

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 65 (1947)
Heft: 9

Artikel: Behaglichkeits-Masstäbe
Autor: Hottinger, M.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-55837>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 21.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Behaglichkeits-Masstäbe.

DK 628.8.0014

Von Ing. M. HOTTINGER, Zürich

(Schluss von Seite 102)

Das Diagramm, Bild 4, leistet in den Fällen, für die es bestimmt ist, deswegen vorzügliche Dienste, weil die drei Grössen: Temperatur, Feuchte und Luftgeschwindigkeit leicht ermittelt werden können. Dazu eignet sich, sowohl in Räumen, als im Freien, ein Stativ mit aufgeschraubtem Querarm (Bild 5), an dem Hygrometer, Thermometer und Katathermometer aufgehängt werden. Diese Instrumente wiegen einschliesslich gefüllter Thermosflasche, Stativ, Stoppuhr, Protokollheft und Packung nur rd. 2 kg, so dass sie mit Leichtigkeit überallhin mitgenommen werden können; die Messungen erfordern bei einiger Uebung nur wenige Minuten.

Zur genaueren Bestimmung der relativen Feuchte verwendet man Psychrometer. Besonders bekannt ist das *Assmann'sche*. In der Praxis werden auch vielfach das *Haenni-Aspirationspsychrometer*⁸⁾ oder das *Schleuderpsychrometer* von *Krüger*, St. Gallen, Bild 6 (Gewicht rd. 1/4 kg) verwendet. Auf Grund der Ablesungen am Trocken- und am Feuchtthermometer ist die relative Feuchte an Hand der Sprungschen Formel zu bestimmen⁹⁾. Sie lautet:

$$\varphi = \frac{100}{p_r} \left[p_f - \frac{b}{1510} (t_r - t_f) \right] \%$$

Darin bedeutet:

- φ die relative Feuchte der Luft in %,
- t_r bzw. t_f die Temperatur des Trocken- bzw. des Feuchtthermometers in °C,
- p_r bzw. p_f den Sättigungsdruck des Wasserdampfes bei den Temperaturen t_r bzw. t_f in mm QS,
- b den Barometerstand in mm QS.

Die darnach ausgearbeiteten, in der Praxis meist benützten Psychrometertafeln, wie z. B. Bild 7, beziehen sich üblicherweise auf einen Barometerstand b von 755 mm QS, d. h. auf Meereshöhe. So ergibt sich beispielsweise für eine Trockentemperatur von $t_r = 20^\circ$ und eine Feuchttemperatur von $t_f = 15^\circ$ eine relative Feuchte von $\varphi = 59\%$. Wie das aus obiger Formel hervorgeht, sind die so erhaltenen Werte für andere Höhenlagen ü. M. jedoch noch zu korrigieren¹⁰⁾.

Geht man schon so weit, derartige Psychrometermessungen vorzunehmen, so ist es an Hand von Bild 7 ohne weiteres auch möglich, die effektive oder wirksame Temperatur bei ruhender Luft (unter 0,15 m/s) abzulesen. Im oben angeführten Beispiel beträgt $t_w = 18,3^\circ\text{C}$. Das heisst, dass die 20grädige und 59% gesättigte Luft dieselbe Wärmeempfindung auslöst, wie eine 18,3grädige und 100% gesättigte. Ferner geht daraus z. B. hervor, dass einer wirksamen Temperatur von $t_w = 19^\circ\text{C}$ eine Luft entspricht von 20,3° und 70% oder 21,2° und 50% oder 22,3° und 30% Sättigung.

Zur Ermittlung der wirksamen Temperaturen wurden in Amerika Massenversuche mit vielen Personen durchgeführt, indem man sie von einer Kammer in eine andere übertreten liess und dabei Temperatur und Feuchte so lange änderte, bis von mindestens 50% der Personen beim Wechseln gleiches Wärmeempfinden bekundet wurde. Die Ergebnisse wurden dann in Zahlentafeln und

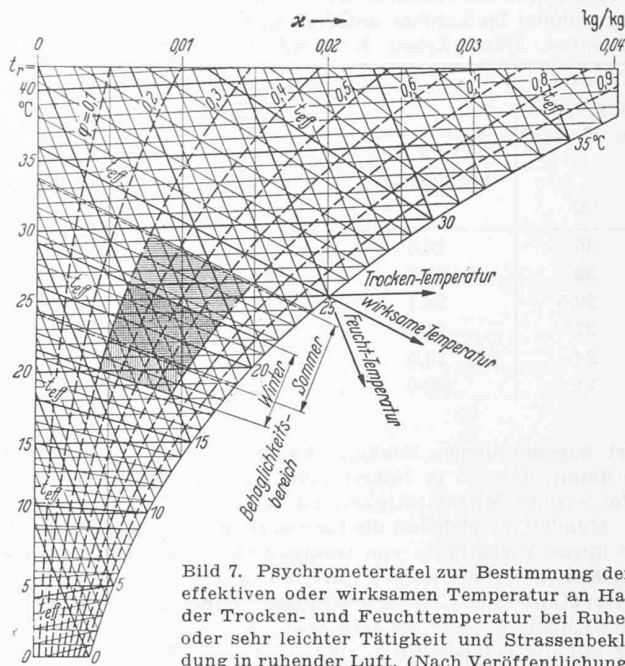


Bild 7. Psychrometertafel zur Bestimmung der effektiven oder wirksamen Temperatur an Hand der Trocken- und Feuchttemperatur bei Ruhe oder sehr leichter Tätigkeit und Strassenbekleidung in ruhender Luft. (Nach Veröffentlichungen der A. S. H. V. E. in «Transactions» und «Journal» 1926 bis 1937)

Kurvenblättern zusammengestellt¹¹⁾. Die Sommer- und die Winterbehaglichkeitszone der Amerikaner ist in Bild 7 durch Schraffur hervorgehoben. Sie fällt mit der bei uns als optimal empfundenen nicht ganz zusammen. Das ist indessen mit Rücksicht auf die Klima- und Rassenverhältnisse, Gewohnheiten und die verschiedene Bekleidungsart leicht verständlich. Es ist nicht zu übersehen, dass New York ungefähr auf der Breite von Neapel liegt und dass in den Tropen nach C. P. Mom¹²⁾ Luftzustände von 20 bis gegen 26°C bei gleichzeitig 90% relativer Feuchte noch als behaglich bezeichnet werden. Allerdings ist das die oberste Grenze der

¹¹⁾ Vgl. Houghteen and Yagloglon: Determining lines of equal comfort. Trans. Amer. soc. of heat. a. ventil. engineers Bd. 29 (1923). S. 163.
¹²⁾ Mom, C. P.: Luftbehandlung in den Tropen. Gesundh.-Ing. Bd. 61 (1938) H. 44, S. 631/637 u. H. 45, S. 647/651.

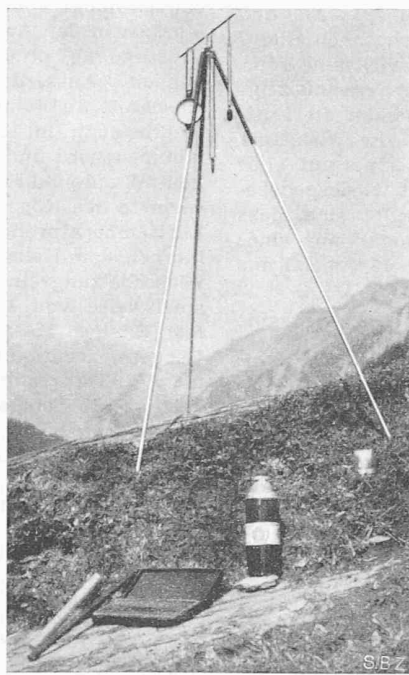


Bild 5. Hygrometer, Thermometer und Katathermometer an einem auf ein Stativ aufgeschraubten Querarm aufgehängt, zur Messung der relativen Feuchte, Temperatur und Geschwindigkeit der Luft

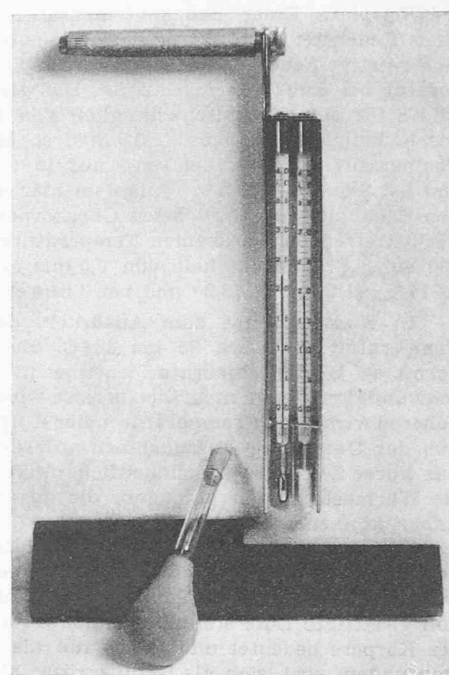


Bild 6. Krüger'sches Schleuderpsychrometer mit Gehäuse und Saugröhrchen zur Befeuchtung des Strumpfes am Nasskugelthermometer mit destilliertem Wasser

⁸⁾ Vgl. SBZ. Bd. 128, S. 292* (Dez. 1946).

⁹⁾ Vgl. hierzu Hottinger, M.: Psychrometrie. Schweiz. Blätter für Heizung und Lüftung, Bd. 14 (1947).

¹⁰⁾ Vgl. hierzu Fischer, L.: Graphische Tafeln für die Psychrometrie. Annalen der Schweiz. Meteorolog. Zentralanstalt. Jg. 1938. — In grossen Höhenlagen ü. M. ist übrigens auch das Diagramm Bild 4 durch ein anderes zu ersetzen. Vgl. hierzu Hottinger, M.: Luftzustand und Behaglichkeit. Gesundh.-Ing. Bd. 61 (1938) H. 39, S. 542/553, sowie Luftzustand und Behaglichkeit in Höhenlagen von etwa 1500 bis 2700 m ü. M. Gesundh.-Ing. Bd. 62 (1939) H. 14, S. 193/197.

Tabelle 8. Zu gewährleistende Trocken-, Feucht- und dementsprechend wirksame Raumtemperaturen bei verschiedenen Aussen-temperaturen im Sommer und Aufenthaltszeiten von weniger als 3 Stunden. (Nach Rybka, Klimatechnik 1938, S. 31.)

Trocken- temperatur im Freien	Angenäherte Zustandsgrössen der Raumluft		
	Trocken- temperatur	Feucht- temperatur	wirksame Temperatur
°C	°C	°C	°C
35	26,5	18,3	22,5
32	25,5	18,0	22,0
29,5	24,7	17,8	21,5
27	24,0	17,5	21,0
24	23,0	17,2	20,5
21	22,0	17,0	20,0

dort zugestandenene Behaglichkeitszone und Mom begründet sie damit, dass es in Indien üblich sei, jede nicht unbedingt erforderliche Muskeltätigkeit zu vermeiden.

Handelt es sich um die Sommerbewetterung von Räumen für kurze Aufenthalte von weniger als 3 Stunden, so werden von Rybka¹³⁾ bei ruhiger Luft die in Tabelle 8 angegebenen Luftzustände als Gewährleistungsgrundlagen für Behaglichkeits-Klimaanlagen vorgeschlagen. Es besteht sowohl in Bezug auf die Temperaturen als auch auf die Luftfeuchte ziemlich gute Uebereinstimmung mit Tabelle 6.

Bei den bisherigen Betrachtungen wurde stets ruhende Luft vorausgesetzt. Ist sie bewegt, so wird dadurch die wirksame Temperatur herabgesetzt. Zur Berücksichtigung dieses Einflusses dient Bild 8. Man verbindet die durch das Trocken- und das Feuchtthermometer festgestellten Temperaturpunkte mit einer Geraden, stellt den Schnittpunkt mit der in Frage kommenden Luftgeschwindigkeitskurve fest und kann dann die wirksame Temperatur ohne weiteres ablesen.

Die sich für eine Luftgeschwindigkeit von 0 m/s aus Bild 8 ergebenden wirksamen Temperaturen decken sich mit den aus Bild 7 ermittelten, weil dieses sich ja auf ruhende Luft bezieht.

Auch bei Bild 8 ist vorausgesetzt, dass sich der Körper in Ruhe befindet und Strassenbekleidung trage. Für andere Zustände, z. B. starke körperliche Betätigung oder entblösten Oberkörper fallen die Schaubilder selbstverständlich anders aus¹⁴⁾.

Beispiel: Einer Trockentemperatur von $t_r = 23^\circ$ und einer Feuchttemperatur von $t_f = 17^\circ$ entspricht nach Bild 7 eine relative Feuchte von $\varphi = 54\%$ und eine wirksame Temperatur bei Ruhe von $t_w = 20,8^\circ$. Das gleiche Ergebnis zeigt Bild 8 für eine Luftgeschwindigkeit von 0 m/s. Ist die Luftgeschwindigkeit dagegen $= 0,5$ m/s, so sinkt die wirksame Temperatur auf 20° , bei 1 m/s auf 19° , bei 2 m/s auf $17,5^\circ$ und bei 3 m/s auf $16,5^\circ$. Aus dem hier nicht wiedergegebenen Schaubild für entblösten Oberkörper ergibt sich, dass die betreffenden wirksamen Temperaturen sogar nur sind: Bei einer Geschwindigkeit von 0,5 m/s $t_{eff} = 17^\circ$, bei 1 m/s $= 15^\circ$, bei 2 m/s $= 13,2^\circ$ und bei 3 m/s $= 11,5^\circ$.

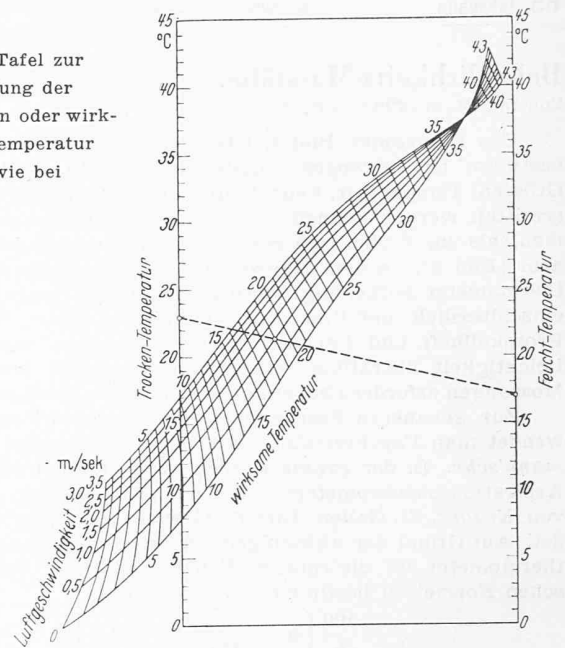
In Bild 8 kommt zum Ausdruck, dass eine wirksame Temperatur von etwa 35 bis 38°C, die also ungefähr der normalen Körpertemperatur entspricht, durch die Luftgeschwindigkeit nicht mehr beeinflusst wird und dass bei noch höheren wirksamen Temperaturen der Körper anfängt, Wärme aus der Umgebung aufzunehmen. Derartige Zustände sind nur kurze Zeit ohne gesundheitliche Störungen ertragbar, da sie Wärmestauungen erzeugen, die sogar tödliche Wirkung haben können.

Es ist an diesem sich auf voll gesättigte Luft beziehenden Masstab allerdings mit Recht eine gewisse Kritik geübt worden, weil u. a. vom klima-physiologischen Standpunkt aus voll gesättigte Luft stets eine Erschwerung der Entwärmung des Körpers bedeutet und daher nie als optimal angenehm empfunden wird, sich als Bezugsgrösse also auch wenig eignet, sowie noch aus andern Gründen (vgl. hierzu F. Bradtke u. W. Liese, Fussnote zu den Bildern 13 bis 15, S. 26).

¹³⁾ Rybka, K. R.: Klimatechnik. 2. Aufl. 1938. Verlag R. Oldenbourg, München und Berlin. Zahlentafel 3, S. 31.

¹⁴⁾ Vgl. z. B. Rybka, K. R.: Fussnote ¹⁰⁾, Seite 25, Bilder 9 und 10.

Bild 8. Tafel zur Feststellung der effektiven oder wirksamen Temperatur (Quelle wie bei Bild 7)



d) Berücksichtigung von Temperatur, Feuchte und Luftgeschwindigkeit sowie der mittleren Strahlungstemperatur der Wandflächen (resultierende Temperatur)

Schliesslich ist in manchen Fällen zur einwandfreien Beurteilung eines Innenklimas noch die mittlere Strahlungstemperatur der Wandflächen zu berücksichtigen. Das ist namentlich dann nötig, wenn die mittlere Temperatur der Raumwände erheblich von der durchschnittlichen Lufttemperatur abweicht, also z. B. wenn stark ausgekühlte Räume mit massiven Wänden (etwa nur sonntags benützte Kirchen oder längere Zeit unbenützt gebliebene Versammlungssäle) rasch hochgeheizt werden. In solchen Räumen muss die Lufttemperatur für gleiches Behaglichkeitsempfinden höher sein als bei warmen Wänden. Und umgekehrt soll sie niedriger sein wenn es sich um Wände mit über der normalen Lufttemperatur liegenden Temperaturen handelt, z. B. bei Deckenheizung. Sind Wand- und Lufttemperatur gleich, so fallen wirksame und resultierende Temperatur natürlich zusammen.

Die Strahlungstemperatur der Aussenwände eines Gebäudes hängt von der Mauerkonstruktion, ferner in hohem Masse von der Anzahl und Grösse der Fenster, sowie dem Umstand ab, ob es sich um einfache oder Doppelscheiben handelt. Ausserdem spielt die Heizart eine Rolle. Unter Abschnitt 3a) wurde bereits erwähnt, dass z. B. bei Fussbankheizung in Kirchen mit 12°C Raumtemperatur ausgekommen wird und ferner darauf hingewiesen, dass bei Decken-, Wand- und Fussbodenheizung, der geringeren Strahlungsverluste des Körpers wegen, unter 18 oder doch 20° liegende Lufttemperaturen genügen. Es ist zu berücksichtigen, dass hierbei der Heizvorgang gegenüber demjenigen bei Heizkörperheizung ein wesentlich anderer ist. In Bild 9 sind beispielsweise von Ingenieuren der Firma Gebr. Sulzer A.G. festgestellte Messergebnisse wiedergegeben, links in mit Decken-, rechts in mit Heizkörperheizung versehenen Räumen¹⁵⁾. Daraus geht deutlich hervor, wie bei der Deckenheizung die Temperaturen der Decke, Seitenwände und des Fussbodens höher, bei Heizkörperheizung niedriger als die Lufttemperatur sind. Nur an den Fensterscheiben und Aussenmauern ist sie in beiden Fällen niedriger. Die Messung der Wandtemperaturen erfolgte in zuverlässiger Weise mit Thermoelementen¹⁶⁾. Die aufgezeigte Temperaturverteilung ist leicht verständlich, wenn man bedenkt, dass von der beheizten Decke Temperaturstrahlen ausgehen, die ohne grosse Absorptionsverluste auf die Wände und den Boden

¹⁵⁾ Vgl. Hottinger, M.: Vergleichsversuch zwischen Decken- und Heizkörperheizung. Schweiz. Bl. f. Heizg. u. Lüftg. Bd. 6 (1939) H. 2, S. 34/44 u. H. 3, S. 55/67.

¹⁶⁾ Vgl. Monkwitz, A.: Zur Frage der direkten Messung der Wärmeabgabe geheizter Decken. Schweiz. Bl. f. Heizg. u. Lüftg. Bd. 10 (1943) H. 2, S. 49/52. Ferner: Wirth, P. E.: Der gegenwärtige Stand der Heizungs- und Lüftungstechnik in der Schweiz, unter besonderer Berücksichtigung der Strahlungsheizung und der Klimaanlagen. Schweiz. Bl. f. Heizg. u. Lüftg. LA-Sondernummer vom 30. Juni 1939.

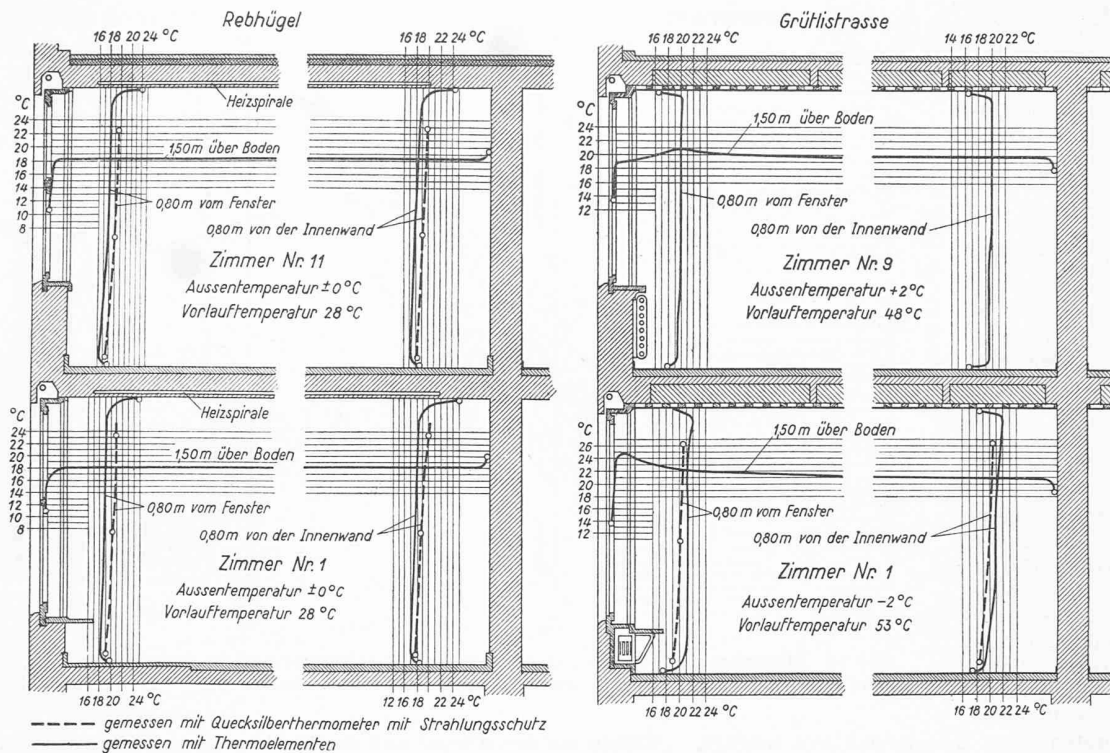


Bild 9. Im Februar und Dezember 1938 gemessene Temperaturverteilung. Links: Schulhaus Rebhügel (Zürich) mit Deckenheizung, rechts Schulhaus an der Grütlistrasse (Zürich) mit Heizkörperheizung, im übrigen aber ganz ähnlicher Bauausführung

treffen und sie erwärmen, worauf die Raumluft infolge Leitung und Konvektion von diesen Flächen aus aufgeheizt wird. Hierbei wird also Wärme von den Umfassungswänden an die Luft abgegeben, während bei der Heizkörperheizung umgekehrt die an den Heizkörpern verhältnismässig hoch erwärmte Luft in Zirkulation gerät und dabei an die Umfassungswände Wärme abgibt, weshalb hier die Wandtemperatur tiefer als die der Luft ist.

Es ist verständlich, dass das Aufkommen der Deckenheizung, sowie die neuern Erkenntnisse und Forderungen auf hygienischem Gebiet, die zu einer starken Entwicklung der Klimatechnik führten, nach einem Masstab verlangten, der ausser Temperatur, Feuchte und Geschwindigkeit der Luft auch die mittlere Strahlungstemperatur der Wände berücksichtigt. Das ist übrigens nicht nur in bezug auf die Behaglichkeit in Versammlungsräumen, Theatern usw., sondern auch zur Beurteilung der Klimaverhältnisse in Werkstätten mit starker Wärmeentwicklung (z. B. ausgehend von Glüh-, Härte-, Einsatzöfen usw.) der Fall. Nachdem bereits amerikanische Forscher, wie die Professoren Willard und Kratz auf diesen Umstand hingewiesen hatten, schlug Prof. A. Missenard in Paris¹⁷⁾ im Jahre 1931 vor, zur gleichzeitigen Berücksichtigung der vier vorstehend genannten Einflüsse den Begriff der *resultierenden Temperatur* einzuführen und gab u. a. im Gesundh.-Ing. vom 4. Dezember 1937¹⁸⁾ drei Diagramme (Bilder 10—12) bekannt, mit denen die Bestimmung dieser resultierenden Temperatur unter Berücksichtigung der Beschäftigungs- und Bekleidungsart möglich ist. Sie sind unter Benützung englischer Forschungsergebnisse (v. Bedford) sowie von A. Missenard selber durchgeführten Untersuchungen entstanden. Voraussetzung für ihre Benützung ist jedoch, dass die benötigten Messgrössen an Hand des Trocken- und Nassthermometers mit möglichst kleinen Thermometergefässen und des Katalthermometers in der unter den Abschnitten 3a) bis c) angegebenen Weise einwandfrei ermittelt worden sind. Ausserdem kommt nun aber noch die Bestimmung der mittleren wirksamen Strahlungstemperatur der Raumwände hinzu. Hierfür kann das *Vernon'sche Kugelthermometer*, Bild 13, oder das *trockene resultierende Thermometer* nach

Missenard, Bild 14, verwendet werden¹⁹⁾. Das erstgenannte berücksichtigt die Lufttemperatur und die Strahlung der Wände, das zweite ausserdem die Luftfeuchte, beide bei nahezu ruhender Luft. Diese Instrumente bestehen aus einer geschwärzten hohlen Kupferkugel, in der ein gewöhnliches Quecksilberthermometer steckt. Die Kugel des Vernon'schen Globusthermometers hat einen Durchmesser von 15,2 cm. Nach A. Missenard soll der Durchmesser beim resultierenden Thermometer so gewählt werden, dass das Verhältnis der Wärmeabgabe durch Strahlung und der durch Strömung (Konvektion) ungefähr den Wert 1,1 aufweist. Beim gewöhnlichen resultierenden Thermometer ist der Kugeldurchmesser daher 9 bis 10 cm. Soll seine Anzeige den Bedingungen des körperlich arbeitenden Menschen möglichst gerecht werden, so darf er sogar nur etwa 6 cm messen, weil das Gerät gegenüber den Strahlungseinflüssen dadurch unempfindlicher wird. Zudem ist beim resultierenden Thermometer die Kupferkugel, wie aus Bild 14 hervorgeht, kreuzweise mit Mullstreifen von 1,3 cm Breite überzogen, die sich (sofern die Luftfeuchte mitberücksichtigt werden soll) aus dem als Gefäss ausge-

¹⁹⁾ Vgl. ter Linden, A. J.: Klimaregelung in Gebäuden. Gesundheits-Ingenieur Bd. 60 (1937) H. 48, S. 728/731.

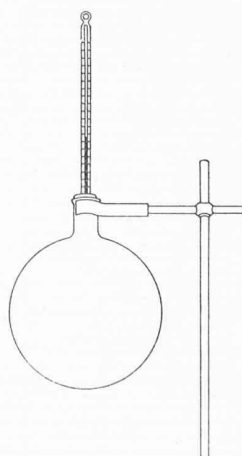


Bild 13. Vernon'sches Kugel- oder Globusthermometer

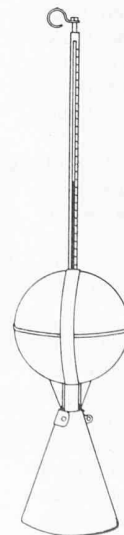


Bild 14. Resultierendes Thermometer nach Missenard
Bilder 13, 14 u. 15 aus F. Bradtke und W. Liese: Hilfsbuch für raum- und aussenklimatechnische Messungen. Verlag Julius Springer, Berlin 1937

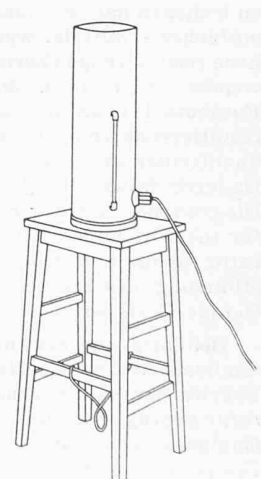


Bild 15. Eupatheoskop nach Dufton

¹⁷⁾ Besonders bekannt geworden durch sein Buch: Missenard, A.: Der Mensch und seine klimatische Umwelt (L'homme et le climat). Deutsche Verlagsanstalt Stuttgart-Berlin 1936.

¹⁸⁾ Vgl. Missenard, A.: Ueber einfache Verfahren zur Bestimmung der resultierenden Temperatur. Gesundh.-Ing. Bd. 60 (1937) H. 49, S. 737/739. Ferner: Missenard, A.: Theorie des resultierenden Thermometers und Thermostaten. Gesundh.-Ing. Bd. 58 (1935) H. 39, S. 596/599.

bildeten, die Kugel tragenden Fuss selbsttätig befeuchten. Die von den Mullstreifen bedeckte Oberfläche beträgt 36 % der Gesamtoberfläche.

In Bild 10 ist beispielsweise folgende Bestimmung der resultierenden Temperatur durch gestrichelte Linien eingetragen:

Trockentemperatur der Luft
(Masstab T_s) $t_r = 25^\circ\text{C}$
Luftgeschwindigkeit (Massstab V) $v = 0,5\text{ m/s}$ } Punkt A
Mittlere wirksame Strahlungstemperatur, bestimmt mit dem Vernonschen Kugelthermometer (Masstab R) $= 15^\circ\text{C}$, Punkt B. Aus dem Schnittpunkt der Geraden A—B mit dem Masstab für die trockene resultierende Temperatur T_{rs} ergibt sich Punkt C zu $21,5^\circ\text{C}$.

Auf Grund der Psychrometermessung lässt sich der Druck des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes in mm QS bestimmen. Der entsprechende Punkt D wird auf dem Masstab P aufgesucht und mit Punkt C durch eine Gerade verbunden. Diese schneidet das Feld der gesuchten resultierenden Temperaturen. Da die Luftgeschwindigkeit im vorstehenden Beispiel $0,5\text{ m/s}$ beträgt, ergibt sich die resultierende Temperatur zu $19,5^\circ\text{C}$ (Punkt E). Das will sagen, dass der Entwärmungszustand der in Frage stehenden Luft gleich ist dem von ruhender Luft von $19,5^\circ\text{C}$ und 100 % Sättigung.

Unter den nämlichen Voraussetzungen ergibt sich die resultierende Temperatur für einen unbedeckten Menschen im Ruhezustand nach Bild 11 zu $20,5^\circ\text{C}$ und für einen gewöhnlich bekleideten, körperlich arbeitenden Menschen nach Bild 12 zu $18,0^\circ\text{C}$.

Wie aus den Bildern 10 bis 12 hervorgeht, ist beim gewählten Beispiel der Wasserdampfdruck in der Luft 15 mm QS , während er bei 25°C und 100 % $23,76\text{ mm QS}$ ist; die relative Feuchte der Luft beträgt somit $\frac{15 \cdot 100}{23,76} = 63\%$. Diesem Zustand entspricht eine Temperatur des Feuchthtermometers von rd. 20° . Stellt man hierzu die sich ohne Berücksichtigung der Wandtemperatur aus Bild 8 ergebende effektive oder wirksame Temperatur fest, so ergibt sich diese zu 22°C . Gegenüber der resultierenden Temperatur ist der Unterschied also $2,5^\circ$, woraus man erkennt, dass man sich bei starker Wärme-Zu- oder Abstrahlung zur Erlangung richtiger Ergebnisse unbedingt der resultierenden Temperatur als des zuverlässigen Masstabes zu bedienen hat. Sie lässt sich noch einfacher ermitteln, wenn das trockene resultierende Thermometer verwendet wird (vgl. Misenard, A. Fussnote 18), an dem die trockene, resultierende Temperatur (Punkt C) unmittelbar abgelesen werden kann. Dadurch fallen die Teile links der Diagramme sowie der Masstab R für die wirksame Strahlungstemperatur dahin und man hat zur Bestimmung des Punktes E nur die Gerade C—D zu ziehen.

Beiläufig sei erwähnt, dass in ähnlicher Weise wie Misenard den Begriff der resultierenden Temperatur geprägt hat, Dufton (Garston, England) von der gleichwertigen Temperatur und Bedford (London) von der äquivalenten Wärme spricht. Dufton hat für diese Messungen das verbesserte Eupatheoskop (Bild 15) geschaffen, das den Einfluss der Lufttemperatur, der Strahlung der

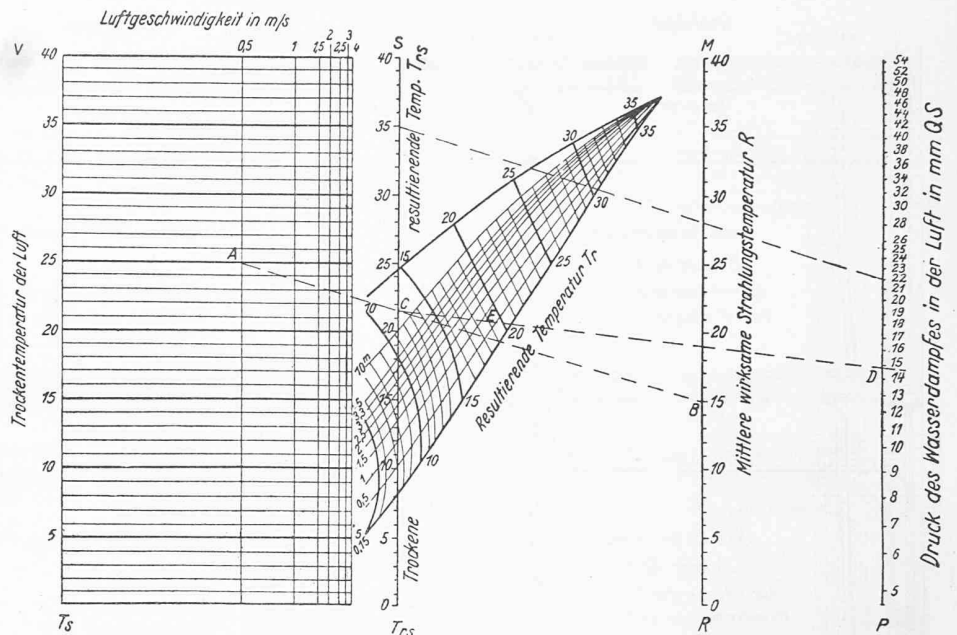


Bild 10. Diagramm zur Bestimmung der resultierenden Temperatur für Menschen in gewöhnlicher Kleidung bei sehr leichter Tätigkeit (Nach A. Misenard)

Wände auf den Körper und die Luftbewegung berücksichtigt. Es handelt sich um einen elektrisch geheizten, geschwärzten Zylinder von $55,8\text{ cm}$ Höhe und 19 cm Durchmesser. Die Energiezufuhr wird so geregelt, dass die Oberflächentemperatur derjenigen des menschlichen Körpers angepasst ist und konstant bleibt. Ein Zweigstrom dient zur Erwärmung eines gewöhnlichen Thermometers, dessen Gefäß im Innern und dessen Skala an der Aussenwand des Zylinders angebracht ist. Heiz- und Abzweigstrom stehen in einem bestimmten Verhältnis zueinander, sodass nach besonderer Eichung die gleichwertige Temperatur am Thermometer unmittelbar abgelesen werden kann. Dem gleichen Zweck dient auch der Thermo-Integrator von Winslow und Greenburg (U.S.A.). Bei diesen Geräten ist also der Einfluss der Luftfeuchte nicht mit eingeschlossen.

Es wäre höchst erfreulich, wenn uns ein handliches und nicht allzu teures Gerät zur Verfügung stehen würde, mit dem es möglich wäre, die genannten Einflüsse alle gleichzeitig zu messen, so dass zur Feststellung der resultierenden Temperatur nur eine einzige Ablesung erforderlich wäre. Ein solches Instrument würde zweifellos Absatz finden, doch sind die

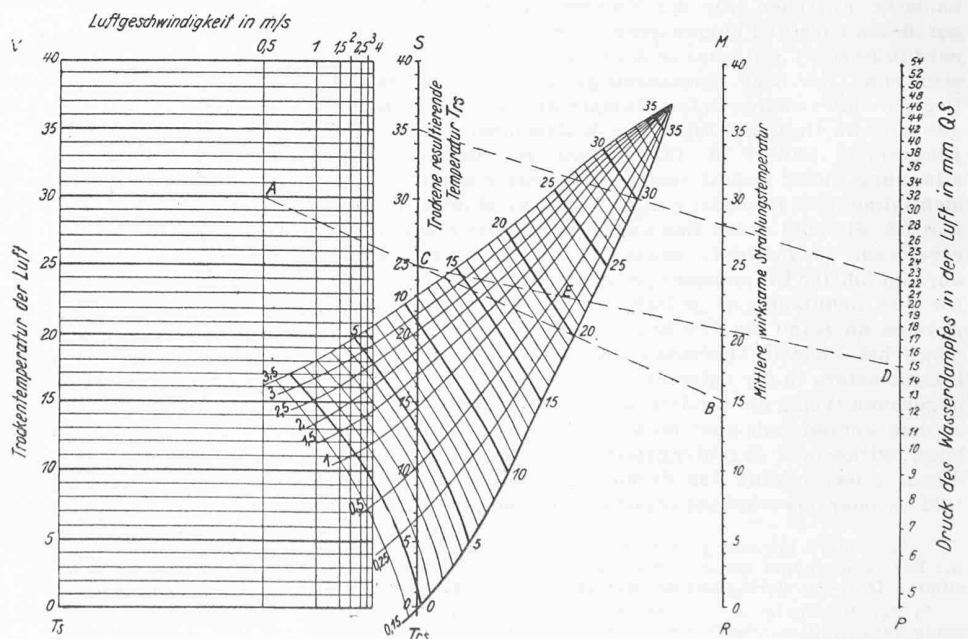


Bild 11. Diagramm zur Bestimmung der resultierenden Temperatur für unbedeckte Menschen im Ruhezustand (Nach A. Misenard)

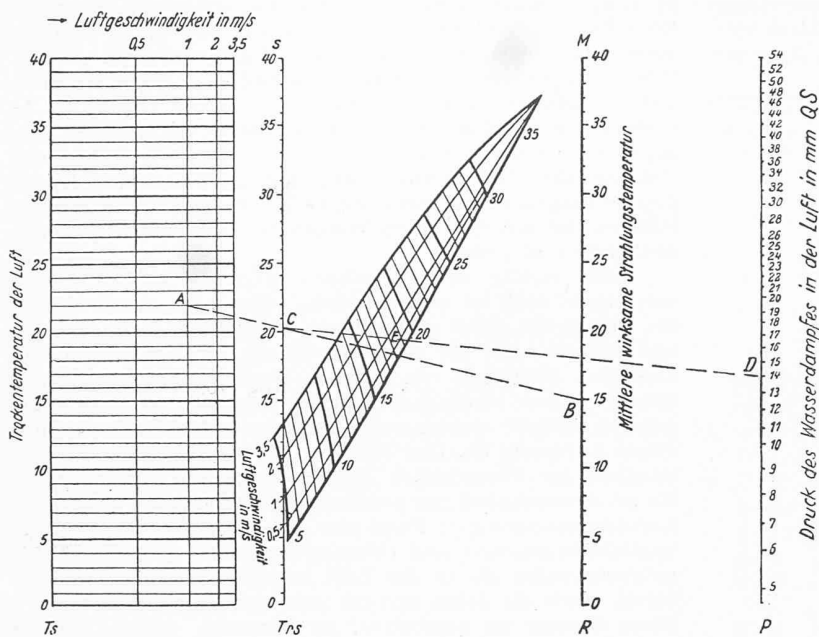


Bild 12. Diagramm zur Bestimmung der resultierenden Temperatur für gewöhnlich bekleidete, körperlich arbeitende Menschen (nach A. Missenard)

Aussichten, dass es sich entwickeln lässt, nach allem, was bisher auf diesem Gebiet versucht und auch geleistet worden ist, sehr gering. Vorläufig bleibt nichts anderes übrig, als die Messung der verschiedenen Einflüsse in der angegebenen Weise vorzunehmen und die Ergebnisse unter Benützung der wiedergegebenen Diagramme auszuwerten. In Räumen mit nicht abnormal hoch oder tief liegenden Wandtemperaturen genügt es ja auch vollkommen, wenn nur die Temperatur, nötigenfalls die Feuchte und in Ausnahmefällen, z. B. beim Auftreten von Zugerscheinungen, noch die Luftgeschwindigkeit gemessen und zur Beurteilung des Zustandes Bild 4 oder 8 benützt wird. Die Ermittlung der resultierenden Temperatur ist nur erforderlich in Räumen mit Decken-, Wand- und Fussbodenheizung oder in gewissen gewerblichen und industriellen Räumen mit heissen Ofenwandungen u. dgl., sowie andererseits in Räumen mit grossen Fenstern, besonders kalten Mauern oder ähnlichen Abkühlungsflächen. Die Bestimmung der resultierenden Temperatur ist, wie gezeigt wurde, nicht ganz einfach und zudem muss man über die nötigen Instrumente und Kenntnisse verfügen, weshalb diese Messungen mehr nur für Forschungszwecke in Betracht kommen.

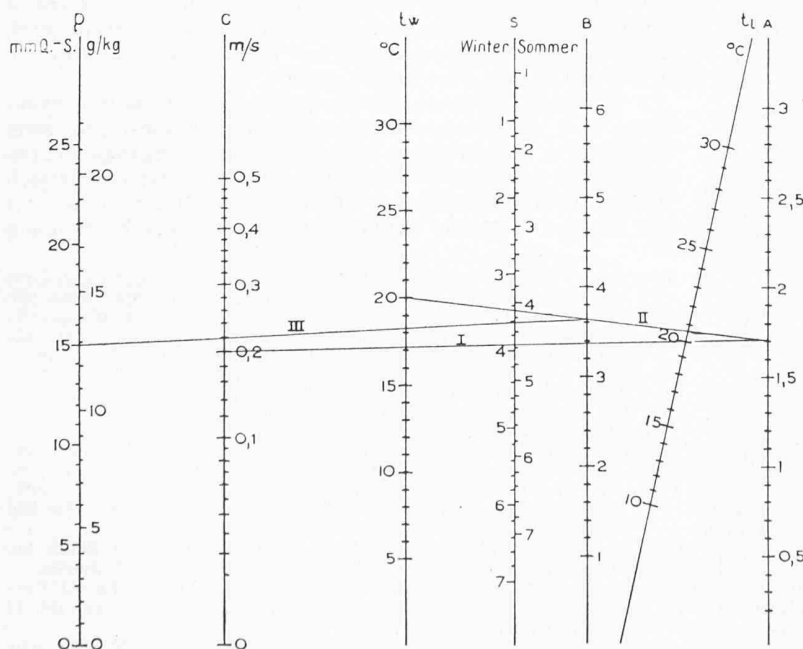


Bild 16. Leitertafel zur Bestimmung des Behaglichkeitswertes S in einem Raum (nach v. Zuilen)

Dabei ist zudem noch ein wesentlicher Umstand zu berücksichtigen. In seinem Bericht über die internationale Tagung im Juni 1937 in Genf (vgl. Fussnote 19), die sich mit der Klimaregelung in Gebäuden befasste und an der Abgeordnete aus den U. S. A., England, Frankreich, den Niederlanden, Schweden, Schweiz, Tschechoslowakei und Polen teilnahmen, schreibt ter Linden (Delft):

«Bei all diesen Geräten wird der mittlere Wert der Strahlung an einer bestimmten Stelle des Raumes gemessen. Für den Fall, dass sich die Temperaturen der Wände eines Raumes nur wenig voneinander unterscheiden, ist dies auch vollkommen erlaubt. Können jedoch bei den Wänden des Raumes grössere Temperaturunterschiede festgestellt werden, so ist erforderlich, neben dem mittleren Wert der Strahlung auch die Strahlungsstärke in den verschiedenen Richtungen zu messen. Man kann sich vorstellen, dass eines der obgenannten Geräte, das zwischen einem kalten Fenster und einem warmen Heizkörper aufgestellt wird, für die mittlere Strahlung einen guten Wert anzeigt, während sich jedoch ein Mensch auf demselben Platz wenig behaglich fühlen würde.

Da bei keinem der obgenannten Geräte die Strahlungsstärke in verschiedenen Richtungen gemessen werden kann, hat der Unterzeichnete die Versammlung auf den sog. Strahlungswürfel aufmerksam gemacht, der im Versuchsraum für Maschinenbau der Technischen Hochschule zu Delft im Gebrauch ist, womit man auf einfache Weise die Strahlungsstärke auf die sechs Seitenflächen feststellen kann.»

Ausser Diagrammen hat man zur Ermittlung des Behaglichkeitszustandes auch Formeln aufgestellt. Die mit Hilfe des Behaglichkeitsmassstabes nach Bedford und v. Zuilen (Holland)²⁰⁾ ermittelten lauten:

$$S = P - 0,1 \cdot t_l - 0,0968 \cdot t_w - 0,0372 \cdot p + 0,0367 \cdot \sqrt{c} \cdot (37,8 - t_l)$$

Darin bedeutet:

$P = 7,83$ im Winter, bzw. $8,45$ im Sommer,

t_l die Lufttemperatur in °C, $0,5$ m über Boden gemessen,

t_w die Wandtemperatur in °C,

p den Druck des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes in mm QS,

c die Luftgeschwindigkeit in m/s

und es besagt:

- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| $S = 1$ viel zu warm, | $S = 5$ behaglich kühl, |
| $= 2$ zu warm, | $= 6$ zu kalt, |
| $= 3$ behaglich warm, | $= 7$ viel zu kalt. |
| $= 4$ behaglich, | |

Beispiel. Es handle sich um einen nach Bild 4 sehr angenehmen Zustand, nämlich um $t_l = 19^\circ\text{C}$, $t_w = 18^\circ\text{C}$, $c = 0,08$ m/s und eine relative Luftfeuchte von 50% , somit einen Dampfdruck $p = 15,48 \cdot 0,5 = 7,74$ mm QS. Dann ist im Winter $S_w = 7,83 - 0,1 \cdot 19 - 0,0968 \cdot 18 - 0,0372 \cdot 7,74 + 0,0367 \cdot \sqrt{0,08} \cdot (37,8 - 19) = 4,1$.

Auch in dem Fall kann die Rechenarbeit aber leicht durch eine von v. Zuilen angegebene Leitertafel (Bild 16) ersetzt werden. Die eingetragenen Linienzüge stützen sich auf folgende Messergebnisse: Lufttemperatur $t_l = 20^\circ\text{C}$. Wandtemperatur $t_w = 20^\circ\text{C}$. Luftgeschwindigkeit $c = 0,2$ m/s. Druck des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes $p = 15$ mm QS. Zur Ermittlung der Behaglichkeit S zieht man zuerst Linie I vom $v = 0,2$ m/s durch $t_l = 20^\circ\text{C}$ bis zum Masstab A. Dann von dem so gefundenen Punkt Linie II nach $t_w = 20^\circ\text{C}$. Vom Schnittpunkt dieser Linie mit dem B-Masstab führt sodann Linie III nach dem Dampfdruck 15 mm QS auf dem Masstab p . Der Schnittpunkt dieser Linie mit dem Behaglichkeitsmassstab S ergibt für den Winter die Grösse $S_w = 3,63$, also behaglich warm bis behaglich und für den Sommer den Wert $S_s = 4,25$, also behaglich bis behaglich kühl.

Nach Mitteilungen von v. Zuilen haben Untersuchungen in Wohnräumen und Hörsälen, wobei die erforderlichen Werte gemessen und die Per-

²⁰⁾ v. Zuilen, D.: Das Raumklima während des Winters in Holland. Wärmetechn. Bd. 10 (1935) Heft 9, S. 84/88 und H. 10, S. 91/94. Kurzbericht in Wärme- und Kältetechnik Bd. 42 (1940), H. 3, S. 46. Ferner v. Zuilen, D.: Behaglichkeitsforderungen für das Raumklima in den Niederlanden. Gesundh.-Ing. Bd. 63 (1940), H. 18, S. 213/215.

Tabelle 9. Bei der Erstellung von Lüftungs- bzw. Klimaanlage mindestens zugrunde zu legende Frischluftmengen. (Nach Hotfinger M.: Lüftungs- und Klimaanlage. Verlag Jul. Springer, Berlin 1940, Zahlentafel 11, S. 57.)

	pro Kopf m ³ /h	Vielfaches des Raum- inhaltes
Räume, in denen die Luft weder durch starkes Rauchen noch sonstwie in besonderem Masse verdorben wird: Säle, Theater, Kinos, Sitzungsräume, Cafés, Erfrischungsräume von Konditoreien usw.	20—30	3—5
Räume, in denen stark geraucht wird: Restaurants, Vereins- und Gesellschaftszimmer, Theater, in denen das Rauchen gestattet ist	30—50	5—10
Speisesäle in Gasthäusern		5
Kegelbahnen		3
Schalterhallen, eventuell auch Vestibüle von Banken, Verkehrsgebäuden usw.		2—3
Tresorräume von Banken		3—5
Krankensäle	20—30	2
Operationsräume		3—5
Zellen von Tobsüchtigen und Unreinlichen		3—5
Alle Räume, die zu den Röntgenabteilungen von Spitälern gehören		3—5
Schulzimmer für Schüler im Alter bis zu 12 Jahren	15	2
Schulzimmer für Schüler im Alter von über 12 Jahren, Hörsäle, Auditorien	20	3
Büros und Fabrikräume bei starker Besetzung, sonst aber ohne besondere Verunreinigung der Luft	20—30	3—5
Laboratorien je nach Art	bis 10 u. mehr	
Kochküchen in Hotels, Speiserestaurants, Spitälern, Schulen, Kasernen, Fabriken usw., sowie Waschküchen in Waschanstalten, Spitälern usw. und andere zu entnebelnde Räume:		
im Sommer	25 u. mehr (u. U. bis 80') 15—20 u. m.)	5—10
im Winter bei Erwärmung der Frischluft		
Aborte, Toiletten		10
Dusche- und Umkleieräume in Schulen, Kasernen, Fabriken		2 ¹ / ₂
Wannenbäder in Spitälern usw.		5
Wannenbäder in öffentlichen Badanstalten		2
Schwimmhallen		
Grossgaragen	3, bei Stossbetrieb 6")	

*) Je nach Rauminhalt, Lage und Belastung der Küche, Feuerungsart des Herdes, Lüftungsmöglichkeit im Sommer durch die Fenster usw.

**) Keinesfalls darf die stündlich abgeseugte Luftmenge bei Normalbetrieb der Anlagen aber weniger als 8 m³ je m² Grundfläche betragen.

sonen nach ihrem Empfinden befragt wurden, eine gute Verwendbarkeit der Formel ergeben.

Ferner ist hier noch die Gleichung von Bedford zur Berechnung der mit dem Eupatheoskop von Dufton (Bild 15) bestimmbaren, sog. *gleichwertigen Temperatur* (equivalent temperature) t_l angegeben, die sich auf ruhende Luft und gleiche Wand- und Lufttemperatur bezieht und in England viel benützt wird. Sie lautet:

$$t_l = 0,522 \cdot t_l + 0,478 \cdot t_w - 0,205 \cdot \sqrt{v} \cdot (37,8 - t_l) \text{ } ^\circ\text{C}$$

Die Bedeutung der Buchstaben ist die gleiche wie oben und es ergibt sich für das vorstehende Beispiel

$$t_l = 0,522 \cdot 19 + 0,478 \cdot 18 - 0,205 \cdot \sqrt{0,08} \cdot (37,8 - 19) = 17,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Die Luftfeuchte ist dabei nicht mitberücksichtigt.

4. Die Reinheit der Luft als Behaglichkeitsmasstab

Die vorstehenden Ausführungen beziehen sich allein auf die Entwärmungsverhältnisse des Körpers. Einleitend wurde bereits erwähnt, dass natürlich auch die Reinheit der Luft als Behaglichkeitsfaktor zu bewerten ist. Es wurde auf die Riech-, Duft- und Ekelstoffe hingewiesen. Dazu können noch weitere Verunreinigungen, wie Zigarrenrauch in Restaurants, Dämpfe und Gerüche in Kochküchen usw. hinzukommen. In diesen Fällen sind die zu erstellenden Lüftungs- bzw. Klimaanlage selbstverständlich nicht nur nach dem Entwärmungs-

Masstab, sondern derart zu bemessen, dass Zigarrenrauch, Dämpfe und Gerüche beseitigt werden, und es ist dementsprechend für einen angemessenen Luftwechsel zu sorgen. Wie gross er pro Stunde für verschiedene Raumarten etwa anzunehmen ist, geht aus Tabelle 9 hervor. Dabei ist in erster Linie von den pro Kopf angegebenen Luftmengen auszugehen. Unterschreiten sie die nach dem Vielfachen des Rauminhaltes festgestellten Mindestmengen, so sind jedoch diese massgebend. In gewissen Fällen, besonders bei niedrigen Räumen, ist mit den obigen Werten zu rechnen, u. U. sogar noch höher zu gehen.

Sehr wichtig ist in gewissen Betrieben die Entfernung von Staub, doch ist es unmöglich, allgemeine Angaben über die Grösse der dabei abzusaugenden Luftmengen zu machen, und dasselbe gilt für die Entnebelung von Färbereien und ähnlichen Betrieben mit starker Wasserdampfentwicklung. Hierzu müssen eigentliche Entstaubungs- und Entnebelungsanlagen erstellt werden, auf die einzutreten nicht Aufgabe dieses Aufsatzes ist. Und ebensowenig ist das am Platz hinsichtlich der klimatischen Einflüsse auf das Wohlbefinden. Es sei diesbezüglich nur erwähnt, dass auch rasch erfolgende Luftdruckänderungen, Föhn usw. von Einfluss auf den Behaglichkeitszustand sind (Wetterfähigkeit). Ferner spielen möglicherweise die in der Luft enthaltenen Kondensationskerne, sowie die Ionen und ihr Aufladezustand eine Rolle²¹⁾. Diese Gebiete zu bearbeiten, ist vorläufig jedoch weniger Sache der Klimatechniker, als, bis zu ihrer weiteren Abklärung, der Hygieniker und Biologen in Verbindung mit den Physikern und Meteorologen.

Eine mechanisch-biologische Klein-Kläranlage

Von Dipl. Ing. M. WEGENSTEIN, Zürich

1. Allgemeines

DK 628.35

Die Entwässerung der im Jahre 1941 erstellten Kasernenbauten des Flugplatzes Emmen geschieht in den sog. Augraben, der in einer Entfernung von 3 1/2 km in den Rothbach mündet und sich mit dessen Abfluss erst weitere 2 km westlich in die Reuss ergiesst. Schon vor Baubeginn machte daher das Staatswirtschaftsdepartement des Kantons Luzern die Gemeinde Emmen, auf deren Gebiet die Fliegerkasernen liegen, darauf aufmerksam, dass sowohl der Augraben wie der Rothbach in Trockenzeiten sehr wenig Wasser führen, also zeitweise ein nur geringes Selbstreinigungsvermögen besitzen, und dass daher die beabsichtigte Einleitung der Abwässer der neuen Kasernenbauten in den Augraben nur nach deren gründlichen Reinigung zu gestatten sei. Die Eidg. Baudirektion, als verantwortliche Erstellerin der Kasernenbauten, hat für die Lösung des Abwasserreinigungsproblems eine Spezialfirma zugezogen. Zu jener Zeit waren die neuesten Erfahrungen im Bau und Betrieb kleiner Kläranlagen schon in verschiedenen Veröffentlichungen, unter anderem in einem in der «Schweiz. Zeitschrift für Strassenwesen» 1936, Nr. 8 u. 9 erschienenen Artikel von H. F. Kuisel, G. Lüthi und J. Müller, Zürich, zusammengestellt.

Trotzdem hat man für die Reinigung der sehr konzentriert und stossweise anfallenden Schmutzwässer nur zwei gewöhnliche Frischwasser-Hauskläranlagen eingebaut, deren kreisrunde Absetz- und Faulräume knapp 1/3 der rechnerisch notwendigen Abmessungen aufwiesen. Auf die in Anbetracht des kleinen Vorfluters notwendige biologische Nachreinigung

²¹⁾ Vgl. hierzu:

- Kunow: Zur Kenntnis der Beziehungen zwischen Luftelektrizität und Wohlbefinden des Menschen. Z. Hyg. Bd. 80 (1915), S. 485/503.
 Korff-Petersen, A.: Untersuchungen über den Einfluss luftelektrischer Faktoren, insbesondere der Ionisation, auf das Wohlbefinden des Menschen. Z. Hyg. Bd. 80 (1915), S. 505/548.
 Missenard, A.: Siehe Fussnote 12, Abschnitt 6: Einfluss des Erdkraftfeldes und der Ionisation der Luft, S. 100/114.
 Brezina und Schmidt: Siehe Fussnote 2, Abschnitt: Ionisierung, S. 73/75.
 Meixner, H. A.: Der Einfluss der Luftelektrizität bei Lüftungs- und Klimaanlage. Gesundh.-Ing. Bd. 60 (1937), H. 52, S. 782/785.
 Liese, W.: Die heutigen Anschauungen über die Frage der Luftelektrizität im Raum. Gesundh.-Ing. Bd. 61 (1938), H. 36, S. 495/499, und Bd. 61 (1938), H. 52, S. 751.
 Behouneck, F.: Der Gehalt der Luft an Ionen und Staub bei Klimaanlage. Gesundh.-Ing. Bd. 62 (1939), H. 18, S. 249/253.
 Meixner, H. A.: Die elektrischen Eigenschaften des Raumklimas und ihre Bedeutung für den Menschen. Heizg. u. Lüftung. Bd. 13 (1939), H. 10, S. 145/148.
 Forster, H.: Studien über Kondensationskerne; ihre physikalische und biologische Bedeutung im Aussen- und Innenklima. Diss. Eidgen. Techn. Hochschule, Zürich 1940.