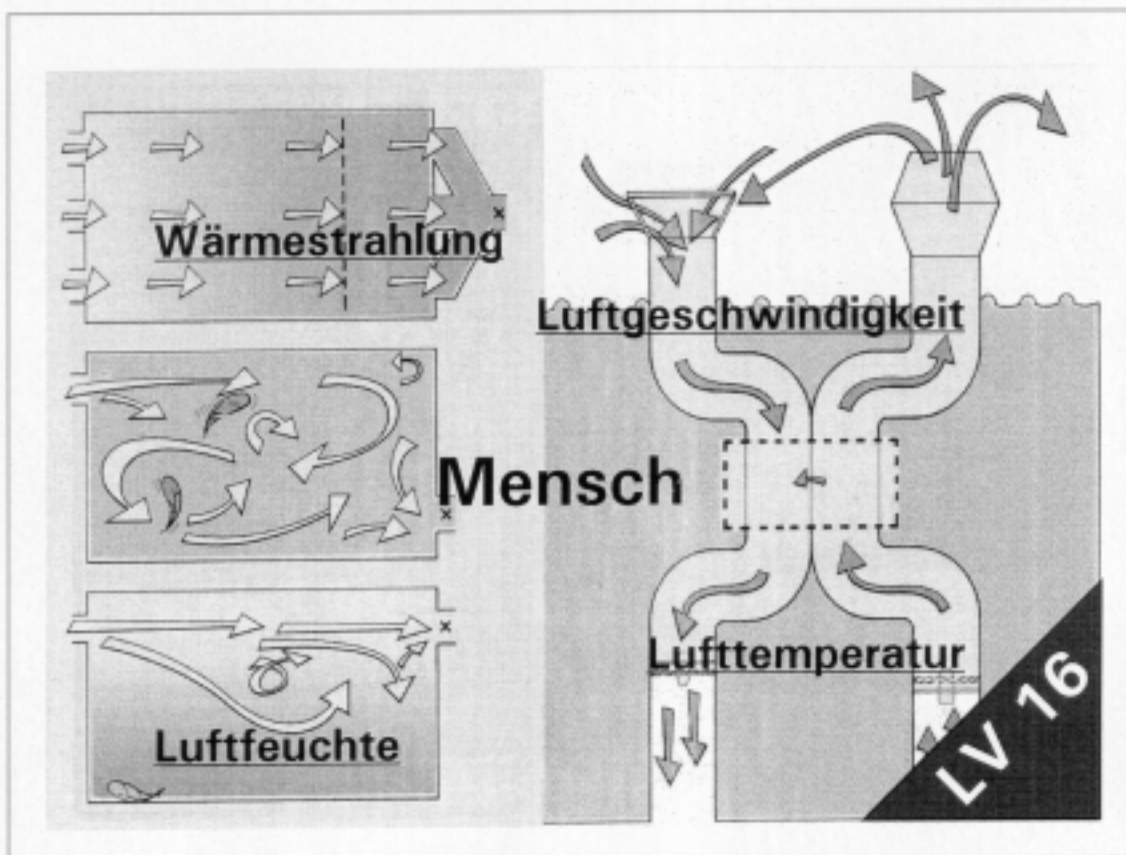




LÄNDERAUSSCHUSS FÜR ARBEITSSCHUTZ UND SICHERHEITSTECHNIK

L A S I

Kenngrößen zur Beurteilung raumklimatischer Grundparameter



Länderausschuß für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI) LASI-Veröffentlichungen (LV)		
<i>LV-Nr.</i>	<i>Titel</i>	<i>Herausgabe</i>
1	<i>Leitlinien des Arbeitsschutzes in Wertstoffsortieranlagen</i>	1995
2	<i>Richtlinien für die Akkreditierung von außerbetrieblichen Messstellen zum Vollzug des Gefahrstoffrechts gemäß § 18 Abs. 2 Gefahrstoffverordnung</i>	1995
3	<i>Musterleitfaden zur Umsetzung der Gefahrstoffverordnung und der TRGS 553 "Holzstaub" zum Schutz vor den Gefahren durch Holzstaub</i>	1996
4	<i>Qualitätssicherungs-Handbuch (QSH)</i>	1996
5	<i>Arbeitsschutzmaßnahmen bei Ozonbelastung am Arbeitsplatz</i>	1996
6	<i>Leitfaden für den sicheren Umgang mit Mikroorganismen der Risikogruppe 3 **</i>	1996
7	<i>Leitfaden zur Ermittlung und Beurteilung der Konzentration von Bakterien und Pilzen in der Luft in Arbeitsbereichen</i>	1996
8	<i>Mehlstaub in Backbetrieben Handlungsanleitung der Länderarbeitsschutzbehörden und der Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten</i>	1996
9	<i>Handlungsanleitung zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen beim Heben und Tragen von Lasten</i>	1996
10	<i>Umsetzung der Gleichgewichtsklausel bei überwachungsbedürftigen Anlagen</i>	1997
11	<i>Schutz schwangerer Frauen vor Benzolexposition in Verkaufsräumen von Tankstellen und anderen Arbeitsplätzen</i>	1997
12	<i>Leitfaden "Ersatzstoffe und Verwendungsbeschränkungen in der Reinigungstechnik im Offsetdruck"</i>	1997
13	<i>Leitfaden für den Arbeitsschutz in biologischen Abfallbehandlungsanlagen</i>	1997
14	<i>Handlungsanleitung zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen bei der Bildschirmarbeit</i>	1997
15	<i>Leitlinien des Arbeitsschutzes in Abfallbehandlungsanlagen</i>	1998
16	<i>Kenngrößen zur Beurteilung raumklimatischer Grundparameter</i>	1999

Impressum:

Kenngrößen zur Beurteilung raumklimatischer Grundparameter

*Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Herausgebers.
Den an der Erarbeitung beteiligten Institutionen ist der Nachdruck erlaubt.*

Herausgeber:

Länderausschuß für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI)

*LASI-Vorsitzender: Dipl.-Phys. Hartmut Karsten
Ministerium für Arbeit, Soziales und
Gesundheit des Landes Sachsen-Anhalt
Seeparkstr. 5 - 7
39116 Magdeburg*

*Verantwortlich: Dipl.-Phys. Ernst-Friedrich Pernack
Vorsitzender des LASI-Unterausschusses 6
"Ergonomie und Arbeitsstätten"
Ministerium für Arbeit, Soziales, Gesundheit und Frauen
des Landes Brandenburg
Heinrich-Mann-Allee 103
14473 Potsdam*

Redaktion: Arbeitskreis "Raumklimatechnik"

*Vorsitz: Dr. rer. nat. Jürgen Westhof
Zentralstelle für Arbeitsschutz
in der Hessischen Landesanstalt für Umwelt
Ludwig-Mond-Str. 33
34121 Kassel*

*Mitglieder: Dipl.-Ing. Peter Föllner
Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg
Hertzstraße 173
76187 Karlsruhe*

*Dr. rer. nat. H. Müller-Arnecke
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
Friedrich-Henkel-Weg 1 - 25
44149 Dortmund*

*Dr. rer. nat. habil. Roland Pangert
Thüringer Ministerium für Soziales und Gesundheit
Werner-Seelenbinder-Straße 6
99096 Erfurt*

*Jürgen Schmidt
Zentralstelle für Arbeitsschutz
in der Hessischen Landesanstalt für Umwelt
Ludwig-Mond-Straße 33
34121 Kassel*

*Dipl.-Ing. Günter Zarse
Amt für Arbeitsschutz und technische Sicherheit Schwerin
Lankower Straße 11 - 15
19057 Schwerin*

Layout und Endredaktion: LIAA, Potsdam

*Titelbild: Brüel & Kjaer 1990
Lüftungsmessungen mit Spurengasen*

Auflagenhöhe: 250 Exemplare

Datum: 1999-05-19

Vorwort

Der Mensch hält in Folge eines ständig ablaufenden Regelprozesses seine Körpertemperatur konstant auf einem Durchschnittswert von 37 °C. Er ist nur in dem relativ engen Bereich von ca. 35 °C bis 40 °C lebensfähig, seine Leistungsfähigkeit sinkt jedoch schon innerhalb wesentlich engerer Grenzen ab. Die Körperaußentemperatur steht mit dem Umgebungsklima, dem sich der Mensch nie völlig entziehen kann, in unmittelbarem Zusammenhang. Daher gehört das Klima zu den arbeitsschutzrelevanten Messgrößen.

Die Arbeitsstättenverordnung verlangt sowohl ausreichend gesundheitlich zuträgliche Atemluft als auch eine gesundheitlich zuträgliche Raumtemperatur. Die Arbeitsstättenrichtlinie 5 "Lüftung" vom Oktober 1979 und die Arbeitsstättenrichtlinie 6/1,3 vom April 1976, beide zuletzt berichtigt im September 1984, sind für den Regelfall ausreichend. Problemfälle verlangen jedoch eine genauere Betrachtung der raumklimatischen Grundparameter, um die Ursache für die nicht erreichte "Behaglichkeit" festzustellen und gezielte Maßnahmen einleiten zu können.

In dieser LASI-Veröffentlichung werden die zur Zeit gültigen Richtwerte für die Klimagrundparameter aus Normen und anderen Quellen zusammengestellt. Mit ihr soll eine Lücke in der verfügbaren Literatur geschlossen werden. Jeder, der den Arbeitsschutz betreffende Messungen bewerten muss, weiß, wieviel Zeit die Suche nach einem Richtwert kosten kann.

Dieses Material ist vorrangig für die Beurteilung von Arbeitsplätzen gedacht. Arbeitsbereichsbeurteilungen, wie sie z.B. an Kassenarbeitsplätzen und Info-Points der Deutschen Bahn AG vorgenommen werden, erfordern die Berücksichtigung unterschiedlicher Grenzwerte.

Es erfolgt nur die getrennte Wertung der einzelnen Klimakomponenten, was innerhalb des Behaglichkeitsbereiches durchaus sinnvoll ist. Die Darstellung des Zusammenwirkens aller Klimaparameter in Klimasummenmaßen, die bei der Bewertung von Hitzearbeitsplätzen unerlässlich ist, soll in einer späteren Veröffentlichung beschrieben werden.

Diese Broschüre wendet sich sowohl an den informierten Betriebspraktiker als auch an den Fachmann, der Messgeräte und Formeln zur Umrechnung von Klimagrößen bereits kennt. Es erscheint jedoch notwendig, den Richtwerten jeweils eine Erläuterung der zu messenden Größe hinzuzufügen.

Die Verfasser hoffen, dass die vorliegende Broschüre allen, die Klimagrößen messen und bewerten, eine Hilfe sein wird. Sie sind sich bewusst, dass diese Sammlung von Richtwerten einer regelmäßigen Aktualisierung bedarf und könnten sich vorstellen, dass das durch die Internet-Präsentation der Arbeitsschutzbehörden der Länder zeitnah geschehen kann.

Inhaltsverzeichnis

1	Raumklimatische Parameter	8
1.1	Lufttemperatur	9
1.1.1	Meßgrößen	9
1.2	Luftfeuchte	12
1.2.1	Meßgrößen	13
1.3	Luftgeschwindigkeit	18
1.3.1	Meßgrößen	19
1.4	Wärmestrahlung	21
1.4.1	Meßgrößen	21
2	Erfassung, Grenz- und Richtwerte	24
2.1	Messhöhen, Messzeiten, Messorte	24
2.2	Lufttemperatur	25
2.3	Luftfeuchte	27
2.4	Luftgeschwindigkeit	29
2.5	Wärmestrahlung	31
2.5.1	Empfehlungen zur Beurteilung von gasstrahlerbeheizten Arbeitsbereichen	32
3	Ermittlung der Raumklimasituation	34
3.1	Einschätzung des Raumklimas ohne Nutzung von Messgeräten	34
3.2	Checklisten für orientierende Klimamessungen	37
4	Literaturverzeichnis	39

Abkürzungsverzeichnis

ArbStättV	Verordnung über Arbeitsstätten [1]
ASR	Arbeitsstättenrichtlinien [1] zur ArbStättV
AU	Arbeitsenergieumsatz, siehe DIN 33403 Teil 3 [13] (Gesamtenergieumsatz abzüglich Grundumsatz)
CET oder CNET	Korrigierte Effektivtemperatur (Klimasummenmaß)
CEN	Europäisches Komitee für Normung
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V., Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin
DR	Draft Risk (Zugluftrisiko), siehe DIN EN ISO 7730 [18] Prozentsatz Unzufriedener bedingt durch Zugluft
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., Postfach 5240, 65727 Eschborn
ISO	International Organization for Standardization, Case postale 56, CH-1211 Geneve 20
MfK	Mindestanforderungen für Kassenarbeitsplätze [3]
NET	Normal-Effektiv-Temperatur (Klimasummenmaß), siehe DIN 33403 Teil 4 (Entwurf) [31]
PMV	Predicted Mean Vote (vorausgesagtes mittleres Votum, Klimasummenmaß)
PPD	Predicted Percentage of Dissatisfied, siehe DIN EN ISO 7730 (vorausgesagter Prozentsatz Unzufriedener, Klimasummenmaß)
RLT	Raumlufttechnik (DIN 1946 Teil 1) [5]
Tu	Turbulenzgrad in %, Verhältnis der Standardabweichung der lokalen Luftgeschwindigkeit zur lokalen mittleren Luftgeschwindigkeit, siehe DIN 1946 Teil 2 u. DIN EN ISO 7730
VDI	Verein Deutscher Ingenieure Graf Recke Straße 84, 40239 Düsseldorf
WBGT	Wet Bulb Globe Temperature ("Feuchtkugeltemperatur", DIN 33403 Teil 4 (Entwurf)[31] Klimasummenmaß zur Beurteilung von Hitzearbeit, aus Globetemperatur, natürlicher Feuchttemperatur und Lufttemperatur.

1 Raumklimatische Parameter

Das Raumklima wird durch die vier Grundparameter

- **Lufttemperatur**
- **Luftfeuchte**
- **Luftgeschwindigkeit**
- **Wärmestrahlung**

beschrieben und beurteilbar. Als personenbezogene Größen sind weiterhin

- **Arbeitsaktivität**
- **Bekleidungssituation**
- **Akklimatisierung**
- **Gesundheitszustand**

zu berücksichtigen. Für die weitergehende Beurteilung von speziellen raumklimatischen Problemen stehen sogenannte "Klimasummenmaße"¹ zur Verfügung. Diese setzen sich aus mehreren Klimagrundparametern zusammen und ermöglichen es dadurch, z. B. Hitzearbeitsbereiche oder Behaglichkeitsbereiche unmittelbar zu charakterisieren. Zu diesen Klimasummenmaßen gibt es in den Regelwerken entsprechende Richtwertaussagen.

Für das Wohlbefinden und die dauerhafte Gesundheit ist es unerlässlich, dass die menschliche Körperkerntemperatur durch den inneren Regelmechanismus in einem sehr engen Bereich um 37 °C gehalten werden kann. Die vier Klimagrundparameter tragen mit unterschiedlicher Intensität zu der auf den Menschen wirkenden Klimasituation bei.

Andererseits kann der Mensch mit Hilfe von technischen/organisatorischen Maßnahmen in thermischen Extrembereichen von unter -40 bis über +40 °C, zumindest zeitlich begrenzt, tätig sein.

Man unterscheidet drei wesentliche klimatische Empfindungsbereiche:

- **Behaglichkeitsbereich**
- **Erträglichkeitsbereich**
- **Unerträglichkeitsbereich**

Im **Behaglichkeitsbereich**² ist es erforderlich, dass Raumtemperatur, Bekleidungsisolationswert, körperlicher Aktivitätsgrad, Akklimatisation, körperliche Konstitution und bedingt auch die das Temperaturrempfinden beeinträchtigende Luftfeuchte und die Luftgeschwindigkeit in einem ausgeglichenen Verhältnis zueinander stehen. Dadurch wird sichergestellt, dass es zu keinen wesentlichen Klimabelastungen für den Menschen kommt. Demzufolge kann dieses thermische Gleichgewicht z.B. in einem leicht kühlen Bereich auch durch entsprechend höhere Bekleidungsisolationswerte und/oder durch eine höhere Arbeitsaktivität erreicht werden.

Im **Erträglichkeitsbereich** (DIN 33403 Teil 3 [13]) muss der Mensch das nicht mehr vorhandene thermische Gleichgewicht durch eine interne Wärmeproduktion mit gesteigertem Kreislauf, z. B. zur Anpassung der Körperkerntemperatur an eine kühle oder kalte Umgebung oder durch vermehrte Schweißproduktion zur Kühlung mittels Verdunstungskälte in Hitzebereichen, ausgleichen. Diese körperinternen Anpassungsmaßnahmen sind mit erhöhter Kreislaufbelastung und erhöhtem Energieverbrauch verbunden. Diesbezügliche erhöhte Belastungen sind allerdings nur im begrenzten Rahmen ohne Schädigung zu ertragen. Im Erträglichkeitsbereich kann es daher erforderlich werden, Erholungs- bzw. Entwärmungs- oder Aufheizzeiten in die Arbeitsintervalle zu integrieren, um eine Unerträglichkeit

¹ Diese "Klimasummenmaße" werden in einer speziellen LASI-Veröffentlichung zu einem späteren Zeitpunkt behandelt.

² PMV-/ PPD-Index DIN EN 27726 [17]

zu vermeiden bzw. durch aufwendigere personen- oder arbeitsplatzbezogene Schutzmaßnahmen für Entlastung zu sorgen.

Im **Unerträglichkeitsbereich** ist der Rahmen der Erträglichkeit überschritten und es kann zu Körperschäden (z. B. Erfrierungen) und akuten Gesundheitsproblemen (z. B. Herz-Kreislauf-Kollaps) kommen, im Extremfall kann der Tod eintreten.

Die Wirkung der einzelnen bzw. auch der kombinierten Klimagrundparameter auf das Empfinden des Menschen wird im Zusammenhang mit den Meßgrößen erläutert.

1.1 Lufttemperatur

Die Lufttemperatur ist die Temperatur der den Menschen umgebenden Luft ohne Einwirkung von Wärmestrahlung, d. h. die messtechnische Ermittlung erfolgt mit wärmestrahlungsgeschützten Sensoren.

1.1.1 Messgrößen

Die **Lufttemperatur** ist für den Menschen gefühlsmäßig leicht wahrzunehmen und zu beurteilen. So wird z.B. Kälteempfinden durch Kälterezeptoren der Haut bereits ausgelöst, wenn die Temperatur am Hautbereich schneller als $0,004 \text{ °C/s}$ ($14,4 \text{ °C/h}$) absinkt. Entsprechende Wärmesensoren reagieren schon auf Anstiege der Temperatur von $0,001 \text{ °C/s}$ ($3,6 \text{ °C/h}$) mit Wärmeempfinden [29].

Lufttemperaturen niedriger als die Hauttemperatur werden bei Erhöhung der Luftgeschwindigkeit kühler empfunden. Bei erhöhter relativer Luftfeuchte wird die Lufttemperatur auf der Haut intensiver wahrgenommen als die gleiche Temperatur bei geringerer relativer Feuchte.

Zusätzlich zur Einhaltung einer aktivitätsabhängigen Lufttemperatur ist es weiterhin auch wünschenswert, dass eine möglichst geringe Temperaturschichtung im Raum vorhanden ist ($<2 \text{ K/m}$)³. So werden z. B. Temperaturdifferenzen zwischen Kopf oder Nacken und Fußbereich recht empfindlich als unbehaglich wahrgenommen.

Die **Raumtemperatur** ist eine zusammenfassende Temperaturgröße aus der örtlichen Lufttemperatur und Strahlungstemperaturen der einzelnen Umgebungsoberflächen.

Der Mensch kann nicht unterscheiden, ob sein thermisches Empfinden ausschließlich durch eine temperierte Luft verursacht wird, oder ob auch Wärmestrahlungsanteile zu der klimatischen Wahrnehmung führen. Strahlungswärme bei geringer Lufttemperatur kann zu vergleichbarem Empfinden führen wie entsprechend höhere Lufttemperaturen ohne zusätzliche Wärmestrahlung. Diese Tatsache wird bei dem Einsatz von Wärmestrahlungsheizungen z. B. bei der Beheizung von Hallen genutzt, wobei es dabei allerdings wichtig ist, Strahlungstemperaturasymmetrien zu vermeiden (siehe auch unter "Wärmestrahlung" dieses Leitfadens bzw. Pkt. 2.5.1), da diese zu starkem Unbehagen führen. Raum- bzw. tätigkeitsbezogene Anforderungen an Raumtemperaturen werden in der ArbStättV und der ASR [1] benannt.

Als **operative Raumtemperatur** bzw. **empfundene Raumtemperatur** bezeichnet man eine Temperatur, die sich aus der Lufttemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur ergibt und deren Wertigkeit nach DIN 1946 Teil 2 [6] mit einem Globethermometer bestimmt werden kann.

Diese empfundene Raumtemperatur kann auch zur Beurteilung wärmestrahlungsbeheizter Arbeitsbereiche herangezogen werden, da sie in diesem Zusammenhang mit der in der ASR 6/1.3 genannten Mindestraumtemperatur vergleichbar ist (siehe unter "Wärmestrahlung" Pkt. 2.5 dieses Leitfadens).

³ DIN 1946 Teil 2, Abschnitt 4.1.3.2

Unter den Voraussetzungen

- Aktivitätsstufe I bis II (120-150 W entspricht 1,2-1,5 met)⁴
- leichte bis mittlere Bekleidung (0,08-0,16 m² K/W bzw. 0,5-1 clo)⁵
- Raumluftgeschwindigkeit und Turbulenzgrad im zulässigen Bereich
- Emissionsverhältnis (Verhältnis der ausgesendeten Strahlungsenergie zur höchstmöglichen Strahlungsemission) der Oberfläche $\epsilon \approx 0,9$

gilt nach DIN 1946 Teil 2 [6] für RLT-Anlagen die **örtliche operative Raumtemperatur**:

$$t_o \sim 0,5 (t_a + \bar{t}_r) \quad [^{\circ}\text{C}]$$

t_o = örtliche operative Raumtemperatur [$^{\circ}\text{C}$]

t_a = örtliche Lufttemperatur [$^{\circ}\text{C}$]

\bar{t}_r = örtliche mittlere Strahlungstemperatur [$^{\circ}\text{C}$]

HINWEIS:

Die örtliche operative Raumtemperatur ist nicht identisch mit der in der ASR 6 genannten Raumtemperatur, die mit einem wärmestrahlungsgeschützten Thermometer in Raummitte auf 0,75 m Höhe ermittelt wird.

Die t_o ist bezogen auf multidirektionale Ganzkörperbestrahlung.

In der DIN EN ISO 7730 - 1995 [18] wird für den Behaglichkeitsbereich (Büroklima) eine weitere **operative Temperatur** (t_o) beschrieben. Diese Temperatur kann bei niedrigen Luftgeschwindigkeiten ($v_a < 0,2$ m/s) und dort, wo die Differenz zwischen der mittleren Strahlungstemperatur und der Lufttemperatur gering ist (< 4 $^{\circ}\text{C}$), mit hinreichender Genauigkeit aus dem Mittelwert der mittleren Strahlungstemperaturen (\bar{t}_r) der sechs räumlichen Richtungen und der Lufttemperatur (t_a) berechnet werden und entspricht der vorgenannten operativen Raumtemperatur.

Im Gegensatz dazu sollte für Luftgeschwindigkeiten $> 0,2$ m/s t_o verwendet werden:

$$t_o = (A \cdot t_a) + (1 - A) \bar{t}_r \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Der Wert für die Rechengröße "A" ist als Funktion der relativen Luftgeschwindigkeit (v_{ar}) der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen:

⁴ 1 met = 58 W/m² Körperoberfläche, wobei bei einer "Durchschnittsperson" 1,7 m² Körperoberfläche zugrunde gelegt werden

⁵ 1 clo = 0,155 m²K/W

v_{ar}	< 0,2 m/s	0,2 bis 0,6 m/s	0,6 bis 1,0 m/s
A	0,5	0,6	0,7

$$v_{ar} = v_a + 0,0052(M - 58) \quad [m/s]$$

- v_{ar} = relative Luftgeschwindigkeit (relativ zum menschlichen Körper) nach ISO 7933 [m/s]
 v_a = Luftgeschwindigkeit [m/s]
 M = Gesamtenergieumsatz bezogen auf die Oberfläche des menschlichen Körpers⁶ [W/m²]

körperliche Tätigkeit	Energieumsatz [W/m ²]	Energieumsatz [met]
entspannt sitzend	58	1,0
Tätigkeit im Sitzen (Büro, Labor)	70	1,2
leichte Tätigkeit, stehend	93	1,6
mittelschwere Tätigkeit, stehend	116	2,0

Beispiele für Energieumsätze (M) bei körperlicher Tätigkeit

Weitere Klassifizierungen von Aktivitäten (in internationalen Normwerken "metabolic rate" genannt) sowie Zuordnungen unterschiedlichster praktischer Tätigkeiten enthalten:

- DIN EN 27243 - 12/1993 [16] unter Abschnitt 4 Tabelle 1,
- DIN EN ISO 7730 - 9/1995 [18] unter Anhang B "Gesamtumsatz ...",
- DIN 33403 Teil 3 -06/1988 [13] Tabelle 1 "Arbeitsenergieumsätze",
- DIN EN 28986 "Bestimmung der Wärmeerzeugung im menschlichen Körper"

⁶ Oberfläche "Durchschnittsperson" 1,7 m² (DIN 1946 Teil 2), Körperoberfläche männl. Person 1,8 m², Körperoberfläche weibl. Person 1,6 m² (DIN EN 28996)

Bekleidung	Wärmedurchlasswiderstand R	
	m ² K/ W	clo ¹⁾
Ohne Kleidung	0	0
Leichte Sommerkleidung	0,08	0,5
Mittlere Kleidung	0,16	1,0
Warme Kleidung	0,24	1,5
¹⁾ Eine andere Einheit des Wärmedurchlasswiderstandes der Bekleidung ist 1 clo = 0,155 m ² K/ W		

Wärmedurchlasswiderstand der Bekleidung

Weitere Informationen zu Bekleidungsisolationswerten sind enthalten in:

- DIN 33403 Teil 3 Ausg. Juni 1988 Tabelle 2 [13],
- DIN EN ISO 7730 - 9/1995 Anhang C [18]

1.2 Luftfeuchte

Der Mensch kann die relative Luftfeuchte nicht konkret einschätzen, nimmt allerdings bei erhöhter relativer Luftfeuchte die Lufttemperatur intensiver wahr. So werden bei erhöhter relativer Luftfeuchte hohe Temperaturen als wärmer und niedrige als kälter empfunden. Als Beispiel ist die Sauna zu nennen. Dort werden verhältnismäßig hohe Lufttemperaturen bei geringer relativer Feuchte als angenehm empfunden und nach einem Aufguss mit der damit verbundenen angehobenen relativen Luftfeuchte erscheinen dieselben Lufttemperaturen unerträglich.

Als Behaglichkeitsbereich wird ein Bereich zwischen 30 und 70 % relativer Luftfeuchte angenommen. Das Behaglichkeitsempfinden wird durch die relative Luftfeuchte erst beeinträchtigt, wenn die Wärmeabgabe des Körpers durch Schweißverdunstung auf der Haut behindert wird. Die Verdunstungsintensität ist abhängig von der Differenz des Dampfdruckes auf der Hautoberfläche zu dem der Umschließungsluft.

Oberhalb der oberen Grenzen des Behaglichkeitsbereiches spricht man von „Schwüleempfinden“. Bei diesen Konzentrationen kann der Prozess der Wärmeabgabe des Körpers eingeschränkt sein. Dies wiederum kann zu einer Erhöhung der Körpertemperatur (Hitzestau) mit der damit verbundenen Kreislaufbelastung führen.

Außer dem o. g. „Schwüleempfinden“ kann eine hohe relative Luftfeuchte verbunden mit niedrigen Wandtemperaturen durch Taupunktunterschreitung zu einer Wasserdampfkondensation führen und hiermit unter Umständen Bauschäden verursachen. Weiterhin wird die Bildung von Schimmel und Modergerüchen begünstigt.

Niedrige Luftfeuchten können zur Austrocknung der Schleimhäute führen und beeinträchtigen dadurch die Funktion der Atmungsorgane. Geringe Luftfeuchten begünstigen auch die Entstehung von elektrostatischen Aufladungen, die dann bei Berührung zu überraschenden Entladungen mit entsprechenden unkontrollierten Schreckreaktionen (Verletzungsrisiko!) führen können. Relative Luftfeuchten > 50 % wirken elektrostatischen Aufladungen entgegen.

1.2.1 Messgrößen

Klimagröße	Formelzeichen	Einheit
Temperaturen		
Trockentemperatur	t_a	°C
Feuchttemperatur (Belüftete Feuchtthermometertemperatur)	t_w	°C
Taupunkttemperatur	t_d	[°C]
Absolute Luftfeuchte beschrieben als		
Feuchtegehalt ⁷ in der Technik auch als <i>Wasserdampfgehalt der Luft</i> bezeichnet	W_a/x	g Wasserdampf je kg trockener Luft [g/kg]
Partialdruck des Wasserdampfes ⁷	p_a	kPa
Relative Luftfeuchte	U	[%]

- Trockentemperatur

Mit dem Aspirationspsychrometer am Thermometer ohne Baumwollstrumpf gemessene Lufttemperatur. In der DIN 1946 Teil 2 wird sie auch als örtliche Lufttemperatur bezeichnet (siehe auch 1.1.1).

- Feuchttemperatur

Die Bestimmung der Luftfeuchte wird häufig mit Hilfe des psychrometrischen Prinzips durchgeführt. Ein Psychrometer nach "Assmann" (DIN 50012 Teil 2) besteht aus zwei parallel und strahlungsgeschützt gehaltenen Thermometern, die durch einen definierten Luftstrom belüftet werden (Luftgeschwindigkeit > 2,4 m/s). Eine der beiden Thermometermesskuppen ist mit einem Baumwollstrumpf überzogen, der zur Messung mit destilliertem Wasser befeuchtet wird. Je nach Sättigungsgrad der Umschließungsluft wird Wasser des Feuchtthermometers verdunstet und es kühlt ab - nach Erreichen des Beharrungszustandes kann dann an diesem Thermometer die sogenannte **Feuchttemperatur** abgelesen werden. Auf der Basis der Temperaturdifferenz zwischen dem trockenen und dem feuchten Thermometer, auch als psychrometrische Differenz bezeichnet, kann nach der Sprungschens Formel der Partialdruck des Wasserdampfes errechnet werden. In einem Nomogramm „Aspirationspsychrometer-Tafeln nach Sonntag“ kann dies über Wasser bzw. Eis abgelesen werden. Gleichzeitig ist auch die relative Luftfeuchte zu ermitteln.

⁷ Benennung gemäß DIN EN 27726, Dezember 1993

- Taupunkttemperatur

Wird gesättigte Luft abgekühlt, so kommt es zur Kondensation von Wasser. Dies geschieht u.a. auch an Flächen, z.B. Fenstern oder Metallteilen, deren Oberflächentemperatur unter der Temperatur der Raumluft liegt, wodurch die angrenzenden Luftschichten durch Abkühlung übersättigt werden und Wasser abgeben. Als Taupunkttemperatur der Luft bezeichnet man die Temperatur, bis zu der die umschließende Luft abgekühlt werden muß, um mit Wasserdampf gesättigt zu sein. Dies kann wie vorher beschrieben durch Abkühlung aber auch durch Zufuhr zusätzlicher Feuchte bei Konstanzhaltung der Lufttemperatur geschehen. Da der Taupunkt ein sehr genauer Umschlagpunkt ist, kann auch nach der Taupunktmethode die Luftfeuchte gemessen werden (siehe ggf. DIN 50 012 Teil 4 vom Januar 1986). Dies geschieht in der Form, dass man eine polierte Metallfläche z.B. mit einem Peltier-Element abkühlt und den Punkt der Reflexionsveränderung, bedingt durch den Tauniederschlag, auf optischem Weg als Taupunkttemperatur erfasst (Taupunktspiegel). Über die Taupunkttemperatur lassen sich mit dem Feuchterechnstab oder mit einem Rechner-Programm zur Auswertung psychrometrischer Messungen andere Feuchteparameter ermitteln.

- absolute Luftfeuchte

Die von der in der Luft vorhandenen Wasserdampfmenge abhängigen Größen dienen zur Beschreibung der absoluten Luftfeuchte des Umgebungsklimas. Dabei gibt es zwei Größen zur Beschreibung der absoluten Luftfeuchte: den *Feuchtegehalt* und den *Partialdruck* des Wasserdampfes.

- Feuchtegehalt, in der Technik auch als Wasserdampfgehalt der Luft bezeichnet

Diese Größe gibt die Wasserdampfmenge in Gramm an, die in einem m³ trockener Luft enthalten ist.

Das Vermögen der Luft, Feuchtigkeit (Wasserdampf) bis zur Sättigung aufzunehmen, steigt mit der Lufttemperatur exponentiell an. Überschüssige Feuchte über die Sättigung hinaus wird in Form von Nebeltröpfchen, Kondensat- und Taubildung (Taupunkttemperatur) ausgeschieden.

Soweit die Trocken- und die Feuchttemperatur bekannt sind, besteht z.B. durch Nutzung des h, x - Diagramms die Möglichkeit, den Wasserdampfgehalt der Luft zu bestimmen.

Wenn der Luftdruck (p) und die Feuchtthermometertemperatur (t_w) und dadurch auch der Sättigungsdampfdruck (p'') aus der Wasserdampf Tafel [22] bekannt sind, läßt sich der Wasserdampfgehalt der Luft mit der nachfolgend dargestellten Formel berechnen:

$$x = 613 \frac{p''}{p - p''} \quad [\text{g} / \text{kg}]$$

Beispiel: t_w = 20 °C zugehöriger Sättigungsdampfdruck p'' = 23,37 hPa⁸
p = 1010 hPa (barometrischer Luftdruck)
x = ? g/kg Wasserdampfgehalt der Luft

$$x = 613 \frac{23,37}{1010 - 23,37} = \underline{\underline{14,5 \text{ g} / \text{kg}}}$$

Luft-temp. [°C]	Wasserdampfgehalt in g/kg trockener Luft bei einer relativen Feuchte von									
	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %	100 %
± 0	0,4	0,8	1,1	1,5	1,9	2,3	2,7	3,0	3,4	3,8
+ 5	0,6	1,0	1,6	2,1	2,7	3,3	3,8	4,4	4,9	5,5
+ 10	0,7	1,5	2,3	3,0	3,8	4,6	5,3	6,1	6,8	7,6
+ 15	1,1	2,1	3,2	4,2	5,3	6,4	7,4	8,5	9,5	10,6
+ 20	1,4	2,9	4,3	5,8	7,2	8,6	10,1	11,5	13,0	14,4
+ 25	2,0	3,9	5,9	7,9	9,9	12,0	14,0	16,0	17,8	20,0

Wasserdampfgehalt bei verschiedenen Lufttemperaturen und relativen Luftfeuchten

- Wasserdampfdruck

Als ein Gas-Dampf-Gemisch enthält Luft üblicherweise auch Wasserdampf. Innerhalb des gesamten barometrischen Gasdruckes ist der Wasserdampfdruck ein Teildruck, deshalb auch Partialdruck des Wasserdampfes. Der Wasserdampfdruck kann bei einer fixierten Lufttemperatur nur bis zur Sättigungsgrenze ansteigen, diesen Druck nennt man Sättigungsdruck. Danach tritt eine Kondensation ein (siehe auch Taupunkttemperatur).

Dem h, x - Diagramm ist bei bekanntem Wasserdampfdruck der Wasserdampfgehalt direkt zugeordnet, weiterhin ist bei Kenntnis der Trockentemperatur die relative Feuchte ablesbar. Korrekte Sättigungsdampfdrücke sind mit Temperaturzuordnung den Wasserdampf Tafeln [22] zu entnehmen und werden dort unter dem Formelzeichen p in hPa genannt.

Beispiele:

Lufttemperatur [°C]	Sättigungsdampfdruck [hPa]
15	17,04
20	23,37
25	31,66

⁸ z.B. aus h, x - Diagramm oder "Wasserdampf Tafel" [22]

- relative Luftfeuchte

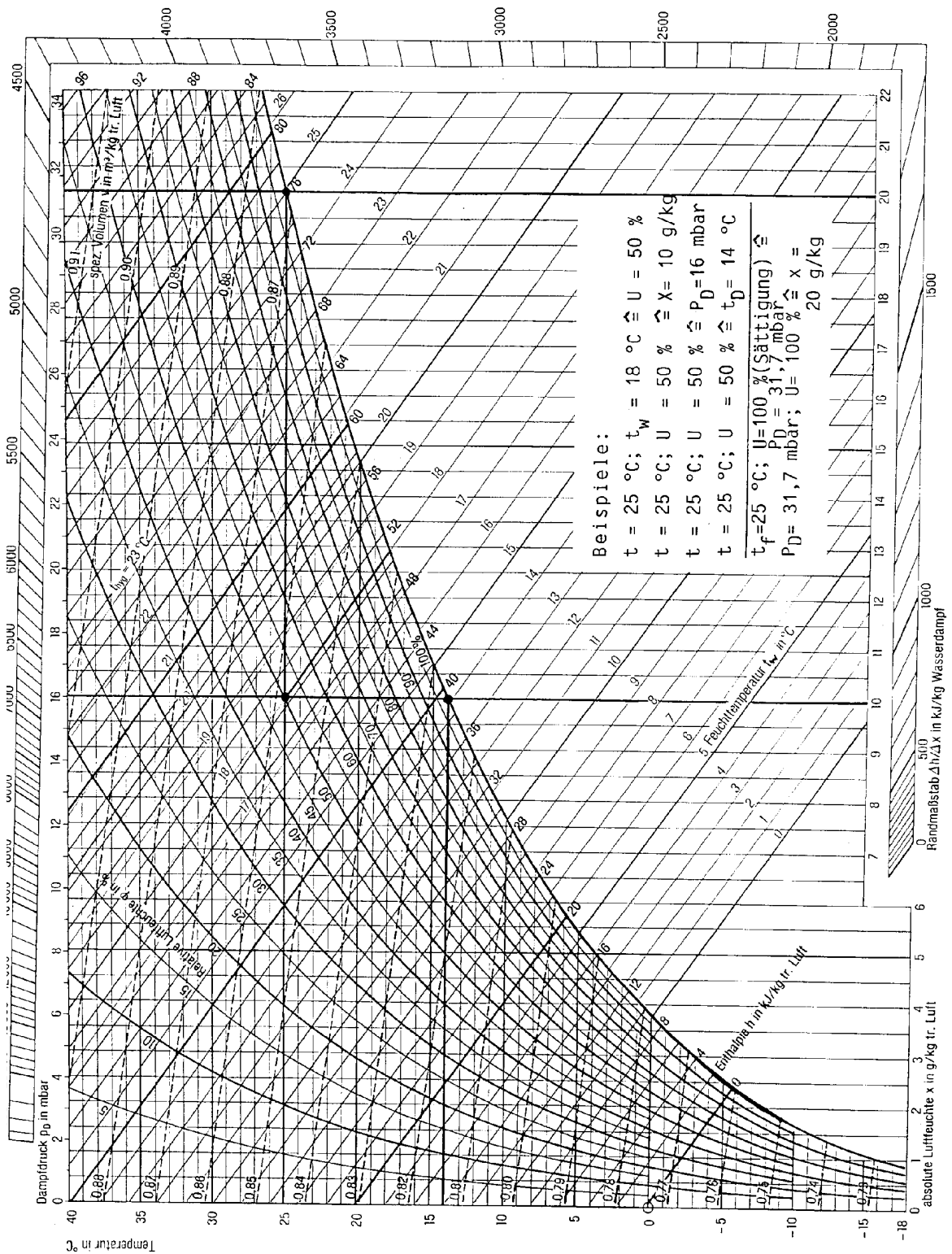
Die relative Feuchte - als die verbreitetste Feuchtegröße - ist das Verhältnis des aktuellen Wasserdampfdruckes zum maximal möglichen sogenannten Sättigungsdampfdruck bei einer bestimmten Lufttemperatur (Trockentemperatur).

Die relative Feuchte allein ergibt keine Aussage über den absoluten Wassergehalt. Hierzu muß weiterhin die zugehörige Lufttemperatur bekannt sein, um dann durch Umrechnungen bzw. durch Nutzung des h, x - Diagramms⁹ weitere Feuchtegrößen bestimmen zu können. Grundsätzlich gilt außerdem, dass bei der Erwärmung von Luft mit gleichbleibendem absoluten Wasserdampfgehalt die relative Feuchte sinkt bzw. bei Abkühlung steigt.

$$U = \frac{100 p_a}{p''} \quad [\%]$$

p'' = Sättigungsdruck des Wasserdampfes [kPa]

⁹ h = spez. Enthalpie [J/kg]; x = Wasserdampfgehalt [g/kg]



h, x-Diagramm für feuchte Luft

Gesamtdruck 1013 hPa, Temperaturbereich von -18 °C bis + 40 °C

1.3 Luftgeschwindigkeit

Das subjektive Empfinden von Luftbewegungen ist sehr verschiedenartig. Eine unerwünschte Form der Luftgeschwindigkeit ist die sogenannte Zugluft, die als Zegerscheinung wahrgenommen wird. Diese Empfindung kann sowohl durch raumluftechnische Anlagen als auch durch natürliche Lüftungsmaßnahmen verursacht werden. Dabei gelten der menschliche Schulter-Nacken-Bereich und der Fußgelenk-Bereich sowie die rückwärtige Körperseite als empfindsame "Sensoren". Dies findet wiederum bei Messungen durch Messwerterfassung auf entsprechenden Messhöhen (siehe Pkt. 2.1 dieser Veröffentlichung) Berücksichtigung. Zugluft ist eine zu hohe Luftbewegung, die zu einer örtlichen Abkühlung des menschlichen Körpers führen kann. Ähnlich wie die Zugluft wird auch die Strahlungstemperatur von kalten Oberflächen von den menschlichen Rezeptoren wahrgenommen.

Die Luftgeschwindigkeit wird je nach Lufttemperatur, Aktivitätsgrad, Bekleidungszustand, Luftfeuchte und Änderungsfrequenz der Luftgeschwindigkeit unterschiedlich empfunden. Grundsätzlich empfinden Personen bei körperlicher Arbeit (Aktivitätsgrad) eine erhöhte Luftgeschwindigkeit als weniger störend. Sie kann sogar zum Ausgleich der Wärmebilanz erforderlich sein. Höhere Luftgeschwindigkeiten fördern die Verdunstung auf der Haut und dadurch die Wärmeabgabe.

Luftgeschwindigkeitsschwankungen werden sehr sensibel auf der Haut als Temperaturschwankungen bzw. zentral als Warnsignal wahrgenommen. Dies erklärt auch den hohen Anteil Unzufriedener bei unruhigen (turbulenten) Luftströmen. Diese Art der Luftströmung mit wechselnder Intensität wird durch die Forderung nach der Bestimmung der Standardabweichung (DIN EN 27726 [17]) bei der Luftgeschwindigkeitsmessung und der damit möglichen Berechnung des Turbulenzgrades (DIN 1946 Teil 2 [6]), bzw. Zugluftrisikos, beurteilbar.

Minimale Luftbewegungen sind für den Wärmetransport erforderlich.

Untersuchungen bei einer Lufttemperatur von 23 °C ergaben, daß laminare Luftströmungen bei gleicher Luftgeschwindigkeit weniger störend empfunden werden als turbulente.

Aktuelle turbulente Luftgeschwindigkeit (3 min. Mittelwert) [m/s]	Äquivalente laminare Luftgeschwindigkeit [m/s]
0,10	0,24
0,15	0,30
0,22	0,36
0,29	0,45
0,40	0,60

Empfindungsmäßiger Vergleich von turbulenter und laminarer Luftgeschwindigkeit

Quelle: Technical Review 1/1985, Fa. Brüel & Kjaer DK-2850 Naerum [30]

1.3.1 Messgrößen

Luftgeschwindigkeitsparameter	Formelzeichen	Einheit
Luftgeschwindigkeit	v_a	m/s
Relative Luftgeschwindigkeit	v_{ar}	M/s
Lokaler T urbulenzgrad	T_u	%
Zugluftrisiko (d raft risk)	DR	%

- Luftgeschwindigkeit

Das Empfinden der Luftgeschwindigkeit v_a ist im Wesentlichen abhängig von der

- "Gleichförmigkeit" der Strömung bzw. dem Turbulenzgrad und dem damit verbundenem
- Zugluftrisiko sowie
- der Lufttemperatur.

Man unterscheidet gerichtete und ungerichtete Luftströmungen. Die Anströmrichtung ist ein wesentliches Kriterium zur Beurteilung der Arbeitsplatzsituation bzw. zur Optimierung der klimatischen Situation (z. B. durch Veränderung der Anordnung von Arbeitsplätzen).

Die Luftgeschwindigkeit ist ein wesentlicher Bestandteil der klimatischen Behaglichkeit und geht bei der Bestimmung der Klimasummenmaße (PMV und PPD) und der Normal-effektivtemperatur (NET) direkt mit ein.

Mit Hilfe der Luftgeschwindigkeitsmessung unter Berücksichtigung der Forderungen der VDI 2080 [21] kann der Luftvolumenstrom in den zugehörigen Luftkanälen ermittelt werden.

- Relative Luftgeschwindigkeit (DIN EN ISO 7730 [18] u. ISO 7933 [19])

Die relative Luftgeschwindigkeit v_{ar} ergibt sich aus der Luftgeschwindigkeit über Grund im Zusammenwirken mit der Geschwindigkeit des Körpers bzw. Teilen des Körpers.

Bei körperlicher Aktivität und stationärer Tätigkeit ergibt sich in erster Annäherung folgender Zusammenhang:

$$v_{ar} = v_a + 0,0052(M-58) \quad [m/s]$$

M = der Energieumsatz bezogen auf die Oberfläche des menschlichen Körpers [W/m^2]

$$M = \frac{\text{Arbeitsenergieumsatz} + \text{Grundumsatz}}{1,7 \text{ m}^2} \cdot 16,67 \left[\text{W} / \text{m}^2 \right]$$

Arbeitsenergieumsatz AU
 aus Tabellen¹⁰ in kJ/min (1 W = 3,6 kJ/h)

Grundumsatz GU
 für die Frau = 4,0 kJ/min
 für den Mann = 4,8 kJ/min

1,7 m² ≙ gemittelte Körperoberfläche Mann/Frau

Energieumsatz (M) - Beispiele:

sitzende Tätigkeit	70 W/m ²
stehende, leichte Tätigkeit	93 W/m ²
stehende, mittelschwere Tätigkeit	116 W/m ²
Halle fegen (Zementfußboden)	160 W/m ²
Handhobelarbeit an Hartholz; gebeugt stehend	350 W/m ²
Hausarbeit allgemein	120 W/m ²

- Lokaler Turbulenzgrad (DIN 1946 Teil 2)

Zur Bestimmung des Zugluftrisikos ist es erforderlich, eine Größe der Gleich- oder Ungleichförmigkeit der Luftströmung mit einzubringen. Diese Größe ist der Turbulenzgrad Tu. Zur Berechnung des Turbulenzgrades muss die Standardabweichung (s_v) des ermittelten Luftgeschwindigkeitswertes bekannt sein (Forderung nach DIN EN 27726, Tabelle 2). Der Turbulenzgrad in konventionell belüfteten Räumen liegt etwa zwischen 30 % und 60 %. Bei Beurteilungen, bei denen keine konkreten Werte des Turbulenzgrades vorliegen, wird ein Turbulenzgrad von 40 % angenommen.

$$Tu = \frac{s_v}{\bar{v}} 100 \left[\% \right]$$

s_v = Standardabweichung der Momentanwerte der Luftgeschwindigkeit
 \bar{v} = mittlere Luftgeschwindigkeit

Die erlaubte, mittlere Luftgeschwindigkeit als Funktion der Lufttemperatur und des Turbulenzgrades sind auf Seite 30 dieser Broschüre und im Anhang D 1.1, Bild D.2 der DIN EN ISO 7730 dargestellt [18].

- Zugluftrisiko (DIN EN ISO 7730)

Die Beeinträchtigung des menschlichen Körpers durch Zugluft, verursacht durch unerwünschte Abkühlung, kann als Voraussage des Prozentsatzes Unzufriedener bestimmt werden und nennt sich dann Zugluftrisiko DR (draft risk).

¹⁰ z.B. Tafeln für den Energieumsatz bei körperlicher Arbeit; Spitzer/ Hettinger/ Kaminsky; Beuth-Verlag GmbH

$$DR = (34 - t_a) (v - 0,05)^{0,62} (0,37 \cdot v \cdot Tu + 3,14) \quad [\%]$$

- t_a = lokale Lufttemperatur [°C]
 v = lokale mittlere Luftgeschwindigkeit [m/s]
 Tu = lokaler Turbulenzgrad [%] (berechnete Größe)

BEMERKUNG: Vorgenannter Berechnungsweg basiert auf Untersuchungen mit 150 Probanden bei Lufttemperaturen von 20 bis 26 °C, mittl. Luftgeschwindigkeiten 0,05 bis 0,4 m/s und Turbulenzgraden < 70 % bei leichter, hauptsächlich sitzender Tätigkeit. Die DR-Werte sind in der Regel < 25 %. Eine weitere Unterteilung in drei Kategorien ist dem CEN-Report 1752 [32] zu entnehmen.

1.4 Wärmestrahlung

Wärmestrahlung ist eine elektromagnetische Strahlung, die in einem Wellenlängenbereich zwischen 0,8 und 800 µm liegt. Voraussetzung für das Vorhandensein von Wärmestrahlung ist, dass eine Oberfläche mit einer höheren Temperatur als 0 K (- 273 °C) vorhanden ist. Abhängig von den Oberflächenbeschaffenheiten (Abstrahl- und Aufheizvermögen), der Oberflächentemperatur, den Flächengrößen sowie deren gegenseitiger Anordnung ergeben sich dann die unterschiedlichen Strahlungsleistungen.

Der Mensch kann nur sehr begrenzt zwischen der Wahrnehmung von warmer Umgebungsluft und der Wirkung der mittleren Strahlungstemperatur unterscheiden. Diese Tatsache findet Nutzung bei der Zusammensetzung bestimmter Raumtemperaturen bzw. der operativen Lufttemperatur, die sich pauschaliert aus der halbierten Summe der mittleren Lufttemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur ergibt. Maßgebend für die Wirkung von Wärme auf den Menschen am Arbeitsplatz ist der durch unterschiedliche Wärmestrahlung bedingte summierte Wärmestrom. Dieser kann durch die Messgrößen mittlere Strahlungstemperatur, Globetemperatur und effektive Bestrahlungsstärke beurteilt werden.

1.4.1 Messgrößen

Klimagröße	Formelzeichen	Einheit
Halbraumstrahlungstemperatur oder ebene Strahlungstemperatur	t_{pr}	°C
Strahlungstemperaturasymmetrie	Δt_{pr}	°C
Mittlere Strahlungstemperatur	\bar{t}_r	°C
Globetemperatur	t_g	°C
Bestrahlungsstärke	E	W/m ²
Effektive Bestrahlungsstärke	E_{eff}	W/m ²
Absolute Bestrahlungsstärke	E_{abs}	W/m ²
Strahlungsintensität	I_s	W/m ²

- Halbraum - Strahlungstemperatur

Als Definition der Halbraum-Strahlungstemperatur gilt die einheitliche Oberflächentemperatur eines angenommenen Raumes, in dem die Einstrahlung auf einer Seite eines flächenförmigen Messelementes die gleiche ist wie in der nicht ausgeglichenen aktuellen Umgebung. Vereinfacht bedeutet dies, dass es sich um einen Mittelwert aus unterschiedlich temperierten Oberflächen handelt, der in einer Richtung gemessen wird und nicht als raumerfassend anzusehen ist (siehe mittlere Strahlungstemperatur).

- Strahlungstemperatur - Asymmetrie

Die Strahlungstemperatur - Asymmetrie Δt_{pr} ist definiert als Differenz zweier Halbraum-Strahlungstemperaturen in entgegengesetzter Richtung. Dieser Asymmetriewert dient der Beurteilung asymmetrischer Strahlungsverhältnisse in Arbeitsstätten bei thermischem Unbehagen, z.B. hervorgerufen durch erhöhte Deckenstrahlungstemperaturen (Beleuchtungsanlagen, Deckenheizungen usw.) oder kalte Flächen (Kühldecken, Wände, Fenster usw.). Die Größe wird mit dem oben genannten flächenförmigen Messelement gemessen, sie dient als Bezugs- wert für eine sich dort aufhaltende Person.

- Mittlere Strahlungstemperatur

Die mittlere Strahlungstemperatur \bar{t}_r findet vorrangig Verwendung bei der Kennzeichnung der Wärmestrahlung im Behaglichkeitsbereich (international). Sie fasst die von den Umschließungsflächen ausgehende Strahlung zusammen und ergibt sich aus der Verknüpfung der in den sechs räumlichen Richtungen (oben, unten, rechts, links, vorn, hinten) gemessenen Halbraum-Strahlungstemperaturen. Dies kann mit einem gleichzeitig in alle sechs Richtungen messenden Gerät geschehen oder durch Messung in einzelnen Richtungen mit anschließender separater Mittelung.

Soweit die Globetemperatur t_g , die Lufttemperatur t_a und die Luftgeschwindigkeit v_a bekannt sind, lässt sich die mittlere Strahlungstemperatur nach folgender Formel näherungsweise berechnen:

$$\bar{t}_r = \left[(t_g + 273)^4 + 2,5 \cdot 10^8 \cdot v_a^{0,6} (t_g - t_a) \right]^{0,25} - 273 \quad [^\circ C]$$

- Globetemperatur

Die Globetemperatur t_g ist die Lufttemperatur im Inneren einer dünnwandigen und mattschwarzen (Emissionskoeffizient $\varepsilon = 0,95$) Hohlkugel, die aus gut wärmeleitendem Material (Kupfer) besteht. Der Kugeldurchmesser beträgt 150 mm (die präzise Spezifikation des Sensors ist in der DIN EN 27243 vom Dezember 1993 [16] ersichtlich). Die Globetemperatur stellt sich sensorbedingt verhältnismäßig träge ein. Es muß von Einstellzeiten zwischen 20 und 30 min. ausgegangen werden. Dies bedeutet, dass dieser Sensor zur Erfassung kurzzeitig wechselnder Temperaturverhältnisse wenig geeignet ist.

Abhängig ist die Globetemperatur von der Lufttemperatur, der Wärmestrahlung und der Luftgeschwindigkeit. Der Wert der Globetemperatur fließt in die Ermittlung der sogenannten Feuchtkugeltemperatur (DIN 33403 Teil 4 Entwurf) bzw. des WBGT - Indices (**W**et **B**ulb **G**lobe **T**emperature nach DIN EN 27243) mit ein. In Verbindung mit der psychrometrischen Feuchtemperatur und der Luftgeschwindigkeit läßt sich aus dem Nomogramm nach Yaglou (DIN 3403 Teil 3 [13]) die korrigierte Effektivtemperatur CNET als Klimasummenmaß bestimmen. Zur näherungsweise rechnerischen Bestimmung der o.g. mittleren Strahlungstemperatur findet sie ebenfalls Verwendung.

- Bestrahlungsstärke

Die "Gesamtstrahlung" bzw. "absolute Bestrahlungsstärke" E_{abs} , wie die Bestrahlungsstärke auch bezeichnet wird, ist der Quotient aus der Strahlungsflussänderung $d\Phi$ der einfallenden Strahlung aller Spektralbereiche ohne Differenzierung nach der Herkunft und dem bestrahlten Flächenelement dA (siehe auch DIN 50010 Teil 2 vom August 1981 - Klimabegriffe, Physikalische Begriffe –[15]) bezogen auf 0 K (-273 °C).

$$E_{abs} = \frac{d\Phi}{dA} \quad [W / m^2]$$

In der DIN 33403 Teil 3 [13] vom Juni 1988 sind Schmerzgrenzen unbedeckter Haut in Abhängigkeit von der Bestrahlungsstärke und der Expositionsdauer dokumentiert.

- Effektive Bestrahlungsstärke

Der Mensch nimmt aus seinem Umfeld Wärme auf (Absorption), gibt jedoch auch zur gleichen Zeit Wärme ab (Emission). Die effektive Bestrahlungsstärke ist die Differenz zwischen der durch Strahlung zugeführten und der durch Strahlung abgegebenen Wärmestromdichte, bezogen auf eine Hautoberflächentemperatur des Menschen von 32 °C, bei einem mittleren Emissionskoeffizienten der menschlichen, unbedeckten Haut von $\epsilon = 0,95$.

Darüber hinaus ermöglicht die verfügbare Messtechnik sowohl eine richtungsbezogene, als auch eine den gesamten Raum erfassende Messung der effektiven Bestrahlungsstärke. Dieser Parameter wird in Deutschland vorrangig zur Beurteilung von Wärmestrahlung verwendet. Dies findet auch durch Nennung von Richtwerten in der DIN 33403 Teil 3 [13] und im Forschungsbericht Nr. 374 [24] der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) Berücksichtigung.

- Strahlungsintensität

Die Strahlungsintensität I_s beschreibt den zusätzlich zur Temperatur der Umgebung zu berücksichtigenden Strahlungsanteil. Dabei wird die Bezugstemperatur mit der aktuellen Lufttemperatur gleichgesetzt.

2 Erfassung, Grenz- und Richtwerte

2.1 Messhöhen, Messzeiten, Messorte

Die DIN EN 27726 vom Dezember 1993 [17] Umgebungsklima - Instrumente und Verfahren zur Messung physikalischer Größen - empfiehlt folgende Messhöhen:

Anordnung der Messwertaufnehmer	Gewichtungsfaktoren zur Berechnung der Mittelwerte				Empfohlene Höhe	
	Homogenes Umgebungsklima		Heterogenes Umgebungsklima		Sitzend	Stehend
	Klasse C	Klasse S	Klasse C	Klasse S		
Kopfhöhe			1	1	1,1 m	1,7 m
Unterleibhöhe	1	1	1	2	0,6 m	1,1 m
Fußknöchelhöhe			1	1	0,1 m	0,1 m

Anordnung der Messwertaufnehmer und Gewichtungsfaktoren bei der Messung von Klimagrößen

“Klasse C” steht für **C**omfort (“Behaglichkeitsbedingungen”).

Von “Behaglichkeitsbedingungen” geht man aus, wenn das Klima und die Arbeitsschwere thermisch neutral empfunden werden.

“Klasse S” steht für **S**treß (“Thermische Belastung”).

Diese Klasse, auch “Erträglichkeitsbereich” genannt, ist durch eine erhöhte Beanspruchung durch Klima und Arbeitsschwere gekennzeichnet.

Prinzipiell sind bei der Ermittlung der verschiedenen Klimaparameter gewisse Messzeiten bzw. Messzeiträume erforderlich, um je nach Messaufgabe eine entsprechende Beurteilung durchführen zu können.

Für stichprobenartige Messungen reicht es aus, zu verschiedenen Tageszeiten Einzelmessungen durchzuführen. Zur Beurteilung von thermischen Tagesverläufen sind möglichst Dauermessungen bzw., abhängig von den vorhandenen thermischen Schwankungen im Raum, Langzeitmessungen durchzuführen, die allerdings auch Aufheizzeiten und Auskühlzeiten mit einschließen sollten. Dadurch werden auch energietechnische Aussagen über Ausdehnung oder Verkürzung von Vorheizzeiten¹¹ möglich.

Die Beurteilung von Klimaanlage macht es weiterhin erforderlich, dass Sommer- und Wintermessungen durchgeführt werden (Kühl- und Heizperiode).

Selbstverständlich sind vor Bestimmung der Messwerte die sensorbedingten Einstellzeiten und messwertspezifischen Mittelungszeiträume zu beachten. Als wesentlich sind da zu nennen das Globethermometer mit je nach Kugelgröße 20 - 30 min Einstellzeit und die Mittelungsdauer von drei Minuten für die Luftgeschwindigkeit mit zugehöriger Standardabweichung (DIN EN 27726). Vergleichende Messwertermittlungen an mehreren Messpunkten, in einem Raum oder im Verhältnis zu einem anderen

¹¹ Laut Arbeitsstättenrichtlinie 6 [1] sollen die Mindesttemperaturen bei Arbeitsbeginn erreicht sein.

Raum, sind zeitgleich durchzuführen. Von dieser Verfahrensweise sollte nur abgewichen werden, wenn eine große Gleichmäßigkeit des thermischen Raumverhaltens vorliegt.

Je nach Homogenität der thermischen Bedingungen und der Größe des Arbeitsraumes bzw. Anzahl der Arbeitsplätze ist die Anzahl der Messpunkte im Raum festzulegen. Zuglufterscheinungen und Wärmestrahlung sind unmittelbar am Arbeitsplatz zu bestimmen.

2.2 Lufttemperatur

Einheit: Grad Celsius [°C], Formelzeichen: **t** oder internationalisiert **t_a**

Lufttemperaturen lassen sich im Vergleich zu anderen Klimagrundparametern verhältnismäßig einfach erfassen. So ist es für Beschäftigte problemlos möglich, die an ihrem Arbeitsbereich herrschende Lufttemperatur zu messen und gegebenenfalls zu beanstanden. Die ASR 6/1.3 bezeichnet diese Lufttemperatur fälschlicherweise als "Raumtemperatur" und schreibt für deren Messung strahlungsgeschützte Sensoren vor.

Die Lufttemperatur kann mit sehr unterschiedlichen Messverfahren ermittelt werden, wobei der Messbereich und/ oder der Anwendungsbereich oft das Verfahren vorbestimmt. Als verbreitetste Messsysteme haben sich Flüssigkeitsglasthermometer, Halbleiterthermometer, Thermoelemente und Bimetallthermometer erwiesen.

Die gebräuchlichste Methode ist die Messung mit einem Flüssigkeitsglasthermometer. Dieses kann auch kalibrierfähig¹² sein und muß mit einem ausreichenden Wärmestrahlungsschutz versehen sein.

Die "operative Raumtemperatur" (DIN 1946 Teil 2) wird als thermische Kombinationsgröße aus Lufttemperatur und Strahlungstemperatur gemäß der Empfehlung aus der vorgenannten Norm mit einem Globethermometer (entsprechend DIN EN 27243) ermittelt.

Kombinierte Messgeräte bieten außer der Messung der Lufttemperatur und der Luftfeuchte mittels integriertem Rechner die Ermittlung aller wichtigen Luftfeuchtwerte an.

Bei Verwendung eines Aspirationspsychrometers zur Messung der Lufttemperatur entspricht die Temperatur des Trockenthermometers der Lufttemperatur; die Feuchttemperatur wird zur Bestimmung der Luftfeuchte benötigt.

Alle eingesetzten Messgeräte sollten den Anforderungen der DIN 33403 Teil 1 bzw. der DIN EN 27726 entsprechen, um die Akzeptanz und die Reproduzierbarkeit von Messdaten zu sichern.

Detaillierte Aussagen zur Temperaturmessung sind der VDE/VDI 3511 "Technische Temperaturmessung" zu entnehmen (Bezugsquelle: Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin).

¹² Werden Klimamessgeräte über "orientierende Messungen" hinaus verwendet, müssen sie durch ein dem Deutschen Kalibrierdienst angeschlossenes Labor kalibriert sein.

Bestimmung und Beurteilung der Lufttemperatur

Messkriterien → Messanforderung ↓	Messhöhe [m]	Messort	Messgerät*	Grenz- und Richtwerte
Orientierende Messung	sitzende Person: 0,6 stehende Person: 1,1	Unmittelbar am Problem-arbeitsplatz	Flüssigkeits-glasthermometer (wärmestrahlungs-geschützt) elektronische Thermometer	1) <u>Arbeitsstättenrichtlinie 6/1.3</u> Büro: 20 °C überw. sitzende Tätigkeit und Verkaufsräume: 19 °C überw. nicht-sitzende Tätigkeit: 17 °C schwere körperl. Arbeit: 12 °C Vorgenannte Mindesttemperaturen sollen vor Arbeitsbeginn erreicht sein. Höchsttemperatur: 26 °C** (Ausnahme Hitze-arbeitsplätze)
Messung höheren Anspruchs	sitzende Person: 0,1 0,6 1,1 stehende Person: 0,1 1,1 1,7 (Wichtung nach DIN EN 27726)	Unmittelbar am Problem-arbeitsplatz	zusätzlich zu o.g. Messgeräten: Globethermometer zur Bestimmung der operativen Raumtemperatur in RLT-Anlagen gemäß DIN 1946 Teil 2 weiterhin empfehlens-wert: Kombinationsmess-gerät für mehrere Pa-rameter mit Messwert-speicher und Auswerte-system	2) operative Raumtemperaturen (au-ßenlufttemperaturbezogen) für <u>RLT-Anlagen</u> DIN 1946 Teil 2 beachten 3) DIN EN ISO 7730 (Behaglichkeitsbe-reich ¹³) operative Raumtemperaturen*** wäh-rend der Heizperiode (Winter): 20 - 24 °C während der Kühlperiode (Sommer): 23 - 26 °C bei leichter bis mittlerer sitzender Ak-tivität

* Anforderungen an das Messgerät entsprechend DIN 33403 Teil 1 sowie DIN EN 27726

** Gültig nur bei Vorhandensein entsprechender RLT-Anlagen

*** operative Raumtemperatur $\hat{=}$ 0,5 (Lufttemperatur + mittlere Strahlungstemperatur),

Voraussetzung t_a ZU $\bar{t}_r \leq 4$ °C

Weitergehende Begrenzungen:

Lufttemperaturschichtung bei RLT-Anlagen (DIN 1946 Teil 2): Der vertikale Gradient der Lufttemperatur darf höchstens 2 K je m Raumhöhe betragen. Dabei soll die Lufttemperatur in 0,1 m Höhe über dem Fußboden 21 °C nicht unterschreiten.

Für den Behaglichkeitsbereich DIN EN ISO 7730 gilt für die Winter- und Sommerbedingungen: maximale Lufttemperaturdifferenz zwischen 1,1 und 0,1 m < 3 °C (bei Einhaltung der operativen Raumtemperaturen)

¹³ Thermisch neutraler Bereich - es herrscht für den Menschen Ausgeglichenheit zwischen Wärmezufuhr und Wärmeabgabe

2.3 Luftfeuchte

Je nach Anwendungsbereich und Ansprüchen an die Qualität der Messung stehen verschiedene Messprinzipien zur Verfügung. Haarhygrometer sind regelmäßig zu reaktivieren, zu prüfen und haben eine verhältnismäßig lange Einstellzeit. Psychrometer gelten als sehr zuverlässige und genaue Messgeräte. Mit Hilfe der psychrometrisch ermittelten Trocken- und Feuchttemperatur läßt sich aus dem h, x - Diagramm für feuchte Luft bzw. durch Umsetzung der Temperaturen in Wasserdampfdrücke aus entsprechenden Wasserdampf Tafeln [22] mit anschließender Berechnung ("Sprungsche Psychrometerformel") die relative Luftfeuchte bestimmen.

Kapazitive Feuchtemessgeräte erfordern regelmäßige 0-Punkt- und Prüfpunktkontrollen. Sehr genau und zuverlässig ist die Messung mit einem Taupunktmessgerät.

Angaben zum Messort:

In einem Raum ohne künstliche Befeuchtungsquellen kann man davon ausgehen, daß ein gleichmäßiger Wasserdampfdruck herrscht, daher ist es oftmals ausreichend, an einer kleinen Anzahl von Messorten die Luftfeuchte zu messen. Unterschiedliche Messergebnisse der relativen Feuchte sind, wie oben bei der "Erläuterung der Feuchtegrundparameter" beschrieben, abhängig von der ggf. differierenden Lufttemperatur.

In Anlehnung an die Messhöhenaussagen der DIN EN 27726 [17] (siehe Tabelle unter Punkt 2.1 dieses Facheils) sollte die Luftfeuchte bei einer sitzenden Person in einer Höhe von 0,6 m und bei einer stehenden Person analog zur obigen Aussage in einer Höhe von 1,1 m gemessen werden. Sollten bei den vorgenannten Bedingungen erhebliche Inhomogenitäten der Klimaverhältnisse festgestellt werden, so ist die Messung in den in der Tabelle im Punkt 2.1 aufgeführten Messhöhen und mit entsprechender Wichtung durchzuführen.

Bestimmung und Beurteilung der Luftfeuchte

Messkriterien → Messanforderung ↓	Messhöhe [m]	Messort	Messgerät*	Grenz- und Richtwerte
orientierende Messung	sitzende Person: 0,6 m stehende Person: 1,1 m	nahe dem Problem-arbeitsplatz	Haarhygrometer (Einstellzeit > 5 min) nach DIN 50012 Teil 3 kapazitive Hygrometer Aspirations-Psychrometer mit Flüssigkeitsglasthermometern oder Pt 100 Sensoren nach DIN 50012 Teil 2	1) Arbeitsstättenrichtlinie 5 max. relative Luftfeuchtwerte (temperaturbezogen): 80 % bei 20 °C 70 % bei 22 °C 62 % bei 24 °C 55 % bei 26 °C
Messungen höheren Anspruchs			Zusätzlich zu o.g. Meßgeräten: Taupunkt- (DIN 50012 Teil 4) und Wasserdampfgehaltbestimmung [g/kg] bzw. deren Berechnung aus ermittelten Messdaten dafür empfehlenswert: Kombinationsmessgerät für mehrere Parameter mit Messwertspeicher und Auswertesystem	2) DIN 1946 Teil 2 (für RLT-Anlagen) Feuchtegehalt der Luft max. 11,5 g/ kg tr. Luft und 65 % rel. Feuchte; minimal 30 % rel. Feuchte, gelegentliche Unterschreitungen sind bei extremen Witterungsbedingungen vertretbar 3) DIN EN ISO 7730 (Behaglichkeitsbereich) 30 bis 70 % rel. Feuchte.

* Anforderungen an das Messgerät entsprechend DIN 33403 Teil 1 sowie DIN EN 27726

2.4 Luftgeschwindigkeit

Luftbewegungen lassen sich mit Rauch, leichten Flocken oder Wollfäden sichtbar sowie mit entsprechenden Messgeräten beurteilbar machen.

Die Messung der Raumluftgeschwindigkeit sollte grundsätzlich nur mit thermischen Anemometern durchgeführt werden.

Für Messungen an Zu- oder Abluftöffnungen eignen sich, je nach Höhe der Luftgeschwindigkeit, weiterhin auch Flügelradanemometer (> 1 m/s). Dabei ist zu beachten, dass bei stark wechselnden Luftgeschwindigkeiten mit Flügelradanemometern zu hohe Mittelwerte gemessen werden. Hitzedraht- und Flügelradanemometer sind empfindlich gegen staubhaltige Messumgebungen.

Für höhere Luftgeschwindigkeiten (> 2 m/s), hier besonders in Kanalquerschnitten, wird üblicherweise das Prandtl'sche Staurohr in Verbindung mit einem Mikromanometer (Schrägrohr) oder vergleichbaren elektronischen Differenzdruckmessenrichtungen eingesetzt. Dieses Messsystem bietet bei einer verhältnismäßig hohen Messgenauigkeit (Messunsicherheit des gemessenen Staudruckes $\pm 1\%$) eine unproblematische Handhabung (bis ca. $\pm 10^\circ$ Messrichtungsabweichung aus der Strömungsrichtung) und eine Unempfindlichkeit gegen leichte Verschmutzungen.

Höherwertige Messsysteme bieten durch Ausgabe des >100 s - Mittelwertes (DIN 1946 Teil 2) bzw. des 3-min-Mittelwertes mit Angabe der Standardabweichung (DIN EN 27726) die Möglichkeit den Turbulenzgrad zu berechnen und damit das Zugluftisiko zu bewerten. Für die Geschwindigkeitsmessung ist ein richtungsunabhängiges Messgerät zu verwenden.

Mit Hilfe der gemessenen Luftgeschwindigkeiten lassen sich auch Luftvolumenströme berechnen.

$$V = v \cdot A \cdot 3600 \quad [\text{m}^3 / \text{h}]$$

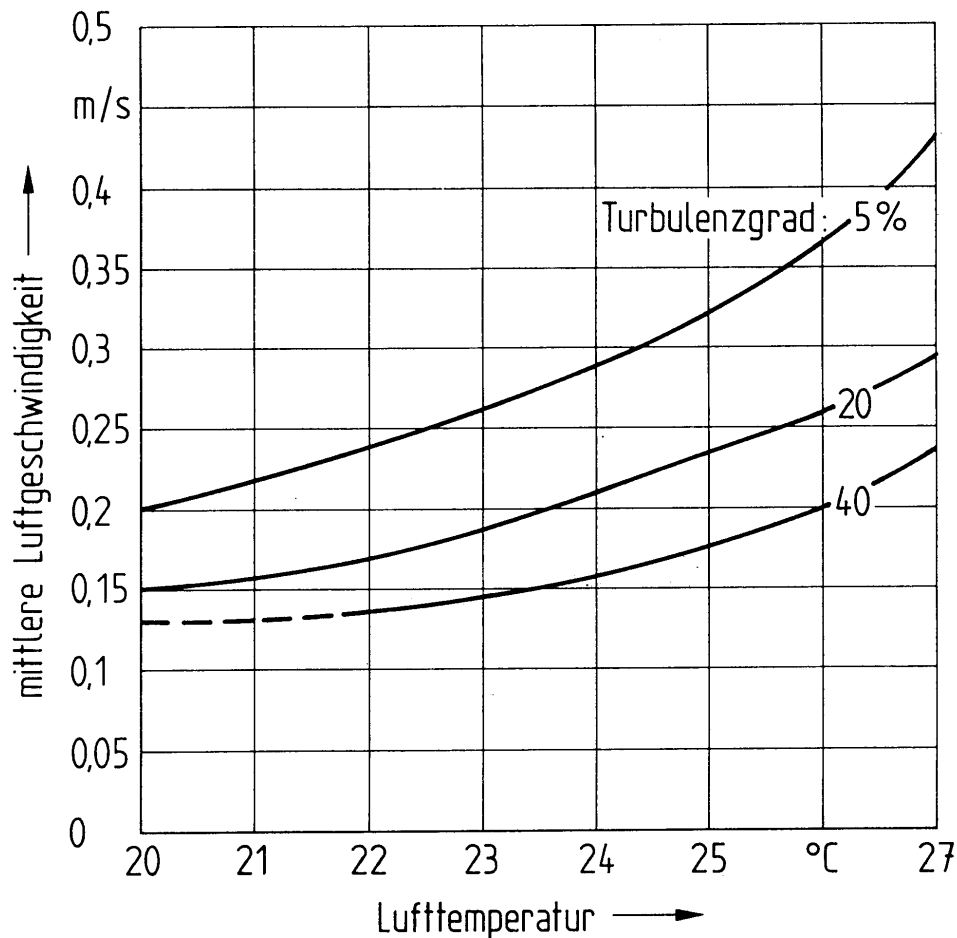
V =	Luftvolumenstrom	[m ³ /h]
v =	Luftgeschwindigkeit	[m/s]
A =	Strömungsquerschnitt	[m ²]

ACHTUNG!

Die Durchführung von Messungen zur Bestimmung von Luftvolumenströmen, die Aufteilung des Messquerschnittes in die erforderlichen Messachsen und Messpunkte, sowie die Anforderungen an die Messstrecke, sollten den Vorgaben der VDI 2079 sowie VDI 2080 entsprechen.

Die in der nachfolgenden Abbildung aufgeführten Darstellungen der Luftgeschwindigkeitsgrenzwerte gelten für eine Aktivitätsstufe I (1,2 met bzw. 70 W/m² - entspricht einer sitzenden Tätigkeit z. B. im Büro) und einem Wärmedurchlasswiderstand der Kleidung von etwa 0,12 m² K/W (0,75 clo, leichte bis mittlere Kleidung). Es wird dabei von 15 % "Unzufriedener" aufgrund von Zugluft ausgegangen.

Die Kurve für 40 % gilt auch für Turbulenzgrade $> 40\%$. Ohne erfolgte spezielle Bestimmung des Turbulenzgrades wird von 40 % ausgegangen.



Werte von mittleren Luftgeschwindigkeiten als Funktion von Temperatur und Turbulenzgrad der Luft im Behaglichkeitsbereich (Gültigkeit für RLT-Anlagen)

Quelle: DIN 1946 Teil 2 vom Januar 1994; Raumluftechnik, Gesundheitstechnische Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln) [6]

“Wird der Wärmedurchlasswiderstand der Kleidung um $0,032 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ (ca. 0,2 clo) oder die Aktivität um 10 W (0,1 met) erhöht, darf die zulässige Luftgeschwindigkeit auf die um etwa 1 K erhöhte zugeordnete Lufttemperatur angehoben werden.”

Weitere “zulässige Luftgeschwindigkeiten” in Abhängigkeit von Temperatur, Turbulenzgrad, Arbeitsaktivität und Bekleidungsisolation für den Bereich Reinraumtechnik sind in der VDI-Richtlinie 2083 Blatt 5 vom Februar 1996, in Bild 12a bis 12c dargestellt.

Bestimmung und Beurteilung der Luftgeschwindigkeit

Messkriterien → Messanforderung ↓	Messhöhe [m]	Messort	Messgerät*	Grenz- und Richtwerte
orientierende Messung	sitzende Person: 0,6 m stehende Person: 1,1 m	unmittelbar am Problemarbeitsplatz; gegebenenfalls weitere Messorte zur Lokalisierung der "Luftstromquelle" und der Strömungsrichtung	Hitzedrahtanemometer und Thermosonden; zur Richtungsbestimmung der Luftströmung: Strömungsprüfröhrchen	1) DIN 1946 Teil 2 (RLT-Anlagen) nennt in Bild 2 für z.B. Turbulenzgrad 40% lufttemperaturbezogen, folgende maximale Luftgeschwindigkeiten:
Messung höheren Anspruchs	sitzende Person: 0,1 0,6 1,1 stehende Person: 0,1 1,1 1,7 (Wichtung nach DIN EN 27726)		Ergänzend zu o. g. Gerät soll das Gerät die Möglichkeit bieten, gem. DIN EN 27726 den 3-min-Mittelwert und die Standardabweichung zu ermitteln, über diese Angaben lassen sich dann der Turbulenzgrad (DIN 1946 Teil 2) und das Zugluftrisiko (DIN EN ISO 7730) berechnen.	20-22 °C ≤ 0,13 m/s 23 °C ≤ 0,15 m/s 24 °C ≤ 0,16 m/s 25 °C ≤ 0,18 m/s 26 °C ≤ 0,20 m/s 2) DIN EN ISO 7730 (Behaglichkeitsbereich) berechn. Zugluftrisiko DR < 15%

* Anforderungen an das Messgerät entsprechend DIN 33403 Teil 1 sowie DIN EN 27726

2.5 Wärmestrahlung

Zur Messung der effektiven Bestrahlungsstärke stehen Messgeräte mit der Möglichkeit der direkten Messwertablesung zur Verfügung sowie Geräte, bei denen durch Umrechnung der Messwerte der sechs räumlichen Richtungen die Bestrahlungsstärke ermittelt wird.

Messgeräte, die Strahlungsverhältnisse in einzelnen Richtungen messen, können auch zur Bestimmung der Strahlungstemperatur- bzw. der Wärmestrahlungsasymmetrie verwendet werden.

Die isolierte Bestimmung der Globetemperatur bietet einige Möglichkeiten zur Beurteilung von Wärmestrahlungsverhältnissen. Sie wird im Wesentlichen als Berechnungsgrundlage für den WBGT-Wert, für die korrigierte Effektivtemperatur und zur näherungsweise Bestimmung der mittleren Strahlungstemperatur eingesetzt.

Weiterhin kann mit der Globetemperatur die Einhaltung der gemäß ASR 6/1.3 Abs. 2.1 geforderten Mindestraumtemperaturen, speziell bei der Arbeitsbereichs-/Arbeitsplatzbeheizung mit Strahlungsheizgeräten, nachgewiesen werden. Auch die operative Raumtemperatur (DIN 1946 Teil 2 [6]) kann mit dem Globethermometer bestimmt werden.

Grundsätzlich wird Wärmestrahlung mit steigender Luftfeuchte intensiver empfunden und bei steigender Luftgeschwindigkeit durch erhöhte Schweißverdunstung bzw. konvektiver Wärmeabgabe weniger belastend wahrgenommen.

Steigende Arbeitsenergieumsätze senken die Wärmestrahlungsbelastbarkeit durch eine gesteigerte körpereigene Wärmeproduktion und lassen je nach Arbeitsplatzbedingungen unter Umständen keine Dauerarbeit mehr zu. Dies kann dann bedeuten, dass keine kontinuierliche Arbeit unter diesen Bedingungen stattfinden kann bzw. Pausen mit Entwärmungsmöglichkeiten eingelegt werden müssen.

2.5.1 Empfehlungen zur Beurteilung von wärmestrahlungsbeheizten¹⁴

Arbeitsbereichen

Vorbemerkung zum Einsatz von Heizstrahlern

In Büroräumen sowie in Arbeitsräumen mit überwiegend sitzender Tätigkeit, die hinsichtlich der Raumhöhe, der Größe und/ oder der Nutzung mit vorgenannten Räumen vergleichbar sind, dürfen Heizstrahler zur Beheizung der Räume **nicht** aufgestellt /installiert werden.

In Arbeitsräumen, wie großen Hallen bzw. in nicht allseits umschlossenen Arbeitsräumen, können Strahlungsheizungen zur Erzielung eines erträglichen Raumklimas bei nicht-sitzender Tätigkeit aus betrieblichen Gründen sinnvoll sein. Dazu bedarf es jedoch einer Ausnahmegenehmigung gemäß § 4 Abs. 1 der ArbStättV [1] zu den Anforderungen des § 5 ArbStättV an die Raumlufbeschaffenheit.

Unter den vorgenannten Voraussetzungen müssen Wärmestrahlungsheizungen entsprechend der nachfolgenden Anforderungen errichtet und betrieben werden:

Die in der ASR 6/1.3 [1] unter Nr. 2.1 genannten Raumtemperatur- (korrekterweise Lufttemperatur-) Werte sind beim Einsatz von Heizstrahlern wegen des vorhandenen Strahlungseinflusses mit dem Globethermometer, dann als t_g in °C (siehe auch DIN EN 27726 [17]), zu ermitteln.

Beim Aufenthalt in Arbeitsräumen im Kältebereich I¹⁵ (kühler Bereich von +15 bis +10 °C Lufttemperatur) und im Kältebereich II (leicht kalter Bereich von +10 bis -5 °C Lufttemperatur) dürfen beim Einsatz von Heizstrahlern zur Schaffung erträglicher Klimabedingungen höchstens folgende Strahlungsasymmetrien auftreten (Forschungsbericht 726 [33]):

Lufttemperatur [°C]	Maximale Strahlungsasymmetrie [W/ m ²]
<15	300
<10	400
< 5	500

Zulässige Strahlungsasymmetrie in Abhängigkeit von der Lufttemperatur (Lufttemperatur gemessen mit strahlungsgeschütztem Thermometer)

¹⁴ In Hallenbereichen vorwiegend gasbeheizt, nur bei unmittelbarer Personennähe elektrobeheizt (z. B. Fußbodenheizplatten und Strahler geringer Heizleistung)

¹⁵ Kältebereich nach DIN 33403 Teil 5 "Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung - Ergonomische Gestaltung von Kältearbeitsplätzen", Ausgabe Januar 1996

Bestimmung und Beurteilung der Wärmestrahlung

Messkriterien → Messanforderungen ↓	Messhöhe [m]	Messort	Messgerät*	Grenz- und Richtwerte
Effektive Bestrahlungsstärke (E_{eff}) DIN 33403 Teil 3				
orientierende Messung und Messungen höheren Anspruchs	Kopfhöhe sitzende Person: 1,2 Kopfhöhe stehende Person: 1,7 Für Messungen höheren Anspruchs nach DIN EN 27726: 0,1 - 0,6 - 1,1 (sitzende Person) 0,1 - 1,1 - 1,7 (stehende Person)	unmittelbar am Problem Arbeitsplatz	Sechs räumliche Richtungen erfassendes Wärmestrahlungsmessgerät (bzw. math. Bestimmung über die mittl. Strahlungstemperatur)	Für den Erträglichkeitsbereich (DIN 33403 Teil 3**): $\leq 35 \text{ W/m}^2$ ohne arbeitsbelastenden Einfluss $> 35 \text{ bis } \leq 300 \text{ W/m}^2$ arbeitsbelastend; unter Umständen sind Entwärmungsphasen erforderlich $> 300 \text{ W/m}^2$ Entwärmungsphasen erforderlich; u. U. Verbrennungsgefahr
Halbraum-Strahlungstemperatursymmetrie Δt_{pr} (DIN 1946 Teil 2)				
orientierende Messung und Messungen höheren Anspruchs	Rumpfmittle sitzende Person 0,6	unmittelbar am Problem Arbeitsplatz	Zwei entgegengesetzte räumliche Richtungen erfassendes Strahlungstemperaturmessgerät	Für <u>sitzende Person</u> , operative Raumtemperatur (t_g) <u>im Behaglichkeitsbereich</u> , gilt folgende max. Halbraumstrahlungstemperaturdifferenz: warme Deckenfläche $\leq 3,5 \text{ K}$ kalte Wandfläche $\leq 8,0 \text{ K}$ gekühlte Deckenfl. $\leq 17,0 \text{ K}$ warme Wandfläche $\leq 19,0 \text{ K}$
Wärmestrahlungsasymmetrie (Forschungsbericht 726 [33] der BAuA)				
orientierende Messung und Messungen höheren Anspruchs	1,7	unmittelbar am Problem Arbeitsplatz	Zwei entgegengesetzte räumliche Richtungen erfassendes Wärmestrahlungsmessgerät	Bei einer Lufttemperatur von: $< 15 \text{ }^\circ\text{C}$ $\leq 300 \text{ W/m}^2$ $< 10 \text{ }^\circ\text{C}$ $\leq 400 \text{ W/m}^2$ $< 5 \text{ }^\circ\text{C}$ $\leq 500 \text{ W/m}^2$

* Anforderungen an das Messgerät entsprechend DIN 33403 Teil 1 sowie DIN EN 27726

** bei Lufttemperaturen von 15 - 25 °C

3 Ermittlung der Raumklimasituation

3.1 Einschätzung des Raumklimas ohne Nutzung von Messgeräten

Prüfer/ Messwertaufnehmer:	Datum:
Betrieb: Tel.:	
Arbeitsbereich/ Arbeitsplatz:	
Vorgesetzter/ Verantwortlicher:	
Sicherheitsbeauftragter/ Sicherheitsfachkraft:	
Betriebs-/ Personalrat:	

Art der Tätigkeiten im Einwirkungsbereich des zu beurteilenden Raumklimas:

.....
.....

Himmelsrichtung und Baustoff der Außenwände des zu untersuchenden Arbeitsbereiches:

.....

Erläuterung zum Gebrauch des Fragenkataloges

Fragen, die durch das Ankreuzen des "Warndreiecks" Δ beantwortet werden müssen, erfordern ggf. eine weitergehende Bearbeitung. Nichtankreuzen von Antwortfeldern bedeutet "entfällt".

	ja	nein		ja	nein
1) Gibt es störende technologisch oder betriebsbedingte Raumklimabedingungen?	Δ	<input type="radio"/>	13) Wenn ja, ist es in einem befristeten Zeitraum vorgesehen, die Veränderung vorzunehmen?	<input type="radio"/>	Δ
2) Treten die Beeinträchtigungen regelmäßig auf?	Δ	<input type="radio"/>	14) Wurde bereits durch Dichtungsmaßnahmen an Fenstern/ Türen/ Toren bzw. durch Anbringung von flexiblen Vorhängen in Zugängen oder Zufahrten versucht, den Zegerscheinungen entgegenzuwirken?	<input type="radio"/>	Δ
Wann (z. B. jahreszeitlich/ betriebsbedingt)?			15) Wurde die Luftgeschwindigkeit an Arbeitsplätzen messtechnisch erfasst?	<input type="radio"/>	Δ
3) Wie wird der Arbeitsbereich beheizt?			16) Wenn Messergebnisse vorliegen, wie hoch waren die Luftgeschwindigkeiten [m/s] an welchem Ort?		
4) Ist die Heizeinrichtung regelbar?	<input type="radio"/>	Δ	17) Gibt es Beschwerden über zu trockene oder zu feuchte Raumluft?	Δ	<input type="radio"/>
5) Werden die Raumtemperaturen unter Berücksichtigung der körperlichen Beanspruchung und der Arbeitsverfahren auch zu Arbeits-/ Schichtbeginn als gesundheitlich zuträglich empfunden?	<input type="radio"/>	Δ	18) Kann die Luftfeuchte ausschließlich durch Öffnung von Fenstern oder Oberlichtern und somit über die Außenluftfeuchte beeinflusst werden?	Δ	<input type="radio"/>
6) Heizt sich der Arbeitsbereich im Sommer stark auf?	Δ	<input type="radio"/>	19) Wurde bereits durch Einsatz von hygienisch unbedenklichen Luftbefeuchtern versucht, die auffällig trockene Luft zu verbessern?	<input type="radio"/>	Δ
7) Ist die Heizung im Winter ausreichend?	<input type="radio"/>	Δ	20) Wurde bereits versucht, die Beeinträchtigungen durch zu hohe Luftfeuchtigkeiten zu unterbinden?	<input type="radio"/>	Δ
8) Sind im Arbeitsbereich schon notwendige Verbesserungsmaßnahmen vorgesehen, um im Sommer wie im Winter thermisch zuträgliche Arbeitsbedingungen sicherzustellen?	<input type="radio"/>	Δ	21) Wurden Luftfeuchtigkeiten im Arbeitsbereich messtechnisch erfasst?	<input type="radio"/>	Δ
9) Wurden die Lufttemperaturen im Arbeitsbereich messtechnisch kontrolliert?	<input type="radio"/>	Δ	22) Wenn Messergebnisse vorliegen, wie hoch waren die Luftfeuchten (relative Feuchte [%]) an welchem Ort?		
10) Wenn Messergebnisse vorliegen, welche Lufttemperatur [°C] wurde an welchem Ort ermittelt?			23) Gibt es im Arbeitsbereich Klagen über Beeinträchtigungen durch Wärmestrahlung?	Δ	<input type="radio"/>
11) Wird die Luftbewegung im Raum als "Zugluft" empfunden?	Δ	<input type="radio"/>			
12) Sind die Zuglufterscheinungen durch Änderung der Arbeitsplatzanordnung zu unterbinden?	<input type="radio"/>	Δ			

Checklisten für orientierende Klimamessungen

Prüfer/ Messwerterfasser: Datum:

Betrieb: Tel.:

Arbeitsbereich/Arbeitsplatz:

Vorgesetzter/ Verantwortlicher:

Sicherheitsbeauftragter/ Sicherheitsfachkraft:

Betriebs-/ Personalrat:

Raumbezogene Aussagen: Raumgröße, Fenster, Türen, Durchbrüche, Lage im Gebäudekomplex mit Himmelsrichtung (möglichst Skizze oder Plankopie)

Materialien der Umschließungsflächen:

Raumklimabezogene Aussagen

Sonnenschutzeinrichtungen:

Interne Wärmequellen:

Beheizung:

Heizungsregelung:

RLT-Anlagen (Hersteller, Typ, Art, Funktionsbeschreibung)

Personenbezogene Aussagen

Art der Arbeit/ Arbeitsschwere:

Bekleidungssituation:

Klimaschutzmaßnahmen:

Arbeitszeiten:

besonders schutzbedürftige Personengruppe:

Innenraum – Klimamessdaten				
Messort/ Raum/ Arbeitsplatz				
Datum/ Zeit				
Messhöhe [m]				
Trockentemperatur [°C]				
Feuchttemperatur [°C]				
Relative Feuchte [%]				
Wasserdampfgehalt [g/kg]				
Luftgeschwindigkeit [m/s]				
Strömungsrichtung				
Globetemperatur [°C]				
Eff. Bestrahlungsstärke [W/m ²]				
Verwendetes Messgerät:				
Bemerkungen:				

Außenklima – Messdaten					
Messort:					
Datum/ Zeit:					
Wind:	windstill	leichter Wind	mittlerer Wind	Sturm	
Windrichtung:					
Wetter/ Himmel:	sonnig	bedeckt	Nebel	Regen	Schnee
Trockentemperatur [°C]					
Feuchttemperatur [°C]					
Rel. Luftfeuchte [%]					
Wasserdampfgehalt [g/kg]					
Bestrahlungsstärke [W/m ²]					
Luftdruck [hPa]					
Verwendete Messgeräte:					
Bemerkungen:					

4 Literaturverzeichnis

- [1.] **Arbeitsstätten – Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) und Arbeitsstätten-Richtlinien (ASR).** – Bremerhaven: Wirtschaftsverlag, 1998
(Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin; Regelwerke - Rw 2)
ISBN 3-89701-243-X
- [2.] **Arbeitsstätten:** Arbeitsstättenverordnung und Arbeitsstätten - Richtlinien mit ausführlicher Kommentierung, sonstige für Arbeitsstätten wichtige Vorschriften, Regeln, Normen und umfassendes Stichwortverzeichnis
Hrsg.: R. Opfermann; W. Streit. – Heidelberg: Forkel-Verlag
Ergänzungsstand Dezember 1997 (12. Ergänzungslieferung)
ISBN 3-7719-0217-7 (gesamtes Werk)
- [3.] **Mindestanforderungen für Kassenarbeitsplätze (MfK)**, Erlass der Landesministerien von 1984.
Hinweis: Das MfK-Papier von 1984 wird gegenwärtig komplett überarbeitet und voraussichtlich 1999 in Form einer inhaltlich wesentlich erweiterten Handlungsanleitung neu erscheinen.
- [4.] **DIN 1319 /Teil 3** (Mai 1996)
Grundlagen der Meßtechnik. Auswertung von Messungen einer einzelnen Messgröße, Messunsicherheit.
Bezugsquelle: Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin
Telefon 030/ 2601 - 2260
- [5.] **DIN 1946 /Teil 1** (Oktober 1988)
Raumlufttechnik. Terminologie und graphische Symbole.
Bezugsquelle wie [4.]
- [6.] **DIN 1946 /Teil 2** (Januar 1994)
Raumlufttechnik. Gesundheitstechnische Anforderungen. (VDI-Lüftungsregeln)
Bezugsquelle wie [4.]
- [7.] **DIN 5031 /Teil 1** (März 1982)
Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik.
Größen, Formelzeichen und Einheiten der Strahlungsphysik.
Bezugsquelle wie [4.]
- [9.] **DIN 5031 /Teil 5** (März 1982)
Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik.
Temperaturbegriffe.
Bezugsquelle wie [4.]
- [10.] **DIN 5031 /Teil 8** (März 1982)
Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik.
Strahlungsphysikalische Begriffe und Konstanten.
Bezugsquelle wie [4.]

- [11.] **DIN 33403 /Teil 1** (April 1984)
Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung.
 Grundlagen zur Klimaermittlung.
 Bezugsquelle wie [4.]
- [12.] **DIN 33403 /Teil 2** (Entwurf -November 1996)
Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung.
 Einfluss des Klimas auf den Wärmehaushalt des Menschen.
 Bezugsquelle wie [4.]
- [13.] **DIN 33403 /Teil 3** (Juni 1988)
Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung.
 Beurteilung des Klimas im Erträglichkeitsbereich.
 Bezugsquelle wie [4.]
- [14.] **DIN 50010 /Teil 1** (Oktober 1977)
Klimabegriffe. Allgemeine Klimabegriffe.
 Bezugsquelle wie [4.]
- [15.] **DIN 50010 /Teil 2** (August 1981)
Klimabegriffe. Physikalische Begriffe.
 Bezugsquelle wie [4.]
- [16.] **DIN EN 27243** (Dezember 1993)
 Warmes Umgebungsklima. **Ermittlung der Wärmebelastung des arbeitenden Menschen mit dem WBGT-Index (ISO 7243; 1989).**
 Bezugsquelle wie [4.]
- [17.] **DIN EN 27726** (Dezember 1993)
 Umgebungsklima. **Instrumente und Verfahren zur Messung physikalischer Größen.**
 Bezugsquelle wie [4.]
- [18.] **DIN EN ISO 7730** (September 1995)
 Gemäßigtes Umgebungsklima. **Ermittlung des PMV und des PPD und Beschreibung der Bedingungen für thermische Behaglichkeit.**
 Bezugsquelle wie [4.]
- [19.] **ISO 7933** (15.07.1989)
Hot environments. Analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation of required sweat rates.
 Bezugsquelle wie [4.]
- ACHTUNG!
 Extracts taken from ISO 7243, 7726, 7730 and 7933 are reproduced with the permission of the International Organization for Standardization, ISO. Copies of these standards may be purchased from the ISO member body for Germany, DIN, Burggrafenstraße 6, D-10787 Berlin, or from the ISO Central Secretariat.
- [20.] **VDI 2079** (März 1983)
Abnahmeprüfung an Raumluftechnischen Anlagen.
 Bezugsquelle wie [4.]

- [21.] **VDI 2080** (April 1996)
Messverfahren und Messgeräte für Raumluftechnische Anlagen.
 Bezugsquelle wie [4.]
- [22.] **Zustandsgrößen von Wasser und Wasserdampf in SI - Einheiten**
 (Wasserdampftafeln). – 4. erw. Aufl. – Berlin: Springer-Verlag, 1989
 ISBN 3 - 540 - 09601 - 9
- [23.] **Kataster von Arbeitsplatzumgebungsfaktoren:** Beleuchtung, Klima, Lärm, gefährliche Arbeitsstoffe am Beispiel einer Gießerei. / Bearb. :H. Hahne, E. Quellmalz, P. van den Brulle.
 - Bremerhaven: Wirtschaftsverlag, 1983 (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz;
Forschungsbericht Nr. 354)
 ISBN 3 - 88314 - 300 - 6
- [24.] **Klima - Belastungs – Kataster** / Bearb. Th. Hettinger u.a. - Bremerhaven: Wirtschaftsverlag, 1984 (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz; **Forschungsbericht Nr. 374**)
 ISBN 3 - 88 314 - 331 - 6
- [25.] **Modulares Meßsystem zur Beurteilung des Klimas am Arbeitsplatz** / Bearb.: Th. Hettinger, M. Noack, B. H. Müller. - Bremerhaven: Wirtschaftsverlag, 1987
 (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz; **Forschungsbericht Nr. 525**)
 ISBN 3 - 88 314 - 690 - 0
- [26.] **Leitfaden für Kataster von Arbeitsplatzumgebungsfaktoren**, Lärm, Beleuchtung, Klima, Gefahrstoffe / Bearb.: P. van den Brulle. - Bremerhaven: Wirtschaftsverlag, 1989
 (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz; **Forschungsbericht Nr. 565**)
 ISBN 3 - 88 314 - 846 - 6
- [27.] H. G.. Wenzel, C. Piekarski
Klima und Arbeit / Hrsg.: Bayerisches Staatsministerium für Arbeit und Sozialordnung. – 4. Aufl. – München: Max Schick GmbH, 1985
- [28.] H. Spitzer, T. Hettinger, G. Kaminsky,
Tafeln für den Energieumsatz bei körperlicher Arbeit. - 6. vollst. überarb.Aufl. - Berlin: Beuth-Verlag, 1982
- [29.] B. W. Olesen:
Thermische Behaglichkeit. In: Technical Review Brüel & Kjaer, Naerum, Nr. 2/1982
- [30.] B. W. Olesen:
Örtliche thermische Unbehaglichkeit. In: Technical Review Brüel & Kjaer, Naerum, Nr. 1/1985
- [31.] **DIN 33403 /Teil 4 Entwurf** (November 1990)
Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung. Ausgewählte Klimagesamtenmaße.
 Bezugsquelle wie [4.]

- [32.] **CR 1752 : 1998 E Lüftung von Gebäuden - Auslegungskriterien für Innenräume**
(zur Zeit nur als englischer CEN-Bericht verfügbar [73 S.]
Bezugsquelle wie [4.]
- [33.] **Physiologische Bewertung von Strahlungsheizungen** / Bearb.: Hj. Gebhardt, B. H. Müller,
Th. Hettinger, B. Pause. - Bremerhaven: Wirtschaftsverlag, 1995
(Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz; **Forschungsbericht Nr. 726**)
ISBN 3 - 89429 - 953 - 3
- [34.] **Untersuchungen von Luftgeschwindigkeiten und Lufttemperaturen an industriellen Arbeitsplätzen** / Bearb.: B. Gräff, K. Hubert, H.-J. Zoller. - Bremerhaven: Wirtschaftsverlag, 1995
(Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz; **Forschungsbericht Nr. 722**)
ISBN 3 - 89429 - 953 - 3