

Berthold Schmeiser

Meßtechnik zur Bestimmung von Raumklimagrößen *

Es werden für den thermischen Behaglichkeitsbereich und Hitzeerträglichkeitsbereich physikalische Beschreibungsgrößen angegeben und erläutert.

Nationale und internationale Vorschriften für die Raumklimameßtechnik werden vorgestellt und kurz beschrieben. Meßprinzipien und Meßfühler, Meßwerterfassung und -auswertung werden vergleichend dargestellt.

Procedures for measuring thermal values in room temperature

Physical descriptors for the thermal comfort range and the heat tolerance range are formulated and discussed. National and international standards for air-conditioning measurements are presented and briefly described. Measurement principles, sensors, data recording and evaluation are compared.

Technique de mesurage pour la définition des valeurs thermique de climat en espace clos

Des grandeurs équivalentes physiques sont indiquées et expliquées concernant le stade de confort et de chaleur supportable.

Des réglementations nationales et internationales de technique de mesurage du climat en espace clos sont présentées et brièvement expliquées.

Les principes de mesurage et des détecteurs, la saisie des valeurs et leur analyse sont représentées de façon comparative.

Was ist unter "thermischem Raumklima" zu verstehen ?

Räume, in denen wir arbeiten, einkaufen, Freizeit verbringen usw., sollten thermisch so beschaffen sein, daß unser Körper, und damit auch unser Geist, nicht damit beschäftigt ist, sich zu großer Hitze oder zu großer Kälte erwehren zu müssen, sondern sich wohlfühlt und damit frei ist, sich den in diesen Räumen gewünschten Aktivitäten widmen zu können.

Lassen sich jedoch keine behaglichen Bedingungen schaffen, wie z.B. an Hitze- oder Kältearbeitsplätzen wie Gießereien, Schmieden oder Tiefkühlhäusern, dann ist festzustellen, wie lange eine Person diesen Bedingungen ausgesetzt werden kann und darf, damit diese Belastung erträglich bleibt.

Zum besseren Verständnis der von Prof. Fanger vorgestellten und im Nachfolgenden näher erläuterten Wärmekomfortgleichung [1] und des nach Arbeiten von Minard u.a. entwickelten WBGT-Indexes für Hitzearbeitsplätze [2] sei zuerst ein grober Überblick über das menschliche Wärmeregulierungssystem gegeben [3].

Die menschliche Körpertemperatur beträgt nahezu konstant 37° C und ist auch von starken Umgebungstemperaturschwankungen nicht beeinflußbar. (Körpertemperaturen unterhalb 25° C und oberhalb 43° C führen innerhalb kürzester Zeit zum Tod.)

Die zum Konstanthalten der Körpertemperatur notwendige Regelung übernehmen Kälte- und Wärmerezeptoren in der Haut und der Hypothalamus des menschlichen Gehirns.

Temperaturänderungsgeschwindigkeiten von - 14,4° C/h lösen Kälteempfinden, von + 3,6° C/h Wärmeempfinden aus, und unsere Körperreaktion ist entweder Blutgefäßverengung in den Extremitäten, Schüttelbewegung (zur Anregung der Produktion körpereigener Wärme) oder Blutgefäßweiterung zur Erwärmung der Extremitäten und Körperwärmeabgabe durch Schwitzen.

Die größten Änderungen der körpereigenen Wärmeproduktion werden durch Muskelarbeit erreicht; überschüssige Wärme wird durch Wärmeleitung durch die Gewebeschichten und den Blutstrom an die Haut gebracht und im wesentlichen durch Verdampfen von Schweiß an die Umgebung abgegeben. Schutz vor zu großer Wärmeabgabe lebenswichtiger Körperregionen bietet neben der Gefäßverengung und damit starker Abkühlung in Extremitäten noch die Wärmeisolation durch das Fettgewebe der Haut.

Diese hier grob skizzierten Vorgänge im menschlichen Körper zur Steuerung seines Wärmehaushalts, die von einer Person geleistete Arbeit und die Wärmeleitung durch die Kleidung dieser Person

wurden nun von Fanger zu der Gleichung für das Wärmegleichgewicht zusammengefaßt.

Wärmegleichgewicht:

$$S = M + W + R + C + K - E - RES$$

mit S = Wärmespeicherung

M = Stoffwechselrate ist abhängig von W (Tabellenwert)

W = Externe Arbeit, z.B. Heben eines Gewichtes angeben in W/m²

R = Wärmeaustausch durch Strahlung: ist abhängig von der mittleren Strahlungstemperatur der Umgebung t_r; Oberflächentemperatur der Kleidung t_{cl}

C = Wärmeaustausch durch Konvektion: ist abhängig von der Lufttemperatur t_a; der relativen Luftgeschwindigkeit v_{ar}; von t_{cl}

K_{cl} = Wärmeaustausch durch Wärmeleitung durch die Kleidung: ist abhängig von der mittleren Hauttemperatur t_s; von t_{cl}; von der Wärmeisolation der Kleidung I_{cl}

E = Wärmeaustausch durch Verdampfen: ist abhängig von der Hauttemperatur t_s; vom Wasserdampfdruck p_a der Umgebung; von M und W

RES = Wärmeaustausch durch Atmung: ist abhängig von der Lufttemperatur t_a und M

Die Hilfsgrößen t_s und t_{cl} sind wie folgt abgeleitet:

$$t_s \sim M, W$$

$$t_{cl} \sim M, W, t_a, p_a$$

die Größe I_{cl} ist ein Tabellenwert.

Nähere Erläuterungen zu den einzelnen Summanden der Gleichung und ihre genaue Abhängigkeit von meßbaren Größen siehe [3].

Das Wärme-Gleichgewicht ist erreicht, wenn S = 0 (Null) ist.

Die obige Gleichung für das Wärme-Gleichgewicht wird sehr häufig benutzt, jedoch im Umgang mit bekleideten Personen ist es besser, die Gleichung (für S = 0) so zu schreiben:

$$M + W - E - RES = + K_{cl} + R + C$$

Das Vorzeichen sagt, daß der Parameter negativ oder positiv sein kann, d.h. Wärmeverlust oder Wärmeaufnahme.

* Manuskript eingereicht im Januar 1991

Die Doppelgleichung besagt, daß die Wärmeerzeugung infolge Stoffwechsel und externer Arbeit minus des Wärmeverlustes durch Verdampfen und Atmen gleich der Wärmeleitung durch die Kleidung (K_{cl}) und gleich dem Wärmeverlust durch Strahlung (R) und Konvektion (C) von der Kleidungsoberfläche an die Umgebung ist.

Die obige Gleichung berücksichtigt jedoch nicht den Wärmeaustausch durch Wärmeleitung, z.B. beim Laden von Säcken oder dem Kontakt zwischen Füßen und Fußboden. Dieser Betrag ist normalerweise unwichtig im Vergleich zum Gesamt-Wärmeaustausch, hat aber einen beachtlichen Einfluß auf lokale Regionen (warme Finger, kalte Zehen).

Bedingungen für thermische Behaglichkeit

Thermische Behaglichkeit wird definiert als der Zustand, in dem das Gefühl der Zufriedenheit mit der thermischen Umgebung herrscht.

Die erste Bedingung für thermische Behaglichkeit ist, daß die Gleichung für den Wärmeausgleich des menschlichen Körpers erfüllt ist.

Bei einem gegebenen Aktivitätspegel (M) sind die mittlere Hauttemperatur (t_s) und der Schweißverlust (E_{sw}) die einzigen physiologischen Parameter, die das Wärme Gleichgewicht beeinflussen. Für eine bestimmte Person mit einer bekannten Aktivität, Kleidung und Umgebung, kann das Wärme Gleichgewicht durch bestimmte Kombinationen von mittlerer Hauttemperatur und Schweißverlust hergestellt werden.

Das Wärme Gleichgewicht ist jedoch nicht ausreichend, um den Zustand thermischer Behaglichkeit zu erzeugen. In dem weiten Bereich der Umgebungsbedingungen, in dem ein Wärme Gleichgewicht erreicht werden kann, ist nur ein *schmaler* Bereich vorhanden, wo sich das Gefühl thermischer Behaglichkeit einstellt. Dieser Bereich ist dann mit einem *engen* Bereich von mittlerer Hauttemperatur und Schweißverlust verknüpft.

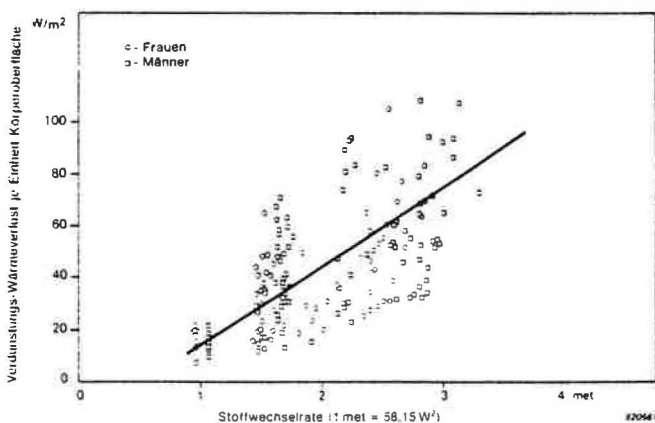


Bild 1: Der Wärmeverlust an der Körperoberfläche durch Verdunstung im Zustand thermischer Behaglichkeit in Abhängigkeit von der Stoffwechselrate.

In Versuchen mit Personen im Zustand thermischer Behaglichkeit konnten Zusammenhänge zwischen Aktivität und mittlerer Hauttemperatur festgestellt werden, die jedoch relativ große individuelle Unterschiede zeigen (siehe Bild 1 und 2).

Für die Erstellung einer Gleichung für thermischen Komfort wurden deshalb mittlere Abhängigkeiten, ermittelt durch lineare Regression, verwendet.

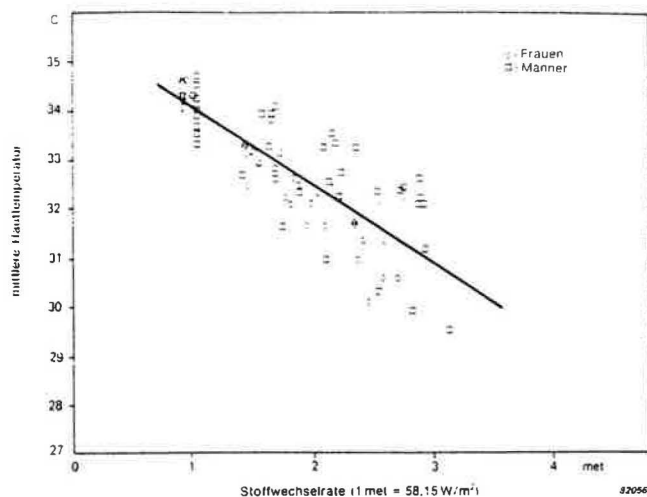


Bild 2: Die mittlere Hauttemperatur im Zustand thermischer Behaglichkeit in Abhängigkeit von der Stoffwechselrate.

Bedingungen für thermische Erträglichkeit

Thermische Erträglichkeit bedeutet einen Zustand der thermischen Umgebung, in der Personen ohne Gesundheitsschädigung für eine bestimmte Zeit, bestimmte Tätigkeiten ausführen können. Dabei ist zu unterscheiden, ob die Personen bereits an diese Art von thermischer Umgebung angepaßt sind oder nicht.

Bei den hier betrachteten Hitze arbeitsplätzen gilt: das Wärme Gleichgewicht des Körpers wird dadurch erhalten, daß die an die Haut gelangte innere Wärme durch Strahlung (R), Konvektion (C) und Verdunstung von Schweiß (E) abgebaut wird (Wärmeabgabe durch Atmung (RES) und Wärmeleitung über die Kleidung (K_{cl}) werden vernachlässigt).

Ist dies wegen der Umgebungswärme nur bedingt möglich, wird die innere Körpertemperatur steigen. Dies ist jedoch nur für begrenzte Zeit ohne Schädigung verträglich.

Die körperliche Belastung kann durch Messen des Pulses, der Hauttemperatur, der Körperinnentemperatur und Schweißmenge bestimmt werden. Wie man sich leicht vorstellen kann, sind solche Messungen am Arbeitsplatz nur mit großem Aufwand durchführbar. Deshalb wurden schon in den 20er Jahren Untersuchungen durchgeführt, die zum Ziel hatten, aus den physikalischen Gegebenheiten der Hitzeumgebung auf die körperliche Belastung zu schließen (siehe dazu auch später).

Luftfeuchte

Im Rahmen der allgemeinen Betrachtung der Behaglichkeit, bzw. Erträglichkeit des Raumklimas ist ein spezielles Augenmerk auf die herrschende Luftfeuchte zu richten [4].

So ist zu niedrige Luftfeuchte in thermisch behaglichen Räumen (besonders auffällig in der kalten Jahreszeit bei beheizter Raumluft) verantwortlich dafür, daß die Schleimhäute unserer Atmungsorgane nicht mehr ihrer Reinigungs- und Befeuchtungsfunktion nachkommen können. Zum anderen ist die Geruchswahrnehmung und damit eine evtl. Geruchsbelastigung in trockener Luft weit größer als in feuchter. Für behagliches Raumklima wird deshalb ca. 50 % rel. Luftfeuchte vorgeschlagen.

In Hitzeumgebung sinkt mit steigender Luftfeuchtigkeit die Verdampfungsfähigkeit der Hautoberfläche, womit die Wärmeabgabe durch Schwitzen eingeschränkt wird.

Welche Vorschriften befassen sich mit dem Thema "Raumklima" ?

Die Beschreibung der Wirkungen seiner Umgebung auf den Menschen kann durch die Ausdrücke für Geruch, Temperatur, Helligkeit, Lärm, etc. geschehen.

Aus individuellen Eindrücken sind – auch mit Hilfe der Statistik – allgemeingültige, objektive Parameter abzuleiten.

Die Zusammenfassung der Gemeinsamkeiten dieser (Forschungs) Ergebnisse ergeben dann in vielen Fällen Normen und Vorschriften. Im Nachfolgenden sind nun – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – internationale und nationale Vorschriften angeführt, die sich mit dem Bereich Meßtechnik für thermische Behaglichkeit und Erträglichkeit des Raumklimas befassen.

Internationale Normen

Bei der ISO (International Organization for Standardization) sind folgende Standards erschienen:

ISO 7730 vom 15.08.1984

Moderate Thermal Environments

- Determination of the PMV and PPD indices and specifications of the conditions for thermal comfort –
- Es wird eine Methode für die Vorhersage des Grades der thermischen "Unbehaglichkeit" für gesunde Menschen in mittleren Klimaten angegeben. Die Formeln für PMV und PPD werden angegeben.

ISO 7726 von 1985

Thermal environments

- Instruments and methods for measuring physical quantities –

ISO 7243 vom 01.09.1982

Hot Environments

- Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index –
- Es wird eine Methode zur Bestimmung der Hitze-Belastung von Menschen in industrieller Umgebung angegeben, die auf einfache und schnelle Weise eine zahlenmäßige Erfassung gestattet. Meßmethode, -genauigkeit, -verfahren, Klassifizierung der Stoffwechselraten, Berichtform sind vorgeschrieben bzw. vorgeschlagen.

ISO/DP 7933

Thermal Environments

- Analytical Determination of Thermal Stress –
- Es wird eine Methode zur analytischen Bestimmung von "Hitzebelastung" angegeben. Sie ist umfangreicher, aber auch schwieriger durchzuführen, als die Bestimmung des WBGT-Indexes und kann allein oder als seine Ergänzung durchgeführt werden. Im Anhang ist ein Rechenprogramm angegeben.

Nationale Normen und Richtlinien

DIN 1946, Teil 1 und 2 – Raumluftechnik

Im Teil 2 sind Angaben zum Behaglichkeitsbereich von Raumlufteperatur und Raumlufgeschwindigkeit gemacht.

VDI 2080

Meßverfahren und Meßgeräte für Raumluftechnische Anlagen. Detaillierte Angaben zu unterschiedlichsten Meßverfahren und ihren Genauigkeiten.

DIN 33403, Teil 1, 2, 3

Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung.

Es werden Meßgrößen, Meßbereiche und Meßgenauigkeiten für Klimagrößen, die den Behaglichkeits- und Erträglichkeitsbereich bestimmen, angegeben.

Für den Erträglichkeitsbereich wird angegeben, wie lange

der Mensch bei bestimmten Tätigkeiten dem vorhandenen Klima ausgesetzt sein darf.

BG Feinmechanik und Elektrotechnik

BG-Merkblatt für die Unfallverhütung

- Befahren von Dampfkesselanlagen – Ausgabe 4/86
- Das Merkblatt befaßt sich auf der Basis des WBGT-Indexes mit der arbeitsmedizinischen Überwachung von Personen, Einsatzzeiten, Erholzeiten, Unterweisung der Beschäftigten.

BG Glas und Keramik

BG-Merkblatt

- Grundsätze für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen. Hitzearbeiten-Vorsorgeuntersuchungen, um Erkrankungen, die durch Wärmeeinwirkung an Hitze Arbeitsplätzen entstehen können, zu verhindern oder frühzeitig zu erkennen.

Arbeitsstättenverordnung mit Arbeitsstättenrichtlinien

= Gesetz für gewerbliche Betriebe.

§ 5 ⇒ ASR 5 "Lüftung"

Angaben über Luftwechselzahlen, zulässige Luftfeuchte, Lufttemperatur, Luftgeschwindigkeit (jeweils Grenzwerte angeben!)

§ 6 ⇒ ASR 6 "Raumtemperatur"

Hinweis auf Hitze Arbeitsplatzbedingungen
Mindest-Raumtemperatur

In Zweifels- und Streitfällen sind Vorschriften und Richtlinien eine gute Basis für möglichst emotionlose Diskussionen.

Für Neulinge in irgend einem Sachgebiet repräsentieren sie das Mindestwissen, über das man verfügen sollte, um sich in diesem Gebiet bewegen zu können.

Grundlagen und Anwendung der Raumklima-meßtechnik

In den vorangegangenen Ausführungen wurde auf die physiologischen Zusammenhänge beim Wärmehaushalt des Menschen eingegangen und gezeigt, wie diese von äußeren, meßbaren, physikalischen Größen abhängen.

Dabei wurde festgestellt, daß

- die Strahlungstemperatur t_R
- die Lufttemperatur t_a
- die Luftgeschwindigkeit v_{ar}
- die Feuchte (Wasserdampfdruck) p_a

sowie die Tabellenwerte

- der Stoffwechselrate M
- der Wärmeisolation der Kleidung I_{cl}

die Größen sind, mit denen sich gut der thermische Teil des Raumklimas beschreiben läßt.

Für den Behaglichkeitsbereich wurde von *Fanger [1]* aus diesen Einzelgrößen eine Einwert-Angabe gebildet, nämlich

- die Komforttemperatur
- bzw. der PMV – Wert
- oder der PPD – Index

Die Komforttemperatur ist die Lufttemperatur (vorausgesetzt: $t_a = t_R$), bei der wir uns bei gegebener Aktivität und Kleidung und $v_{ar} = 0$ behaglich fühlen.

Der PMV-Wert (Predicted Mean Vote) sagt voraus, wie eine Personenmenge im Mittel das vorhandene Klima beurteilt (Skala: +3...0...-3 = heiß...neutral.(behaglich)...kalt)... Der PPD-Index

(Predicted Percentage Dissatisfied) sagt voraus, wieviel Prozent einer Personenmenge mit dem vorhandenen Klima unzufrieden sind. (PPD < 10 % ist ein akzeptables Klima.) Siehe Bild 3.

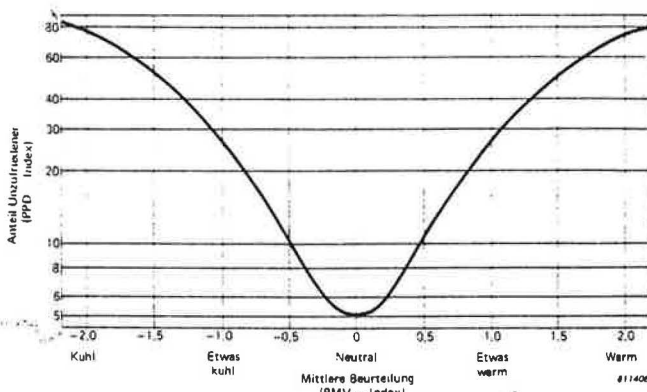


Bild 3: Der prozentuale Anteil Unzufriedener mit ihrer thermischen Umgebung in Abhängigkeit von der mittleren Beurteilung dieser Umgebung (neutral = thermische Behaglichkeit).

Auch für den Wärme-Erträglichkeitsbereich (Hitze-Stress) wurden Einwertangaben entwickelt, von denen international der bereits erwähnte WBGT-Index als Beurteilungsgröße vorgeschlagen wird.

Er errechnet sich wie folgt:

$$WBGT = 0,7 t_{NW} + 0,3 t_g$$

Wird bei direkter Sonneneinstrahlung gemessen, so gilt:

$$WBGT = 0,7 t_{NW} + 0,2 t_g + 0,1 t_a$$

- mit t_{NW} : natürliche Feuchtthermometertemperatur
- t_g : Temperatur des Standard-Globethermometers
- t_a : Lufttemperatur

Mit der natürlichen (im Gegensatz zur psychometrischen) Feuchttemperatur wird die Wärme-mindernde Wirkung des menschlichen Schwitzens nachgebildet. Die Außenabmessungen des Sensors, seine Form und die Qualität des "Verdunstungsmaterials" (Schlauch aus gewebter Baumwolle, stark wasserabsorbierend) sind genau vorgegeben und in ihren thermischen Wirkungen ähnlich denen der menschlichen Haut.

Die Temperatur t_{NW} ist abhängig von der Lufttemperatur, der Luftgeschwindigkeit, der Strahlungstemperatur und der Feuchtigkeit der Umgebung.

Das Globe-Thermometer mißt die Hitzewirkung durch Strahlung und ist dabei aber auch abhängig von der Lufttemperatur, der Strahlungstemperatur und der Luftgeschwindigkeit. Als Durchmesser der Kugel (Globe) wird 150 mm vorgeschlagen, der Emissionskoeffizient (= Absorptionskoeffizient) der Oberfläche beträgt 0,95 (Farbe: matt-schwarz). Die Einstellzeit des Thermometers beträgt 10 bis 30 min.

Globe-Thermometer mit kleineren Durchmessern haben den Vorteil einer kleineren Zeitkonstante (was jedoch bei der Zeitkonstante der Körperinnentemperatur keine große Bedeutung hat) und der leichteren Handhabbarkeit.

Demgegenüber ist aber zu beachten, daß bei natürlicher Luftbewegung ($v_{ar} \sim 0,15$ m/s und großer thermischer Strahlung ($t_R - t_a \sim 40^\circ C$) die Globe-Temperatur ca. $6^\circ C$ kleiner angezeigt wird, was einen Fehler von ca. $2^\circ C$ beim WBGT-Index zur Folge hat, was in der Beurteilung des Arbeitsplatzes eine Einstufung zur dauernden Arbeit an Stelle von: 50 % Arbeit / 50 % Ruhe bedeuten kann (siehe auch nachfolgende Tabelle für an Hitze-arbeitsplätzen angepaßte Personen und Bild 4).

WBGT-Index in °C

Aktivität	dauernde Arbeit	Zeitbasis 1 Stunde		
		75 % Arbeit 25 % Ruhe	50 % Arbeit 50 % Ruhe	25 % Arbeit 75 % Ruhe
100 W/m ² leichte Handarbeit wie Bohren oder Spulen wickeln	32	32	35	35,5
200 W/m ² Baumaschinen fahren Transportarbeiten: Arbeiten mit Preßlufthammer	27,5	28	30	32
300 W/m ² Holzfällen; Erdaushub; Schmieden	25	26,5	27,5	30,5

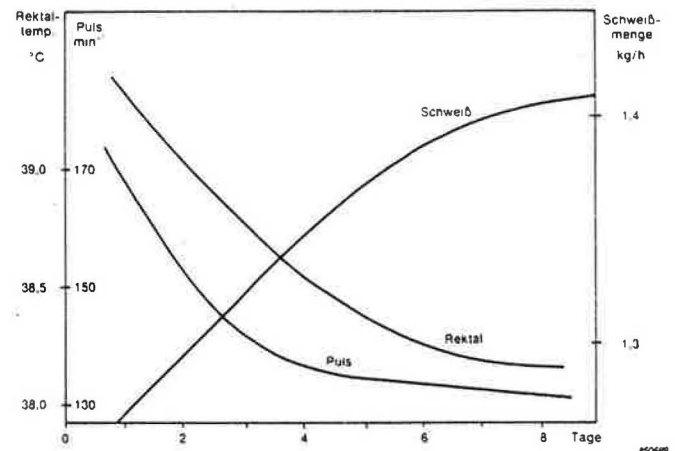


Bild 4: Wirkung der Akklimatisierungsdauer auf Körperfunktionen

Bevor dann im nächsten Kapitel auf meßtechnische und geräte-technische Aspekte näher eingegangen wird, sollen noch ein paar Anmerkungen zum Einsatz dieser Meßtechnik gemacht werden.

Die Feststellung, daß wir alle in überwiegendem Maße in Innenräumen unseren Aktivitäten nachgehen, ist trivial. Inwieweit jedoch das jeweilige Raumklima individuell eingestellt werden kann, hängt davon ab, ob wir diese Innenräume mit mehreren oder vielen Personen teilen (müssen), und ob auf Grund der Raumlage und -größe überhaupt eine "natürliche" Klimatisierung möglich ist. So ist leicht vorstellbar, daß in einem Hochhaus in höheren Stockwerken der Winddruck bzw. -sog so groß ist, daß eine freie Lüftung nicht mehr möglich ist, oder daß 40 bis 50 m lange Flure nicht mehr durch Öffnen der Fenster durchgelüftet werden können, von großen Supermärkten, Hallenbädern u.ä. gar nicht zu reden. Hoher Außenlärm, der die Verständlichkeit jeder akustischen Kommunikation beeinträchtigt, kann ein weiterer Grund sein, sich für eine Raumluftechnische Anlage (künstlich erzeugtes Raumklima) zu entscheiden; der Sonderfall des medizinischen Bereichs mit seinen erhöhten Hygieneanforderungen sei hier nur erwähnt [6].

Die hier beschriebene Meßtechnik hilft, die Aussage über die Wirkung einer Raumluftechnischen Anlage auf das Individuum an seinem Aufenthaltsort zu objektivieren, hilft also, den subjektiven Aussagen: zu kalt, zu warm, zu trocken usw. einen Maßstab zu geben.

Meßfühler und Meßgeräte

Meßfühler haben die Aufgabe, unter Ausnutzung bestimmter physikalischer oder chemischer Effekte, die zu messende Größe in andere Größen umzuwandeln, damit sie auf einfache Weise anzeigbar wird.

Denken wir an einen Manometer, bei dem mit Hilfe einer Membran (Meßfühler, Sensor, Meßgrößenwandler) die physikalische Größe Druck in die physikalische Größe Weg umgesetzt wird und dieser Weg dann mit Hilfe eines Gestänges und eines Zeigers an einer Skala (skaliert in Druckeinheiten) ablesbar wird.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß für jeden Meßgrößenwandler eine Kalibriermöglichkeit vorhanden sein muß, um sein sog. "Übertragungsmaß" - in unserem Beispiel das Verhältnis von Druck zu Weg - bestimmen zu können. Desweiteren dient diese Kalibriermöglichkeit dazu, zu bestimmen, wie genau dieser Meßfühler eigentlich ist, wie sein Frequenzgang ist, usw.

Die zur Betrachtung des thermischen Raumklimas notwendigen Größen sind:

- Temperatur (unterschiedlicher Art),
- Luftgeschwindigkeit,
- Feuchte.

Die im Nachfolgenden angegebenen Genauigkeiten für unterschiedliche Aufnehmer sind der VDI-Richtlinie 2080/10.84 entnommen.

Temperatur

Zur Bestimmung der Temperatur werden im wesentlichen folgende temperaturabhängige Größenänderungen genutzt:

- Ausdehnung und Druck,
- elektrischer Widerstand,
- Thermospannung,
- Strahlung.

Am weitesten verbreitet ist heute die Verwendung von Thermoelementen (Thermospannung) und PT100 - Widerstandselementen (elektrischer Widerstand aus Platin, der bei 0° C exakt 100 Ohm hat.)

	Meßbereich °C	Unsicherheit der gemessenen Größe in K
Thermoelemente (kalibriert)	- 50 bis + 500	+/- (0,05 + 0,01t)
Widerstandsthermometer (kalibriert) mit t = Meßwert.	- 220 bis + 850	+/- (0,03 + 0,04t)

Temperaturfühler für besonderen Einsatz sind entsprechend konstruktiv zu gestalten. z.B.:

- Lufttemperaturfühler sind gegen Wärmestrahlung zu schirmen,
- Strahlungstemperaturfühler sind gegen jegliche Luftbewegung zu schirmen,
- Oberflächentemperaturfühler übernehmen das entsprechende Temperatursignal mittels Wärmeleitung.

Ganz allgemein ist zu der Auswahl von Temperatursensoren zu bemerken, daß

- je kleiner die Masse, desto kürzer die Einstellzeit auf den "wahren" Temperaturwert,
- jeder Sensor das Wärmefeld am Meßort durch seine eigene Masse und Temperatur ändert.

Als Meßgeräte für die Temperaturmessung sind - soweit sie nicht mit dem Sensor eine Einheit bilden wie die Glasthermometer - zu nennen:

- Voltmeter mit hohem Innenwiderstand,
- Kompensationsschreiber.

(Für den Bereich von Widerstandsthermometern ist zusätzlich eine Konstantstromquelle hoher Genauigkeit erforderlich; der Speisestrom für PT100 beträgt üblicherweise 10 mA).

Zur möglichst genauen Erfassung des vom Sensor erzeugten Signals werden üblicherweise Brückenschaltungen verwendet, die es dann mit der Null- oder Ausschlagmethode und zusätzlichen Anzeigeverstärkern ermöglichen, das an sich sehr leistungsschwache elektrische Sensorsignal zur Anzeige zu bringen.

Luftgeschwindigkeit

Das zur Luftgeschwindigkeitsmessung auszuwählende Verfahren hängt im Wesentlichen von der Beantwortung folgender zwei Fragen ab:

- 1) In welchem Geschwindigkeitsbereich muß gemessen werden ?
- 2) Sind gerichtete oder ungerichtete Strömungen zu erfassen ?

	Meßbereich m/s	Winkelbereich* Grd	Unsicherheit der primär gemessenen Größe %
mech. Flügelradanemometer	3,0....20	+/- 10	+/- 5
elektr. Flügelradanemometer	2,0....20	+/- 10	+/- 5 v. SEW
photoelektrisches Flügelradanemometer	1,0....80	+/- 10	+/- 5 v. SEW
Thermosonden	0,1....5	"))	+/- 5 v. SEW
Hitzdrahtanemometer	> 0,1	"))	+/- 10 bis +/- 1

* Meßunsicherheit 1 %;
SEW = Skalenendwert;
)) abhängig von der Bauform

Das Thermosonden-Meßprinzip eignet sich besonders gut dazu, strömungsrichtungsunabhängige Sonden zu bauen. (Zur Beurteilung von Zuglufterscheinungen unbedingt erforderlich!)

Feuchte

Die Feuchte der Luft ist bestimmt durch den Feuchtegehalt trockener Luft in g/kg oder die relative Feuchte in % und den zugehörigen Luftdruck.

Der Feuchtegehalt kann über die Taupunkttemperatur und die relative Feuchte, über die Trocken- und die Feuchtemperatur unter Berücksichtigung des Luftdrucks, bestimmt werden.

Zur Feuchtemessung können folgende physikalische Eigenschaften oder Vorgänge benutzt werden:

Längeänderung hygroskopischer Materialien
Haarhygrometer

eletr. Leitfähig. hygrosk. Salze oder Stoffe
elektrolyt. Hygrometer
kapazitives Hygrometer

Wasserdampfkondensation bei Taupunktunterschreitungen
Spiegelhygrometer
LiCl - Taupunkthygrometer

Verdunstungskühlung an feuchten Oberflächen
Psychrometer

Die Einsatzbereiche und Genauigkeit der unterschiedlichen Verfahren sind der nachstehenden Tabelle zu entnehmen:

Unsicherheit von Feuchtemeßgeräten

Meßgerät	Meßbereich		Unsicherh.	
	relative Feuchte %	Lufttemperatur ° C	Taupunkt K	relative Feuchte*)%
Haarhygrometer	> 40	- 10 bis + 50		5
Elektrolyse-Hygrometer	> 20	- 40 bis + 100		3
LiCl-Taupunkt-Hygrometer	> 10	- 10 bis + 50	0,5 bis 1	1 bis 3
Taupunktspiegel-Hygrometer	> 0	- 20 bis + 40	0,5	1 bis 2
Psychrometer	> 0	- 10 bis + 60	0,3	0,5 bis 2
kapazitive Geräte	> 0	- 40 bis + 110	0,3	2 bis 3

*) zusätzlich stark vom jeweiligen Luftzustand abhängig: die angegebenen Werte gelten nur in günstigen Fällen und können überschritten werden.

Zum Schluß seien nun ausgeführte Geräte mit ihren Sensorprinzipien, Meßbereichen und Genauigkeiten vorgestellt, sowie kurz auf die Auswertung und Bewertung der gewonnenen Ergebnisse eingegangen.

Meßgerät für den thermischen Komfortbereich:

- **Lufttemperatur:** PT100 Fühler, geschützt gegen Strahlungseinwirkungen durch einen oben und unten offenen zylindrischen Schirm.

- Meßbereich: - 20 bis + 50° C
- Ansprechzeit: 50 s bis 90 % des Temperatursprungs
- Genauigkeit: +/- 0,2 K im Bereich 5° C bis 40° C

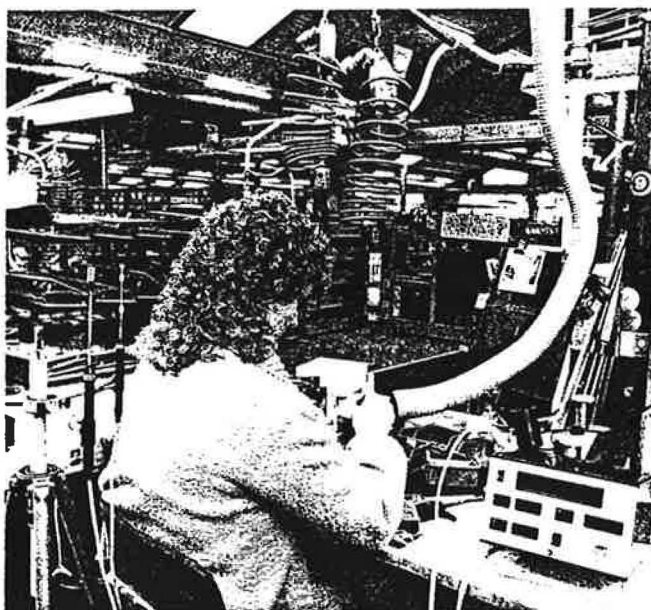


Bild 5: Meßgerät zur Bestimmung von thermischen Klimagrößen im Komfortbereich

- **Oberflächentemperatur:** PT100 Fühler auf dünner Membran befestigt; Membran ist federnd auf Tragrohr montiert.

- Meßbereich: - 20 bis + 100° C
- Ansprechzeit: 7 s bis 90 % des Temperatursprungs
- Genauigkeit: +/- 1 K im Bereich - 20° C bis + 100° C

- **Strahlungstemperatur Sensor** zur Messung der Strahlungstemperatur zweier sich gegenüberliegender Halbräume (gemäß ISO 7726). Für jeden Halbraum wird mit einem schwarzen Metallplättchen, an das ein Thermoelement befestigt ist, Wärmeaufnahme und - abgabe durch Konvektion und Strahlung, durch ein goldplattiertes Metallplättchen, an das ein Thermoelement

befestigt ist, die Wärmeaufnahme und -abgabe durch Konvektion bestimmt. Die Differenz der erzeugten Thermospannung ist ein Maß für die Halbraumstrahlungstemperatur. Die Differenz der beiden Halbraumstrahlungstemperaturen ist die Strahlungsasymmetrie, durch deren Angabe die Aussagefähigkeit der mittleren Strahlungstemperatur wesentlich ergänzt wird.

- Meßbereich: einsetzbar bei +/- 50° C Lufttemperatur
- Ansprechzeit: 60 s bis 90 % des Temperatursprungs
- Genauigkeit: +/- 1 K bei einer Temperaturdiff. von +/- 25 K zwischen Halbraumstrahlungstemperatur und Lufttemperatur

- **Feuchtsensor** mit gekühltem Taupunktspiegel. Das Beschlagen des Spiegels wird fotoelektrisch detektiert, seine Kühlung erfolgt mittels Peltierelement, die Messung der Spiegeltemperatur mittels PT100.

Meßbereich: bei Differenz zwischen Lufttemperatur und Taupunkttemperatur < 25 K: 0...100 % rel. Feuchte

Meßzeit (bis Taupunkt stabil ist): typ. 25 s (Meßtakt: 2 min)

Genauigkeit: +/- 0,5 K (≈ +/- 2 % rel. Feuchte)

- **Luftgeschwindigkeitssensor** nach dem Prinzip der Thermosonde mit einer beheizten und einer unbeheizten Wicklung, deren Temperatursprung konstant gehalten wird; Lage und Form der Wandelerkörper sind für geringste Richtungsempfindlichkeit optimiert

- Meßbereich: 0,05...1 m/s
- Ansprechzeit: 0,2 s bis 90 % der Meßwertänderung
- Genauigkeit: +/- 5 % +/- 0,05 m/s bei Anström winkeln zwischen 0° und 165° bezogen auf die Sensorachse.

Meßgerät für Hitze arbeitsplätze

- **Lufttemperatur:** Konstruktion wie beschrieben

- Meßbereich: 10° C bis 60° C
- Ansprechzeit: 50 s bis 90 % des Temperatursprungs
- Genauigkeit: < +/- 1 K

- **Globethermometer:** Kugeldurchmesser 15 cm, Oberfläche mattschwarz;

- Meßbereich: 5° C bis 100° C
- Ansprechzeit: 7 min bis bis 90 % des Temperatursprungs
- Genauigkeit: 5° C ... 50° C => < +/- 0,5 K
50° C ... 100° C => < +/- 1,0 K

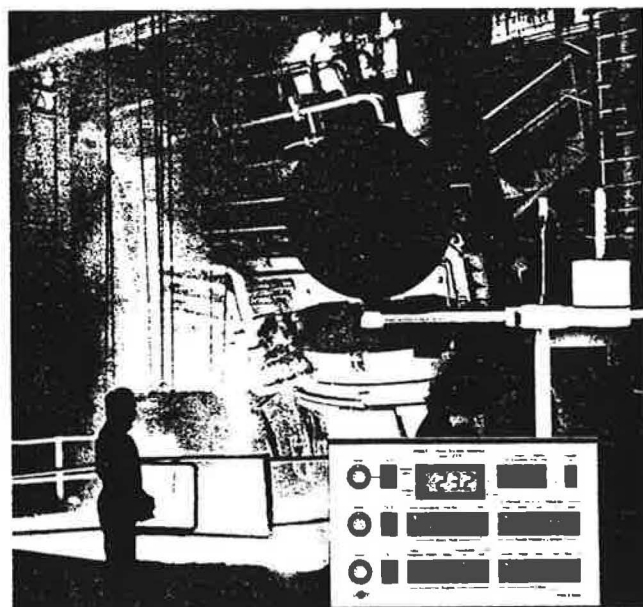


Bild 6: Meßgerät zur Bestimmung von thermischen Klimagrößen an Hitze arbeitsplätzen

- *Natürliche Feuchttemperatur* wird von einem zylindrischen Sensor mit 6 mm Durchmesser und 30 mm Länge, der mit einem weißen Baumwollschlauch überzogen ist und in einen Behälter mit destilliertem Wasser eingetaucht ist, erfaßt.
 Meßbereich: 5° C bis 40° C
 Ansprechzeit: 50 s bis 90 % des Temperatursprungs
 Genauigkeit: < +/- 1 K

Beide Geräte mit ihren Sensoren sind auf den Bildern 5 und 6 dargestellt. Die Geräte verfügen über einen Datenspeicher, der bis zu 60 Datensätze für spätere Auswertung speichern kann. Spätere Auswertung könnte z.B. für die Daten aus dem Wärme-komfortbereich bedeuten: Einlesen in einen Kleinrechner und Auswertung mit dem Ziel, den PPD-Index zu erhalten. Sollte trotz hinreichend niedrigem PPD-Index am Meßort Unzufriedenheit über das thermische Raumklima herrschen, so bieten z.B. die zeitliche Abhängigkeit der Luftgeschwindigkeit oder die Strahlungsasymmetrie oder die extrem hohe oder niedrige relative Feuchte objektive Ansatzpunkte, um zu Lösungen zur Verbesse-

rung des thermischen Raumklimas zu kommen. Ähnlich kann mit den Ergebnissen der Messung an Hitze-arbeitsplätzen verfahren werden, aus deren Anteil am WBGT-Index z.B. Strahlungsab-schirmaßnahmen abgeleitet werden können.

Meßtechnik und Meßgeräte leisten auch bei Fragestellungen zu diesem Themenkreis einen Beitrag zur Verbesserung unserer Ar-beits- und Umgebungsbedingungen.

Literatur:

- [1] *Fanger, P.O.*: Thermal Comfort. McGraw Hill Book Company, New York 1973
- [2] *Olesen, B.W.*: Hitze-Stress. Technical Review 2/85, Brüel & Kjaer 1985
- [3] *Olesen, B.W.*: Thermische Behaglichkeit. Technical Review 2/82, Brüel & Kjaer 1982
- [4] *Terhaag, Dr. L.*: Kompendium der Arbeitsmedizin, Jansen, G. (Hrsg.) TÜV Rheinland, Köln 1982
- [5] *Grün, L.*: Kälte-Wärme-Klima-Aktuell. Band 54, Loewer, H. (Hrsg.) Hygiene in Raumluftechnischen Anlagen, Verlag C.F. Müller, Karlsruhe

Dabei sein ist Business

Fachkompetenz entscheidet. Deshalb treffen sich Entscheidungsträger in Essen: das Handwerk, Planer, Mittler und interessierte Bauherren und Hausbesitzer.

Die SHK ist für sie Informationsbörse und Markt der Produktinnovationen. Haustechnik erleben, begutachten und darüber reden – das ist hier das Klima für gute Geschäfte.

Über 90.000 Fachleute und deren Kunden erwarten Sie und Ihr Angebot. Sie sollten also dabei sein. Ihre Teilnahme-Unterlagen liegen für Sie bereit.

Herzlich willkommen in Essen!

**MESSE
ESSEN** 26.2. – 1.3.1992



Information: MESSE ESSEN GmbH · Messehaus Ost Norbertstraße · Postfach 10 01 65 · 4300 Essen 1 · Tel. 02 01 / 72 44-0 · Fax 02 01 / 72 44-4 48