

## 3 Thermische Belastungen

### 3.1 Klimatische Belastungen

#### 3.1.1 Erläuterungen

Klimatische Belastungen (Klimaempfinden) des menschlichen Körpers werden hauptsächlich durch die Arbeitsschwere (Arbeitsenergieumsatz), die Bekleidung sowie durch die Klimafaktoren Umgebungstemperatur, relative Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit, Wärmestrahlung u.a. beeinflusst. Hohe Umgebungstemperaturen, hohe Luftfeuchten, intensive Wärmestrahlung usw. oder verschiedene gleichzeitig einwirkende Belastungsfaktoren stören das Klimaempfinden. Sie können das unter idealen Klimabedingungen vorhandene Gleichgewicht zwischen Wärmezufuhr und Wärmeabgabe des menschlichen Körpers stören. Gerät der Wärmehaushalt des Menschen aus dem Gleichgewicht, so führt dies zu einer erhöhten Beanspruchung des Herz-Kreislauf-Systems. Als Folge dieser erhöhten Beanspruchung können kurzzeitige Störungen (z.B. Kreislaufstörungen, Unwohlsein) oder bei länger andauernder Belastung Erkrankungen auftreten. Bei extremen Klimabedingungen können die Belastungen sogar zum Kreislaufversagen und, sofern nicht unverzüglich eingegriffen wird, zum Tode führen.

Der menschliche Körper kann sich je nach Arbeitsenergieumsatz in gewissen Grenzen

wechselnden Zuständen des Umgebungs-klimas anpassen. Innerhalb dieser Grenzen gibt es einen sog. „Behaglichkeitsbereich“, in dem er sich am wohlsten fühlt. Dieser Bereich lässt sich allerdings nicht streng begrenzen, da eine ganze Reihe von Einflussfaktoren zu berücksichtigen sind. Neben den Klimaparametern wird die Behaglichkeit auch von Faktoren beeinflusst wie z.B. Umschließungsflächentemperatur (Wärmeaustausch über Strahlung), Kleidung, Geschlecht, Alter, Jahreszeit, Beleuchtung, Gerüche, Stresssituationen, Nahrungsaufnahme und physisches sowie psychisches Wohlbefinden.

Zur Bewertung der klimatischen Belastung an Arbeitsplätzen stehen neben den Klimaparametern insbesondere die Faktoren Arbeitsschwere, Kleidung und Aufenthaltsdauer im Vordergrund.

#### 3.1.2 Klimabereiche, Grenzbetrachtungen

Nach DIN 33 403 Teil 1 werden für Arbeitsplätze vier Klimabereiche unterschieden:

- Kältebereich
- Behaglichkeitsbereich
- Erträglichkeitsbereich
- Unerträglichkeitsbereich

Der Behaglichkeitsbereich beschreibt die Klimaanforderungen und Belastungssituation, die üblicherweise an Arbeitsplätzen vorliegen sollen. Er ist als weitgehend thermisch neutraler Bereich anzusehen. Der Wärmeaustausch zwischen dem menschlichen Körper und der Umgebung steht hier im Gleichgewicht und im Idealfall ist die Wärmezufuhr und -abfuhr ausgeglichen.

Im Erträglichkeitsbereich liegen Belastungssituationen und/oder klimatische Verhältnisse vor, die zu erhöhten Schweißabgaben und Beanspruchungen des Herz-Kreislauf-Systems führen und bei längeren Einwirkungen zu Störungen des Klimaempfindens führen. Der Erträglichkeitsbereich beschreibt somit Belastungssituationen, die nicht unmittelbar zu gesundheitlichen Schäden führen, jedoch die Leistungsfähigkeit des Menschen herabsetzen. Durch entsprechende Arbeitspausen, regelmäßigen Ausgleich des Flüssigkeitsverlustes (ggf. verbunden mit der Zuführung von Mineralstoffen), Wahl angemessener Kleidung usw. kann die körperliche Belastung gemindert bzw. die Leistungsfähigkeit erhalten und es können in der Regel gesundheitliche Probleme ausgeschlossen werden.

Tätigkeiten in Kältebereichen oder in Unerträglichkeitsbereichen sind auf das absolute Mindestmaß zu begrenzen. Personen, die sich in diesen Bereichen aufhalten, müssen einer arbeitsmedizinischen Vorsorgeunter-

suchung nach BGI 504-21 (früher ZH 1/600.21) bzw. BGI 504-30 (früher ZH 1/600.30) unterzogen werden. In bestimmten Fällen sind bei Arbeiten unter hohen Temperaturen bzw. Hitzebelastungen oder in bestimmten Regionen Tropentauglichkeitsuntersuchungen erforderlich.

### 3.1.3 Beurteilungsgrundlagen

Für die Beurteilung des Klimas bzw. zur Ermittlung der Belastungsgrößen sind folgende Richtlinien von Bedeutung:

- ❑ DIN 1946 Teil 2 (1994:01):  
Raumlufttechnik – Gesundheitstechnische Anforderungen
- ❑ DIN EN ISO 7726 (2002:04):  
Umgebungs-klima – Instrumente zur Messung physikalischer Größen
- ❑ DIN EN ISO 7730 (1995:09):  
Gemäßigtes Umgebungs-klima – Ermittlung des PMV und des PPD und Beschreibung der Bedingungen der thermischen Behaglichkeit
- ❑ DIN EN ISO 27243 (1993:12):  
Warmes Umgebungs-klima – Ermittlung der Wärmebelastung des arbeitenden Menschen mit dem WBGT-Index (wet bulb globe temperature)

- ❑ DIN EN 12515 (1997:11): Warmes Umgebungsklima – Analytische Bestimmung und Beurteilung der Wärmebelastung durch Berechnung der erforderlichen Schweißrate
- ❑ DIN 33403: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung; Grundlagen der Klimaermittlung; Teil 2 (2000:08): Einfluss des Klimas auf den Wärmehaushalt des Menschen; Teil 3 (2001:04): Beurteilung des Klimas im Warm- und Hitzebereich auf der Grundlage ausgewählter Klimagesamtenmaße; Teil 5 (1997:01): Ergonomische Gestaltung von Kältearbeitsplätzen
- ❑ VDI 2083 Blatt 5 (1996:02): Reinraumtechnik – Thermische Behaglichkeit
- ❑ BGI 504-30 (früher ZH 1/600.30): Auswahlkriterien für spezielle arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 30 „Hitzarbeiten“

## 3.1.4 Klimabewertung

### 3.1.4.1 Thermoregulation des Menschen

Die wichtigsten Organe im Inneren des Menschen sind nur in einem Temperaturbereich um 37 °C funktionsfähig. Das Thermoregulationssystem des Menschen verfügt über

Mechanismen, die für die Konstanz der Körperkerntemperatur sorgen. Beim gesunden Menschen werden diese Mechanismen durch den Stoffwechsel (Energieumsatz) und durch äußere Einflüsse (Umgebungsklima) bestimmt und können nur in engen Grenzen für eine Thermoregulation sorgen. Wichtig für die Thermoregulation sind

- ❑ der Gesamtenergieumsatz,
- ❑ die Dauer der Belastung und
- ❑ die Art der Bekleidung.

### Gesamtenergieumsatz

Die innere Wärmeproduktion eines Menschen ist u.a. abhängig vom Stoffwechsel. Bei völliger Ruhe hat der erwachsene Mensch einen Grundumsatz von ca. 0,8 met (1 met = 58 Watt pro m<sup>2</sup> Körperoberfläche). Der Stoffwechsel wird durch jegliche Aktivitäten erhöht. Z.B. beträgt der Gesamtenergieumsatz bei Schwerarbeit an Maschinen 2,8 met oder 165 W/m<sup>2</sup>, bei Schwerarbeit sind Spitzenbelastungen von > 230 W/m<sup>2</sup> (4 met) möglich.

### Bekleidung

Neben dem Gesamtenergieumsatz ist die Bekleidung entscheidend für das thermische Empfinden. Dabei sind die Wärmeisolation

(Schutz gegen niedrige Temperaturen) der Kleidung und der Wärmeleitwiderstand (Wärmeabtransport zwischen Haut und Umgebung) der Kleidung bedeutend.

Der Wärmeleitwiderstand [ $m^2 \cdot K/W$ ] der Kleidung wird als Relativmaß in „clo“ (clothing value; 1 clo = 0,155  $m^2 \cdot K/W$ ) angegeben.

### 3.1.4.2 Behaglichkeits-/ Erträglichkeitsbereich

An Arbeitsplätzen ohne besondere Belastungen und mit leichter Tätigkeit (z.B. Büroarbeitsplätze) sind folgende Grenzbereiche für die Klimafaktoren zu berücksichtigen:

Lufttemperatur:

20 °C bis 26 °C, bei hohen Außentemperaturen (Sommer) auch darüber

relative Luftfeuchte:

30 % bis 70 %

Luftgeschwindigkeit:

kleiner 0,15 m/s, aber Luftbewegung

In Arbeitsräumen mit höheren inneren Wärmebelastungen oder bei erhöhter körperlicher Belastung (Arbeitsschwere bzw. Energieumsatz) sind weitere Ermittlungen zur Klimabewertung nach den o.g. Richtlinien erforderlich.

Für die Bewertung der Behaglichkeit wird der PMV- und der PDD-Index zugrunde gelegt (PMV = predicted mean vote; dt: Vorausgesagtes Mittleres Votum; PPD = predicted percentage of dissatisfied; dt: Vorausgesagter Anteil Unzufriedener). Diese aus empirischen Untersuchungen ermittelten Indices werden aus den Kombinationen der Klimaparameter und dem Wärmedurchgang der Kleidung ermittelt. Bei einem Wert für PMV = 0 wird das Klima in der Regel vom Menschen als thermisch neutral (behaglich) empfunden (siehe Tabelle).

PMV	+3	+2	+1	+0,5	0	-0,5	-1	-2	-3
Empfinden	heiß	warm	leicht warm		neutral		leicht kühl	kühl	kalt
PPD	90 %	75 %	25 %	10 %	5 %	10 %	25 %	75 %	90 %

Die Berechnung dieser Werte erfolgt nach DIN EN ISO 7730.

# Physikalische Einwirkungen

Es gibt keinen Zustand des Raumklimas, mit dem alle Personen zufrieden sind. Der minimale PPD-Index liegt daher bei 5 % Unzufriedenheit, d.h., nur 5 % der befragten Personen waren mit der Klimasituation unzufrieden. In einem informativen Anhang der DIN EN ISO 7730 wird ein PPD-Index von 10% oder

$$-0,5 < PMV < +0,5$$

als akzeptabel empfohlen. Der PMV- und PPD-Index berücksichtigt den Einfluss des Raumklimas auf den gesamten Körper (mittleres Körperempfinden). Wenn Teile des Körpers jedoch unterschiedlichen klimatischen Belastungen ausgesetzt sind, kann ein lokales Unbehagen auftreten (z.B. kalte oder zu warme Fußböden). Die DIN EN ISO 7730 enthält Richtwerte zur Beurteilung des lokalen Unbehagens (Diskomfort).

## Vertikaler Lufttemperaturgradient

Die Differenz der Lufttemperatur zwischen Kopf und den Füßen soll 3 °C nicht überschreiten („kühler Kopf und warme Füße“).

## Fußbodentemperatur

Sowohl zu warme als auch zu kalte Fußböden werden als unbehaglich empfunden.

Die Fußbodentemperatur soll zwischen 19 °C und 29 °C liegen.

## Asymmetrische Wärmestrahlung

Differenzen bei den Temperaturen der Umschließungsflächen (z.B. kalte Fensterflächen, warme Decken) können zum lokalen Unbehagen führen. Die DIN EN ISO 7730 empfiehlt daher als maximale Differenz zwischen Decke und Raumtemperatur 5 °C oder zwischen kalten Fenstern und Raumtemperatur 10 °C.

## Zugerscheinungen

Zug bewirkt eine unerwünschte lokale Abkühlung des Körpers durch Luftbewegung. Ein Bewertungsmaßstab für das Empfinden von Zugerscheinungen ist der sog. „Turbulenzgrad“ (siehe Abbildung 1). Je geringer der Turbulenzgrad, um so geringer ist das Zugempfinden durch die Raumluftströmung.

## Luftfeuchte

Die rel. Luftfeuchte zwischen 30 % und 70 % hat in der Regel nur einen geringen Einfluss auf das Temperaturempfinden (Behaglichkeit). Die relative Luftfeuchte sollte die nachstehenden Werte in der Tabelle nicht überschreiten.

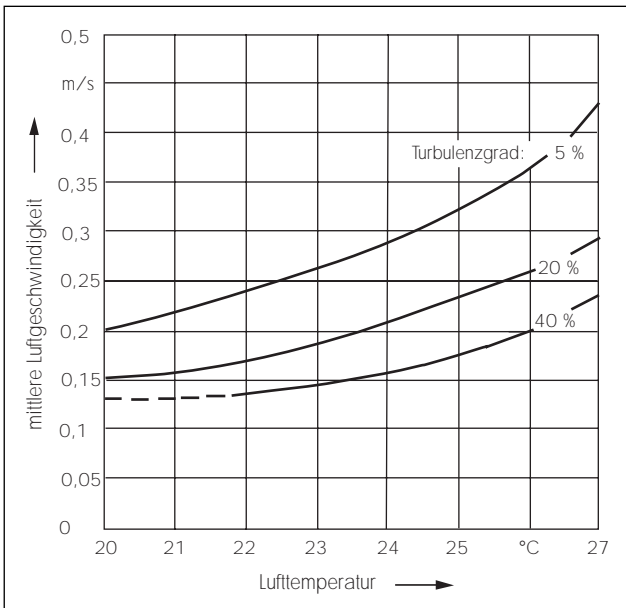


Abbildung 1:  
Werte von mittleren Luftgeschwindigkeiten als Funktion von Temperatur und Turbulenzgrad der Luft im Behaglichkeitsbereich

Lufttemperatur °C	relative Luftfeuchte %
20	80
22	70
24	62
26	55

Liegen die Werte für die relative Luftfeuchte darüber, wird das Klima als schwül empfunden. Die Luftfeuchte sollte in keinem Fall unter 30 % liegen. Bei hohen Sprachanteilen (z. B.

Lehrer, Call-Center-Agenten) darf die rel. Luftfeuchte 40 % nicht unterschreiten.

### Operative Temperatur

Die DIN 1946 Teil 2 gibt einen Bereich (siehe Abbildung 2) für die empfohlene operative Temperatur an.

Die operative Temperatur  $T_o$  (empfundene Temperatur aus konvektiver Wärmeeinwir-

# Physikalische Einwirkungen

kung und der einwirkenden Wärmestrahlung) errechnet sich aus der nachfolgenden Näherungsgleichung:

$$T_o = A \cdot T_L + (1 - A)T_r$$

$T_L$  = örtliche Lufttemperatur °C

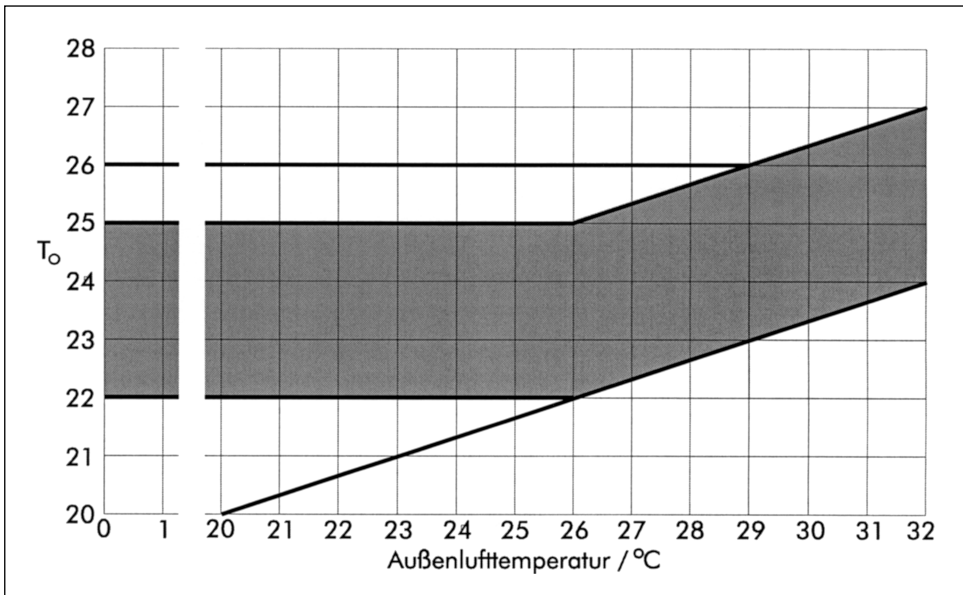
$T_r$  = mittlere Strahlungstemperatur °C

v [m/s]	< 0,2	0,2 bis 0,6	0,6 bis 1,0
A	0,5	0,6	0,7

Die Abbildung 2 gilt unter folgenden Voraussetzungen:

- Aktivitätsstufe I und II
- leichte bis mittlere Kleidung

Abbildung 2:  
Bereiche operativer Raumtemperaturen



- Raumlufgeschwindigkeit und Turbulenzgrad befinden sich im zulässigen Bereich

### 3.1.4.3 Hitzebelastungen

Die Hitzebelastungen durch konvektive Wärme, Wärmestrahlung oder bei konvektiver Wärme in Verbindung mit Wärmestrahlung wird nach DIN 33 403 Teil 3 bewertet.

Nach Ermittlung der Belastungsgrößen sind die Grenzbereiche für zulässige Hitzeexpositionen aus den Diagrammen der DIN 33 403 Teil 3 zu entnehmen. Überschreiten die Belastungsgrößen die jeweiligen Grenzbereiche, so sind Maßnahmen zur Minderung der Belastung erforderlich (siehe BGI 537 [früher ZH1 / 83] „Wärmebelastete Arbeitsplätze“).

Beschäftigte, die Hitzearbeiten durchführen, müssen laut Unfallverhütungsvorschrift

„Arbeitsmedizinische Vorsorge“ durch arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen (Erstuntersuchungen vor Aufnahme der Beschäftigung und Nachuntersuchungen während der Beschäftigung) überwacht werden. Die Überwachung erfolgt nach BGV „Arbeitsmedizinische Vorsorge“ und dem Grundsatz G 30 „Hitzearbeiten“ der „Berufsgenossenschaftlichen Grundsätze für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen“.

Die Wärmebelastung wird durch die sog. korrigierte normale Effektivtemperatur CNET als dem am weitesten verbreiteten Hilfsmaß für das menschliche Klimaempfinden oder durch die Wärmestromdichte (Wärmestrahlung) oder die Kombination beider angegeben. Die muskuläre Belastung wird in leicht, mittelschwer und schwer bis sehr schwer unterteilt (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1:  
Hitzeinwirkungen in Abhängigkeit von Wärmeeinwirkung und muskulärer Belastung

Muskuläre Belastung	Wärmebelastung CNET	Tätigkeiten
leicht bis ca. 900 kJ/h	kurzzeitig ab 35 °C dauernd ab 32 °C	Personen auf Kontrollgängen, Führer von Kranen aller Art, Fahrer von Flurförderzeugen, Elektriker für Steuer- und Regelanlagen, Personen bei Tätigkeiten in Schaltwarten, Brenner in der Keramischen Industrie

Tabelle 1:  
(Fortsetzung)

Muskuläre Belastung	Wärmebelastung CNET	Tätigkeiten
mittelschwer ab ca. 900 kJ/h bis 1350 kJ/h	kurzzeitig ab 35 °C dauernd ab 30 °C	„Anfänger“ an Glasöfen, Betriebsschlosser, Personen beim Abbrechen von Glas mit Brecher, Eisengießer mit Hebezeugen, Vulkaniseure
schwer/sehr schwer ab 1350 kJ/h	kurzzeitig ab 30 °C dauernd ab 28 °C	Ein- und Aussetzer in Öfen der grobkeramischen Industrie, Ofen- maurer bei Heißreparaturen, Gemengeeinleger von Hand in Glashütten, Schmelzer an metal- lurgischen Öfen, Eisengießer (Handguss), Handflämmer, Schmiede

Einen Überblick über die zu untersuchenden unter Hitzeeinwirkung beschäftigten Personen gibt Tabelle 2.

## 3.2 Berührung heißer Oberflächen

### 3.2.1 Erläuterungen

Bei der Berührung einer heißen Oberfläche kann es zu einer Verbrennung der Haut kommen. Das Auftreten einer Verbrennung hängt dabei von verschiedenen Faktoren ab. Die wichtigsten davon sind:

- die Temperatur der Oberfläche
- das Material der Oberfläche und
- die Dauer des Kontaktes zwischen der Oberfläche und der Haut

Schwellenwerte der Oberflächentemperatur, ab der eine Verbrennung auftritt, wurden für verschiedene Materialien und für verschiedene Kontaktzeiten bestimmt.

### 3.2.2 Grenzwerte

Allgemein verbindliche Grenzwerte für Temperaturen heißer Oberflächen zum Schutz vor

Tabelle 2:  
Auswahl des zu untersuchenden Personenkreises (nach Grundsatz G 30 „Hitzearbeiten“)

Arbeitsenergie- umsatz (W)	ununterbrochene Expositionszeit in Minuten			
	< 15 min	15 - 30 min	31 - 60 min	> 60 min
Gruppe 1	ständig exponierte, hitzeadaptierte Beschäftigte			
bis 100 W	—	> 36	36	34
bis 200 W	—	36	34	32
bis 300 W	—	34	32	30
> 300 W	35	32	30	
Gruppe 2	gelegentlich exponierte, nicht hitzeadaptierte Beschäftigte			
bis 100 W	—	> 36	34	
bis 200 W	—	34	32	
bis 300 W	35	32	30	
> 300 W	35	30	28	

Verbrennungen wurden bisher noch nicht festgelegt. Es gibt jedoch in einer Reihe von Produktnormen Festlegungen maximaler Oberflächentemperaturen, die vor Verbrennungen schützen sollen.

### 3.2.3 Empfehlungen

Der europäischen Norm DIN EN 563 können Schwellenwerte für die Verbrennung der

Haut bei der Berührung heißer Oberflächen entnommen werden. Diese Schwellenwerte sind gleichzeitig auch Empfehlungen für Oberflächentemperatur-Grenzwerte, sofern zur Vermeidung von Verbrennungen eine Begrenzung der Oberflächentemperatur notwendig ist. Die in DIN EN 563 festgelegten Werte gelten für alle heißen Oberflächen, auch wenn der Anwendungsbereich der DIN EN 563 aus formalen Gründen auf Maschinen beschränkt ist. In einer demnächst

erscheinenden weiteren Europäischen Norm wird eine Anleitung gegeben, wie mithilfe der DIN EN 563 Oberflächentemperaturgrenzwerte zum Schutz vor Verbrennungen für alle Arten von Produkten und in einem gegenüber der DIN EN 563 erweiterten Anwendungsbereich festgelegt werden können.

## 3.2.4 Literatur

DIN EN 563 (2000:01): Sicherheit von Maschinen – Temperaturen berührbarer Oberflächen – Ergonomische Daten zur Festlegung von Temperaturgrenzwerten für heiße Oberflächen.

DIN 33403 Teil 1 – Teil 5 Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung

BGI 504-21 (ZH 1/600.21) Auswahlkriterien für die spezielle arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 21 für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen „Kältarbeiten“

BGI 504-30 (ZH 1/600.30) Auswahlkriterien für die spezielle arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 30 für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen „Hitzearbeiten“

DIN 1946 Teil 2 Raumluftechnik, Gesundheitstechnische Anforderungen

DIN EN ISO 7730 Gemäßigtes Umgebungsklima, Ermittlung des PMV und des PPD und Beschreibung der Bedingungen für thermische Behaglichkeit

DIN EN 27243 Warmes Umgebungsklima, Ermittlung der Wärmebelastung des arbeitenden Menschen mit dem WBGT-Index

DIN EN 12515 Warmes Umgebungsklima, Analytische Bestimmung und Beurteilung der Wärmebelastung durch Berechnung der erforderlichen Schweißrate

VDI 2083 Blatt 5 Reinraumtechnik, Thermische Behaglichkeit

*H. Rietschel; H. Esdorn* (Hrsg.): Raumklimatechnik, Band 1; Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1994

*Recknagel, Sprenger, Schramek* (Hrsg.): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik; R. Oldenbourg Verlag München, Wien 1999

BGI 537 (ZH 1/83) Wärmebelastete Arbeitsplätze

BGI 579 (ZH 1/174) Arbeiten unter Hitzebelastung