren in erster Linie die Werte für Temperatur und relative Luftfeuchte in Museen, für die als ideale Mittelwerte 20° C und 60 % relative Feuchtigkeit angesehen werden können. Unter diesen klimatischen Bedingungen fühlen sich nicht nur der Mensch, sondern auch die Museumsobjekte, wie Holzskulpturen, Holztafel- und Leinwandbilder, am wohlsten.

In einem solchen Klima stehen z. B. Hölzer mit der umgebenden Atmosphäre in einem Gleichgewicht derart, daß im Holz 12—15 % Wasser verbleiben, die damit ein völliges Austrocknen des Holzes verhindern. Ein weiteres Austrocknen würde zu einem starken Schwinden des Holzes und zur Bildung von Rissen führen, so daß dadurch die Fassung der Skulptur oder die Bildschicht des Holztafelbildes ihre Bindung mit dem Holz verlieren und abspringen würde. Gleichbleibende relative Luftfeuchtigkeit und gleichbleibende Temperatur in den oben angegebenen Grenzen sind die Voraussetzung für die gute Erhaltung von Museumsobjekten. Insbesondere können plötzliche und oft wechselnde Änderungen von Temperatur und Luftfeuchtigkeit zu Schäden an den Kunstwerken führen.

Es ist deshalb der Transport eines Kunstwerkes etwa zwecks Verleihung für eine Ausstellung immer mit der Gefahr seiner Schädigung verbunden, so daß besonders wertvolle Werke nicht aus ihrem oft seit Jahrhunderten konstanten Klima entfernt werden sollten. In neuerer Zeit wird das gleiche Problem jedoch auch da akut, wo z. B. in alte Kirchen, die jahrhundertlang ohne Heizung waren, eine Warmluftumwälzung eingebaut wird. Die dadurch erzeugte starke Luftumwälzung führt immer, wenn auch bestenfalls nur zeitweise, zu einer Veränderung des Raumklimas, so daß sich bald beträchtliche Schäden an den Holzkonstruktionen, wie an Orgeln, Skulpturen, Bildern, Balustraden usw. zeigen. Muß daher für den Kirchenbesucher eine Heizungsmöglichkeit geschaffen werden, so sollte diese auf alle Fälle so konstruiert werden, daß nur der Luftraum unmittelbar über dem Gestühl der

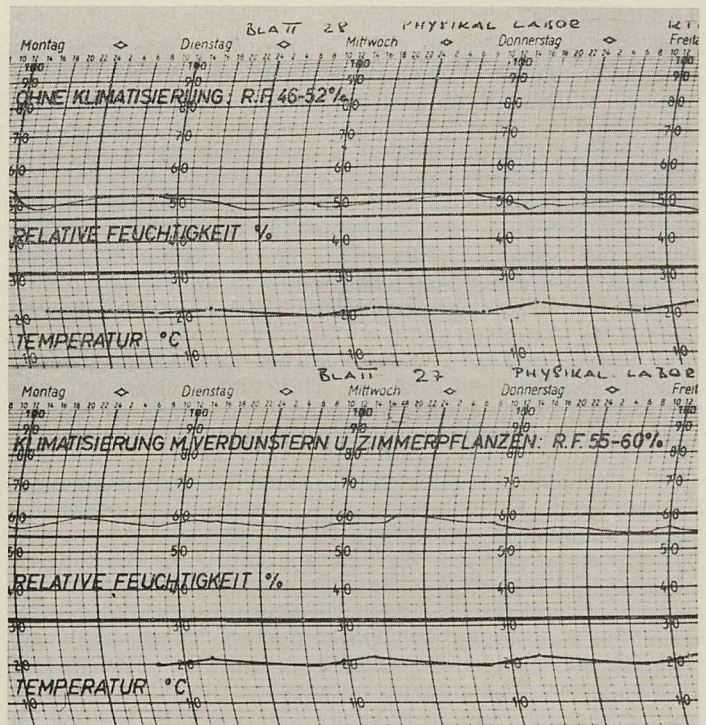
Kirchenbesucher temperiert wird. Die Heizung sollte auf die Zeit des Kirchenbesuches beschränkt bleiben und nur bei besonders tiefen Außentemperaturen benützt werden. In jedem Falle muß vermieden werden, daß eine plötzliche Änderung des Gesamtklimas der Kirche eintritt. Entsprechendes gilt auch für Museen, es sei denn, daß hier eine vollautomatische Klimaanlage für das ganze Gebäude ein konstantes Allgemeinklima gewährleistet.

## Eine freie Luftzirkulation ist notwendig

Für die gute Klimatisierung eines Raumes ist eine freie Luftzirkulation notwendig. So muß vermieden werden, daß sich etwa zwischen Wand und Bild sogenannte „Lufttaschen“ bilden, in deren Bereich völlig abweichende Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse herrschen können. Das gilt besonders auch für Bilddepots, in denen immer eine geringe künstliche Luftbewegung erzeugt werden sollte. Hier genügen langsam laufende Ventilatoren mit großen Flügeln, die für die Luftumwälzung sorgen. Auch an Außenwänden bilden sich oft solche Lufttaschen etwa zwischen Bild und Wand. Um sie zu verhindern, sollten die Bildabstände mindestens 2—3 cm betragen, damit eine, bei nächtlicher Abkühlung der Außenwand eintretende örtliche Zunahme der relativen Luftfeuchtigkeit, die oft bis zur Übersättigung und damit zur Kondensation von Wasser führen kann, vermieden wird.

## Die Klimatisierung von kleineren Räumen

Bei kleineren Museumsräumen kann die Ausstattung des Raumes mit feuchtigkeitsregulierendem Material, wie Textilien, Möbeln oder lebenden Pflanzen, genügen, um ein optimales Museumsklima zu erzeugen. So ergaben Versuche in unserem physikalischen Laboratorium mit einem Rauminhalt von ca. 200 cbm, daß durch die Aufstellung von fünf größeren Blattpflanzen (zwei Gummibäumen [Ficus elastica], einem Philodendron [Monstera deliciosa], einer Begonie multiflora und einer Grünstilbe [Chlorophytum comosum]) das Raumklima wesentlich verbessert werden konnte. Die Pflanzen wurden täglich zweimal mit einer Blumenspritze überbraust. Die Temperatur wurde ebenfalls zweimal abgelesen und lag während der gesamten Versuchsdauer zwischen 20—22° C. Die relative Feuchtigkeit wurde von einem Hygrographen während der Versuchsdauer registriert.



Die Abbildung zeigt die Hygrographenkurven und die Kurven eingetragenen Thermometerablesungen. Während in dem Raum ohne Klimatisierung eine relative Luftfeuchtigkeit von 46—52 % herrschte, stieg diese in der Zeit, während der die oben genannte Klimatisierung durch Aufstellung der

Zimmerpflanzen durchgeführt wurde, auf 55 — 60 % r. F. Mit dieser Methode lassen sich in kleineren Museumsräumen auf verhältnismäßig billige Weise günstige klimatische Verhältnisse schaffen. Die aufgestellten Pflanzen dürften außerdem zur Verschönerung des Raumes beitragen.

Die Anbringung von Verdunstungsgefäßen etwa auf den Heizkörpern der Dampfheizung bringt nach unseren Messungen nur ein geringes Ansteigen der relativen Luftfeuchtigkeit von etwa 2 % r. F. Es wurde dabei bereits mit den wirkungsvolleren Verdunstern, bei denen eine größere feuchte zu haltende Oberfläche von poröser Pappe verwendet wird, gearbeitet. Die zwischen die Rippen der Heizkörper einzuhängenden Verdunster aus porösem Ton ergaben dagegen keinen meßbaren Luftbefeuchtungseffekt.

### Begriff der relativen Feuchtigkeit

Tabelle 2

1 °C	2 absol. Feuchtigk. g/cbm bei 100 % rel. F.	3 absol. Feuchtigk. g/cbm bei 60 % rel. F.	4 % rel. Feuchtigk. die 10,4 g/cbm L. F. entsprechen
0	4,8	2,9	—
10	9,4	5,6	—
11,5	10,3	—	100
18	15,4	9,2	63
20	17,3	10,4	60
22	19,4	11,6	53
25	23,1	13,8	45
28	27,2	16,3	37
30	30,4	18,5	33

Wie die Erfahrung lehrt, ist es für manchen Praktiker schwierig, den Begriff „relative Luftfeuchtigkeit“ zu verstehen. Es soll daher versucht werden, diesen Begriff zu erklären. Unter Luftfeuchtigkeit versteht man den in der Raumluft enthaltenen Wasserdampf. Er wird in g/cbm gemessen und als absolute Luftfeuchtigkeit bezeichnet (s. Tabelle 2 Spalte 2 und 3). Diese ist stark temperaturabhängig, und zwar derart, daß die Luft mit steigender Temperatur steigende Wasserdampfmenge aufnimmt. In Tabelle 2 Spalte 2 sind die maximalen Wasserdampfmenge, die ein cbm Luft bei der entsprechenden Temperatur aufzunehmen vermag, für einige Temperaturen angeführt. Diese maximale Dampfmenge in g/cbm Luft, bei der also die Luft wasserdampfgesättigt ist, entspricht somit 100 % relativer Luftfeuchtigkeit. Ist nun weniger Wasserdampf in 1 cbm Luft vorhanden, so bleibt die relative Luftfeuchtigkeit prozentual geringer. Ein Beispiel aus Tabelle 2 soll das erläutern: bei 22° C (Spalte 1) beträgt die maximale absolute Luftfeuchtigkeit 19,4 g/cbm Luft (Spalte 2). Sind in der Luft jedoch nur 11,6 g/cbm Luft enthalten, so errechnet sich die relative Luftfeuchtigkeit nach der Prozentformel zu

$$\frac{11,6}{19,4} \cdot 100 = 60 \% \text{ (Spalte 3).}$$

Aus Spalte 4 kann die Abnahme der relativen Luftfeuchtigkeit mit steigender Temperatur entnommen werden. Ist z. B. bei 11,5° C die Luft in einem geschlossenen Raum feuchtigkeitsgesättigt (100 % r. F.), so nimmt bei steigender Temperatur die r. F. bis zu 33 % bei 30° C ab. Bei 20° C wäre in diesem Beispiel mit 60 % r. F. ein optimales Klima erreicht. Da es sich um einen geschlossenen Raum handelt, blieb während der gesamten Dauer der Temperaturänderung der absolute Wasserdampfgehalt konstant, nämlich 10,4 g/cbm. Da unterhalb 11,5° C die 100 % Sättigung überschritten wird, tritt bei diesen tiefen Temperaturen Wasserdampfcondensation in Form von Wassertröpfchen auf, die sich an kalten Wänden oder an Gegenständen niederschlagen.

### Messinstrumente zur Klimakontrolle

Wie aus den vorstehenden Ausführungen hervorgeht, wird das Klima in Innenräumen in erster Linie durch die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit des Raumes bestimmt. Die genaue Messung dieser Werte in bestimmten zeitlichen Abständen, etwa zweimal am Tage, morgens und abends oder besser ihre laufende Registrierung mit Thermo- und Hygrographen ist daher Vorbedingung für eine wirksame Klimatisierung.

Bei regelmäßiger Ablesung genügen im einfachsten Falle ein genau anzeigendes Zimmerthermometer (die im Handel befindlichen Instrumente sind oft ungenau; man kaufe deshalb diese Instrumente in einem Fachgeschäft und lasse sich das ausgesuchte Thermometer auf seine Genauigkeit prü-

fen) und ein ebenfalls im Handel erhältliches Hygrometer (auch dieses Instrument muß vor Gebrauch nach Angabe der Gebrauchsanweisung eingestellt werden), das die relative Luftfeuchtigkeit direkt anzeigt.

Genauer und auch zur Kontrolle des Hygrometers geeignet ist ein Psychrometer, das aus zwei genau gleichanzeigenden Thermometern besteht, von denen das eine, mit einem Baumwolldocht an seiner Quecksilberkugel versehen, in Wasser taucht. Infolge der Verdunstungskälte am Baumwolldocht zeigt dieses feuchte Thermometer eine niedrigere Temperatur als das trockene an. Aus der Tabelle (Abb.) kann an der ersten Spalte links die Temperatur des feuchten Thermometers entnommen werden. Die oberste Querreihe gibt die Differenz

### %RELATIVE FEUCHTIGKEIT BEI 0° BIS 29° C

FEUCHT THERM.	°C:TROCKENES MINUS FEUCHTES THERMOMETER																				
°C	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10
0	100	90	81	73	64	57	50	43	36	31	26	20	16	15	14	13	12	10	9	8	7
1	100	90	82	74	66	59	52	45	39	33	29	23	19	17	15	14	13	12	11	10	9
2	100	90	83	75	67	61	54	47	42	36	31	26	23	21	20	19	18	17	16	15	14
3	100	90	83	76	69	63	56	49	44	39	34	29	26	25	24	23	22	21	20	17	16
4	100	91	84	77	70	64	57	51	46	41	36	32	28	27	26	25	23	22	21	19	16
5	100	91	85	78	71	65	59	54	48	43	39	34	30	29	27	25	24	22	21	19	17
6	100	92	85	78	72	66	61	56	50	45	41	35	33	31	28	26	24	23	22	20	18
7	100	92	86	79	73	67	62	57	52	47	43	39	35	32	28	27	26	25	23	21	19
8	100	92	86	80	74	68	63	58	54	49	45	41	37	33	30	29	27	26	24	22	20
9	100	93	86	81	75	70	65	60	55	51	47	43	39	36	32	30	29	27	25	24	22
10	100	94	87	82	76	71	66	61	57	53	48	45	41	38	34	33	32	30	26	25	23
11	100	94	88	82	77	72	67	62	58	55	50	47	43	40	36	35	34	32	28	26	24
12	100	94	88	82	78	73	68	63	59	56	52	48	44	42	38	37	35	33	29	27	25
13	100	94	89	83	78	73	69	64	61	57	53	50	46	43	40	39	36	34	30	28	26
14	100	94	89	83	79	74	70	66	62	58	54	51	47	44	41	40	37	35	32	30	27
15	100	94	89	84	80	75	71	67	63	59	55	52	49	46	43	41	38	36	33	31	28
16	100	95	90	84	80	75	72	67	64	60	57	53	50	47	44	42	39	37	34	32	30
17	100	95	90	84	81	76	73	68	65	61	58	54	52	49	46	43	40	38	36	34	31
18	100	95	90	85	81	76	74	69	66	62	59	56	53	50	47	44	42	40	37	35	33
19	100	95	91	85	82	77	74	70	66	63	60	57	54	52	48	45	43	41	39	37	34
20	100	95	91	86	82	78	75	71	67	64	61	58	55	53	49	46	44	42	40	38	36
21	100	95	91	86	83	79	75	71	68	65	62	59	56	54	51	48	46	43	41	39	37
22	100	95	91	87	83	79	76	72	69	65	63	60	57	55	52	49	47	44	42	40	38
23	100	96	91	87	83	80	76	72	69	66	63	61	58	56	53	50	48	45	43	41	39
24	100	96	92	88	84	80	77	73	70	67	64	62	59	56	53	51	49	46	44	42	40
25	100	96	92	88	84	81	77	74	70	68	65	62	59	57	54	52	50	47	45	43	41
26	100	96	92	88	85	81	78	74	71	68	65	63	60	58	55	53	51	48	46	44	42
27	100	96	92	88	85	81	78	75	72	69	66	63	61	59	56	54	51	49	47	45	43
28	100	96	92	88	85	82	79	75	72	69	67	64	62	59	57	55	52	50	48	46	44
29	100	96	92	89	85	82	79	75	73	70	67	64	62	60	58	56	53	51	49	47	45

zwischen trockenem und feuchtem Thermometer an. Die Stelle, an der sich die in der linken Spalte abgelesene Zahl mit der senkrecht von oben abgelesenen kreuzen, gibt die herrschende relative Feuchtigkeit an.

Beispiel: Feuchtes Thermometer: 16° C. Trockenes Thermometer 21° C. Differenz 5 Spalte 5 und 16 kreuzen sich bei 57 % relativer Feuchtigkeit. Wenn es die Mittel erlauben, ist in jedem Falle die laufende Registrierung von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit mit einem Thermo-Hygrograph zu empfehlen, da auf diese Weise auch die Klimaverhältnisse in der Nacht zuverlässig aufgezeichnet werden. So können nächtliche Klimaschwankungen rechtzeitig erkannt und entsprechende Vorkehrungen getroffen werden, um sogenannten Klimastürzen zu begegnen.

Die Hygrometer, die meistens als Haarhygrometer Verwendung finden, werden nach den Angaben des Psychrometers geeicht. An ihnen kann die relative Feuchtigkeit unmittelbar abgelesen werden. Im allgemeinen betragen die Toleranzen bei Hygrometer ± 3 %.

Zum Schluß sei betont, daß es weniger auf die genaue Einhaltung der mittleren relativen Feuchtigkeit ankommt als darauf, kurzfristige größere Schwankungen zu vermeiden. Ein Holz, das mit einer Atmosphäre von z. B. 50 % r. F. im Gleichgewicht steht, wird keine Veränderungen zeigen, dagegen wird es dann, wenn die r. F. in kürzeren Zeiträumen dauernd zwischen 45 und 55 % r. F. schwankt, zu „arbeiten“ beginnen, d. h. schwinden, reißen oder quellen. Damit kommen wir zu der Frage, mit welchen Apparaten kann ein konstantes Klima geschaffen werden? Diese Frage soll, da ihre Beantwortung umfangreichere Darlegung verlangt, einem gesonderten Referat vorbehalten bleiben.