



Artikel 16

Raumklima

Sämtliche Räume sind ihrem Verwendungszweck entsprechend ausreichend natürlich oder künstlich zu lüften. Raumtemperatur, Luftgeschwindigkeit und relative Luftfeuchtigkeit sind so zu bemessen und aufeinander abzustimmen, dass ein der Gesundheit nicht abträgliches und der Art der Arbeit angemessenes Raumklima gewährleistet ist.

Vorgaben für die Temperatur, Luftgeschwindigkeit, Luftfeuchtigkeit und Kohlendioxid (CO₂) einzeln und insgesamt werden in diesem Artikel beschrieben. Die Parameter müssen aufeinander abgestimmt sein, um ein Klima zu gewährleisten, das der Gesundheit nicht schadet. Auf Grund der technischen Komplexität werden zuerst die wichtigsten Vorgaben für den Gesundheitsschutz, und im Anhang vertiefende technische Vorgaben aus der Normierung erläutert.

Raumtemperatur

Eine dem Menschen und seiner Tätigkeit angepasste Temperatur ist eines der wichtigsten physikalischen Klimakriterien. Beim physikalischen Begriff «Temperatur» sind die verschiedenen Definitionen zu unterscheiden:

- Lufttemperatur:
Temperatur der Luft am betrachteten Ort (am Arbeitsplatz)
- Raumlufttemperatur:
Temperatur der Raumluft in der Raummitte, gemessen 1m über Boden

Luft- und Raumlufttemperatur können mit einem Thermometer erfasst und bewertet werden.

- Raumtemperatur (operative Temperatur, empfundene Temperatur): Diese entspricht der vom Menschen empfundenen Temperatur am betrachteten Ort (Arbeitsplatz) und ist entscheidend für die thermische Behaglichkeit

der Personen (siehe Erläuterung im technischen Anhang). Sie setzt sich zusammen aus der Lufttemperatur am betrachteten Ort und der Strahlungstemperatur der Umgebungsflächen (Boden, Wände, Decke, etc.). Die Vorgaben in den Normen beziehen sich meistens auf die Raumtemperatur. Bei einer Messung und Bewertung müssen alle genannten physikalischen Parameter einzogen werden (vgl. technischen Anhang «Raumtemperatur»).

Der Zusammenhang zwischen Raum- und Lufttemperatur wird im technischen Anhang «Raumtemperatur» beschrieben. Bestehen grössere Differenzen zwischen Lufttemperatur und der Temperatur der Umschliessungsflächen, differieren Luft- und die Raumtemperatur. Dies ist z. B. der Fall in einem Gebäude mit ungeschützter Sonneneinstrahlung an eine Wand (v.a. in der warmen Jahreszeit) oder als Folge schlecht isolierender Wände und bei Anwendungen mit lokalen Klimatisierungsgeräten (z. B. Kühldecke).

Abb. 316-1 zeigt arbeitsphysiologisch günstige Lufttemperaturen für Sommer und Winter in Büros und bei Tätigkeiten mit unterschiedlicher körperlicher Belastung. Während Hitzeperioden müssen in Räumen ohne Kühlung vorübergehend auch höhere Temperaturen toleriert werden (SN 520 180). Die Broschüre «Büroarbeit bei Hitze» gibt Hinweise zum Umgang mit Hitze in Innenräumen. Die Notwendigkeit einer raumluftechnischen Kühlung bei saisonal bedingten hohen Aussentemperaturen wird in SN 546 382/1 beschrieben.



Arbeitsphysiologisch gute Bereiche für Lufttemperaturen	
Lufttemperatur (°C)	Arbeitstätigkeit
21 ... 23	Büroarbeit sitzende Tätigkeit (kalte Jahreszeit, Winter, «Heizperiode»)
23 ... 26	Büroarbeit sitzende Tätigkeit (warme Jahreszeit, Sommer, «Kühlperiode»)
18 ... 21	stehend und gehend, leichte bis mittelschwere Arbeit (z. B. Kommissionierung)
16 ... 19	mittelschwere körperliche Arbeit (z. B. Montage)

Abb. 316-1: Arbeitsphysiologisch gute Bereiche für Lufttemperaturen bei verschiedenen Körperaktivitäten¹

Für beheizte, gekühlte oder mechanisch belüftete Räume gelten die Vorgaben für die Raumtemperatur nach SN 546 382/1: je nach Aussentemperatur liegen diese zwischen 20.5°C und 26.5°C. In teilklimatisierten Räumen darf bei Hitzeperioden der Unterschied zwischen der Aussentemperatur und der Raumtemperatur nicht zu gross sein (bei Kühlbetrieb nicht grösser als 8°C).

Für eine vertiefende Bewertung einer Arbeitsplatzsituation muss die sog. «thermische Behaglichkeit» bestimmt werden. Dabei wird – neben der Luft- und Raumtemperatur – auch die körperliche Aktivität, die Bekleidung, die Luftfeuchte und die Luftgeschwindigkeit einbezogen (siehe Anhang «thermische Behaglichkeit»).

Für die «lokale Behaglichkeit» (d.h. für die Empfindung der Extremitäten des Körpers) sind auch lokale Temperaturunterschiede zwischen Decke und Fussboden (respektive zwischen Kopf und Knöcheln) zu berücksichtigen: Die Lufttemperatur über dem Fussboden sollte nicht mehr als 3°C kühler als auf Kopfhöhe sein. Die Oberflächentem-

peratur des Fussbodens soll mindestens 19°C und maximal 28°C betragen. Bei Kaltböden (Beton, Metall) sind isolierende Beläge sowie wärmeisolierendes Schuhwerk erforderlich. Sie sind vom Arbeitgeber zur Verfügung zu stellen.

Gemäss Mutterschutzverordnung gelten Arbeiten in Innenräumen bei Raumtemperaturen über 28°C für Schwangere als gefährlich. Für die Beurteilung muss eine Fachperson beigezogen werden. Dabei ist nicht alleine die Lufttemperatur, sondern ebenfalls die Strahlungstemperatur der Umschliessungsflächen massgebend (siehe oben und im Anhang: «Raumtemperatur»). Weiter ist für eine umfassende Bewertung der Situation die thermische Behaglichkeit zu berücksichtigen (→ siehe technischer Anhang: «Thermische Behaglichkeit»).

Raumluftfeuchte

Beim gesunden Menschen bilden die Schleimhäute der Luftwege in der Nase und im Rachen ein leistungsfähiges Befeuchtungssystem (vgl. Merkblatt Bundesamt für Energie, BFE). Der physiologisch optimale Bereich für die relative Luftfeuchte liegt zwischen 30 bis 60%. Die Abgrenzungen sind dabei nicht ganz scharf. Eine zu niedrige und zu hohe Luftfeuchtigkeit ist aus gesundheitlicher und gebäudetechnischer Sicht ungünstig und zu vermeiden. Bei zu niedriger Feuchte kann es zur Austrocknung der Atemwege kommen, und ab etwa ca. 60% – insbesondere bei höheren Raumtemperaturen – wird die Luft als «schwül» empfunden. Bei zu hoher Luftfeuchte können Schäden am Gebäude entstehen (z.B. Wachstum von Schimmel). Zu beachten ist, dass in den Normen die Vorgaben nicht als relative Feuchte, sondern als absolute Feuchte geregelt werden (siehe technischer Anhang «Raumluftfeuchte»).

Abb. 316-2 zeigt physiologisch angenehme Bereiche relativer Luftfeuchte für den Winter (bei Lufttemperaturen im Raum zwischen 21 und 23°C) und für den Sommer (zwischen 23°C und 26°C). Oberhalb einer sog. «Schwülegrenze» wird die

¹ «Während Hitzeperioden müssen auch höhere Temperaturen toleriert werden, siehe Abschnitt «Technischer Anhang»

Wegleitung zur Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz

2. Kapitel: Besondere Anforderungen des Gesundheitsschutzes
2. Abschnitt: Beleuchtung, Raumklima, Lärm und Vibrationen
Art. 16 Raumklima



Art. 16

Raumluft, vor allem bei erhöhten Innentemperaturen, als unangenehm empfunden. Physiologisch zuträgliche Bedingungen in Bezug auf die Schwüle-Empfindung sind gegeben, wenn die relative

relative Luftfeuchte
Winter : 30-50%
Sommer : 40-60%

Abb. 316-2: Vorgaben für physiologisch angenehme Bereiche der relativen Luftfeuchtigkeit (Schweizer Mittelland)

Luftfeuchte auf folgende gerundeten Werte begrenzt ist:

- ab 24°C: < 60%
- ab 26°C: < 55%
- ab 28°C: < 50%

In Arbeitsräumen mit permanenter Unterschreitung der relativen Feuchte (z.B. in Produktionsräumen, die trockene Bedingungen erfordern) muss die Luft möglichst staubfrei sein. Ebenso ist Trinkwasser für die Arbeitenden bereitzustellen.

Ohne besondere Anforderungen an das Raumklima ist eine Befeuchtung der Raumluft insbesondere in Heizperioden nicht erforderlich und energetisch ungünstig. Die Zweckmässigkeit der künstlichen Befeuchtung wird in SN 546 382/1 sowie im BFE-Merkblatt Luftbefeuchtung 805.162.1 beschrieben. Der Umgang mit statischer Entladung als Folge zu trockener Raumluft wird ebenfalls in dieser Broschüre behandelt.

Für weitere technische Vorgaben in Bezug auf die Luftfeuchte wird auf den «technischen Anhang «Luftfeuchte» verwiesen.

Luftgeschwindigkeit, Zugluftrisiko

Zugluft kann das Wohlbefinden am Arbeitsplatz, besonders bei sitzender Tätigkeit, auch bei eher kleinen Luftgeschwindigkeiten, beeinträchtigen. Ist Zugluft vorhanden, werden nicht die Luftbe-

wegungen selber, sondern die auftretenden kleinen Temperaturdifferenzen auf der Haut verspürt. Die Sensibilität des Menschen ist unterschiedlich (Geschlecht, Alter, Gesundheitszustand etc.). Klagen über Zugluft sollten ernst genommen und abgeklärt werden, da sie zu gesundheitlichen Beschwerden, Unzufriedenheit und Leistungseinbussen am Arbeitsplatz führen.

Ursachen für Zugluft sind:

- offene bzw. undichte Fenster und Türen
- Fenster und Rahmen mit ungenügender Wärmeisolierung (hoher U-Wert)
- Aussenwände mit ungenügender Wärmedämmung, Isolationsfehlstellen
- grosse Fensterflächen (Fallwinde), ev. zusätzlich fehlende Fensterradiatoren
- hohe Räume (Fallwinde)
- Umluft-Kühlgeräte (Zugluft im Nahbereich vom Arbeitsplatz)
- Quellauslässe im Nahbereich vom Arbeitsplatz.

Abb. 316-3 zeigt die zulässige mittlere lokale Luftgeschwindigkeit bei verschiedenen lokalen Lufttemperaturen im Büro mit mechanischer bzw. natürlicher Lüftung. Physiologisch bedingt sind bei wärmeren Innentemperaturen höhere Luftgeschwindigkeiten tolerierbar. Im Sommer, bei Hitze in Gebäuden mit natürlicher Lüftung sind als Kühlmassnahme z. B. Ventilatoren sehr nützlich. Die Schweißverdunstung ist jedoch nur wirksam unterhalb von ca. 30-32°C. Bei niedrigeren Temperaturen ist die Empfindlichkeit gegenüber Zugluft erhöht, daher die niedrigeren zulässigen Werte (vgl. techn. Anhang «Zugluftrisiko»).

Bei gewerblichen und industriellen Tätigkeiten sind etwas höhere Luftgeschwindigkeiten zumutbar und sogar von Vorteil. So beispielsweise beim Tragen von Schutzkleidung beim Arbeiten an Spritzständen mit direkter Zu- und Abluft oder allgemein beschwerlichen Tätigkeiten.

Technisch bedingte, störende Zugluft lässt sich in begrenztem Mass mit einer höheren Lufttempe-



ratur (oder notfalls über eine Feuchteabsenkung) abfedern. Für gefährliche Arbeiten im Sinne der [EKAS-Richtlinie 6508](#) sind persönliche Schutzausrüstungen stets vorrangig vor thermischer Behaglichkeit.

Raumklima und «thermische Behaglichkeit»

Die oben beschriebenen Klimaparameter (Temperatur, Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit etc.) müssen aufeinander abgestimmt sein, um ein gesundheitlich zuträgliches Klima zu gewährleisten. Das Konzept der «thermischen Behaglichkeit» zieht daher mehrere Messgrößen und Faktoren in eine Gesamtbetrachtung ein und führt rechnerisch zu einem dimensionslosen Behaglichkeitsindex (PMV = Predicted Mean Vote = erwartete, durchschnittliche Bewertung der thermischen Behaglichkeit), sowie zu einer prozentualen Unzufriedenheitsrate einer statistisch durchschnittlichen Population (PPD = Percentage Persons Dissatisfied = erwarteter Anteil unzufriedener Personen) (siehe Technischen Anhang «Behaglichkeit»).

Thermische Behaglichkeit ist dann erreicht, wenn die Wärmeregulation des Körpers (Wärmeaufnahme und -abgabe) mit den Umgebungsfaktoren im Gleichgewicht steht. Die Wärmeabgabe beim Menschen erfolgt grösstenteils über Abstrahlung,

Schweissverdunstung, Ausatmung und Konduktion (Kontaktwärme). Die für den Wärmehaushalt des Menschen massgebenden Faktoren sind: Raumtemperatur (Lufttemperatur und Temperatur der Begrenzungsflächen im Raum), Luftgeschwindigkeit/Luftturbulenzen, die relative Luftfeuchte sowie die Zusatzgrößen Aktivität und die Bekleidungsisolierung.

Die Norm SN EN ISO 7730 benötigt diese Faktoren, um die thermische Behaglichkeit (Komfort) zu berechnen (vgl. technischer Anhang «thermische Behaglichkeit»). Im Ergebnis wird ein statistischer Prozentsatz an unzufriedenen Personen (PPD) vorhergesagt. Als Anforderung für Büros soll mindestens Kategorie B (d.h. bis max. 10% Unzufriedene) erreicht werden (siehe technischer Anhang: «thermische Behaglichkeit»).

Neben der Behaglichkeit insgesamt ist ebenfalls die lokale Behaglichkeit zu berücksichtigen. Damit sind insbesondere die Empfindlichkeit der Extremitäten (Arme vs. Hände, Beine vs. Füsse, Kopf vs. Nacken) gegenüber Zuglufteinflüssen zu verstehen (siehe Anhang «thermische Behaglichkeit»).

Luftqualität «Kohlendioxid CO₂»

Allgemeine Qualitätskriterien für die Luft sind in der Wegleitung zu Artikel 18 ArGV 3 (Luftverunreinigung) beschrieben. Kohlendioxid (CO₂) wird in den Normen meistens dem Kapitel «Raumkli-

Lokale Lufttemperatur [°C]	Maximale Luftgeschwindigkeit per Lüftungsart und Empfindlichkeitsstufe [m/s]		
	mechanische Lüftung «empfindlich»	mechanische Lüftung «normal»	natürliche Lüftung «beide Gruppen»
20	0.10	0.12	0.15
22	0.11	0.14	0.17
24	0.12	0.16	0.19
26	0.14	0.18	> 0.20

Abb. 316-3: Maximale Luftgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der lokalen Lufttemperatur und der Art der Lüftung. Annahmen: mechanische Lüftung DR=15% (DR=Draft Risk = Zugluft Risiko), natürliche Lüftung DR=20% (jeweils mit Turbulenzgrad 50% nach SN EN 520 180, ergänzt durch Berechnung für DR=10%, für Personen mit erhöhter Empfindlichkeit)

Wegleitung zur Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz

2. Kapitel: Besondere Anforderungen des Gesundheitsschutzes
2. Abschnitt: Beleuchtung, Raumklima, Lärm und Vibrationen
Art. 16 Raumklima



Art. 16

ma» zugeordnet. In Räumen ohne interne Schadstoffquellen ist der Mensch die Hauptquelle von CO₂, Gerüchen und Keimen. CO₂ dient als «Leitparameter» für die Luftqualität; die CO₂-Konzentration hängt ab von der Belegung des Raumes und den Lüftungsbedingungen.

Abb. 316-4 zeigt die Klassifizierung der Luftqualität anhand des CO₂-Gehalts hinsichtlich dem «Gesundheitsschutz» und SN 546 382/1 für mechanisch belüftete Räume. Konzentrationen oberhalb 1'000 ppm CO₂ können vorübergehend Müdigkeit, Unwohlsein, Konzentrationsstörungen und Kopfschmerzen auslösen. Über mehrere Stunden deutlich erhöhte Werte führen weiter zu spürbaren Leistungsbeeinträchtigungen und Müdigkeit (→ erhöhtes Risiko bei Überwachungstätigkeiten). Der Grundpegel für CO₂ in der Aussenluft und der unbelasteten Raumluft beträgt ca. 380-450 ppm. Eine Konzentration unterhalb 1'000 ppm CO₂ gilt als gute Luftqualität. In mechanisch belüfteten Räumen sind die Aussenluft-Volumenströme so zu regeln, dass die CO₂-Konzentration für die entsprechende Raumnutzung die zugewiesene Raumluftklasse (RAL) erreicht.

In natürlich belüfteten Räumen hängt die CO₂-Konzentration von der Belegungsdichte (Anzahl Personen im Raum) und dem Lüftungsverhalten

ab. Bei hoher Belegung und geringem Luftwechsel gibt es einen raschen CO₂-Anstieg; bei gutem Lüftungsverhalten lässt sich dies wirksam verhindern. Spätestens ab Erreichen von 2'000 ppm CO₂ ist ein intensives Lüften angesagt (siehe Anhang «Luftqualität, Kohlendioxid»).

Technischer Anhang

Raumtemperatur

Vergleich Raumtemperatur mit Raumlufttemperatur

Die Ermittlung der Raumtemperatur erfolgt (analog der Messung für die thermische Behaglichkeit) mit Messsensoren für die Luft- und Strahlungstemperatur (schwarze Kugel) (siehe Abb. 316-12). Die Raumtemperatur ist ein mit der Luftgeschwindigkeit gewichteter Wert, der sich aus der Luft- und Strahlungstemperatur der Raumbegrenzungsflächen zusammensetzt.

Zusammenhang: Raumtemperatur, Lufttemperatur und der Strahlungstemperatur der Umschliessungsflächen (gültig für mittlere Luftgeschwindigkeiten < 0.2 m/sec):

CO ₂ -Konzentration in der Raumluft [ppm]	Luftqualität Gesundheitsschutz	Raumluftqualität Klassierung gemäss SN 546 382/1 (mechanisch belüftete Räume)
≤ 1'000*	gut bis sehr gut	hoch (RAL 1) mittel (RAL 2)
> 1'000...1'400	mässig	mässig (RAL 3)
> 1'400...2'000	niedrig	niedrig (RAL 4)
> 2'000	hygienisch inakzeptabel Gesundheitsstörungen möglich in natürlich belüfteten Räumen: Handlungsbedarf 2'000 ppm (als Spitzenwert): → Regelmässiges Stoss- bzw. Querlüften → Bessere Raumbelüftung prüfen.	hygienisch inakzeptabel mechanisch belüftete Räume: → technische Überprüfung der Anlage und Plandaten etc.

Abb. 316-4: Raumluftklassen nach Terminologie Gesundheitsschutz und nach SN 546 382/1 (für mechanisch belüftete Räume).

*Pettenkofer-Zahl für gute Luftqualität 1'000 ppm CO₂. RAL = Raumluftqualität.



$$T_{\text{Raum}} = 0.5 \times (T_{\text{Luft}} + T_{\text{m, Strahlung}}) \text{ [}^\circ\text{C]}$$

- T_{Raum} = Raumtemperatur in $^\circ\text{C}$
- T_{Luft} = Lufttemperatur in $^\circ\text{C}$
- $T_{\text{m, Strahlung}}$ = Mittelwert aus Strahlungstemperatur der umschliessenden Flächen im Raum in $^\circ\text{C}$

Abb. 316-5: Auslegungskriterien gemäss SNR 592 024 für mechanisch belüftete Räume in Büros und die Grundlagen (Luftgeschwindigkeit, relative Luftfeuchte, Bekleidung (clo) und Aktivität (met)) für deren Berechnung.

Die Raumtemperatur (empfundene Temperatur) in Büroräumen (beheizt, gekühlt oder mechanisch belüftet) wird – je nach gleitender 48h Aussen-temperatur – zwischen 20.5 und 26.5 $^\circ\text{C}$ ausgelegt (SN 546 382/1).

Für Räume mit natürlicher Lüftung (ausserhalb Heizperiode und ohne Kühlung) soll die empfundene Temperatur - je nach gleitender 48h Aussen-temperatur- zwischen 20.5 bis 25 $^\circ\text{C}$ (kühle Periode) oder 22 $^\circ\text{C}$ - 30.5 $^\circ\text{C}$ (warme Periode) liegen (SN SN 520 180).

Behagliche Raumtemperatur als Funktion von Aktivität und Bekleidung

Die körperliche Aktivität der Person und die Bekleidungsisolations bestimmen die thermische Be-

haglichkeit (SN EN ISO 7730). Die Aktivität bestimmt den metabolischen Umsatz des Körpers, deren Angabe erfolgt in «met» (= metabolic activity) mit der Einheit: Watt/m² Körperoberfläche. Ein Erwachsener mit 70 kg Gewicht sondert eine Wärmeleistung von ca. 100 Watt ab. Als Mass für die Bekleidungsisolations wird die Einheit «clo» (=clothing, Bekleidung) verwendet, was physikalisch als Wärmedurchlasswiderstand zu verstehen ist. Je nach Bekleidungsisolations variiert der Wert zwischen 0 und 3, wobei 0 keiner Bekleidung und 3 einer hochwinterlichen Bekleidung entspricht. Die Norm macht detailliertere Angaben zur Bekleidungsart. Für Büroarbeiten wird im Sommer ein clo-Wert von 0.5 bis 0.8 und im Winter zwischen 1.0 und 1.2 angenommen.

Abb. 316-6 zeigt lehrbuchmässig verschiedene, als optimal empfundene Temperaturen (für beheizte oder gekühlte Räume) und Temperaturbereiche für unterschiedliche Tätigkeiten (bzw. Wärmeabgaben) (y-Achse) und Bekleidungen (x-Achse). (Beispiel: Bürotätigkeit (met =1.2, clo = 1.0) → Raumtemperatur 21.5 $^\circ\text{C}$ und Streubereich $\pm 2.5^\circ\text{C}$).

Je grösser die körperliche Belastung ausfällt, desto tiefer sollte die Raumtemperatur liegen. Wird beispielsweise mit einer wärmeren Bekleidung wie Langarmhemd/Hose/Pulli eine Raumtemperatur von 22 $^\circ\text{C}$ als angenehm empfunden, so werden bei gleicher Bekleidung und mittelschwerer Arbeit im Stehen 15 $^\circ\text{C}$ als behaglich empfunden (z. B. Montagearbeit). Die Bekleidung ist deshalb stets der körperlichen Leistung und den Aussenbedingungen, entsprechend den Jahreszeiten anzupassen.

Aussenbedingungen	Auslegungskriterien nach SNR 592 024	Berechnungsgrundlage
	Raumlufttemperatur ($^\circ\text{C}$)	
Winter (Heizperiode)	20 ... 24	Luftgeschwindigkeit max. 0.13 m/s Rel. Feuchte 30 % clo-Wert 1.0 / met-Wert 1.2
Sommer (Kühlperiode)	23.5 ... 26.5	Luftgeschwindigkeit max. 0.18 m/s Rel. Feuchte 60 % clo-Wert 0.5 / met-Wert 1.2 Gilt nur für maschinell gekühlte Räume!

Abb. 316-5: Auslegegrössen für Raumlufttemperaturen in Büroräumen nach SNR 592024



Raumluftfeuchte

Als Einheit der Raumluftfeuchte wird in Normen die «massenbezogene Feuchte» verwendet. Die Angabe erfolgt als Mischungsverhältnis g Wasserdampf pro kg trockene Luft, vgl. SN 546 382/1 für mechanische Lüftungen. Der Absolutwert ist unabhängig vom Luftdruck und somit auch von der Höhe über Meer. Die relative Luftfeuchte ist dagegen abhängig vom Luftdruck bzw. der Höhe des Standortes über Meer. Die relative Luftfeuchte wird üblicherweise auf das Schweizerische Mittelland (bis zu einer Höhe bis max. 800 m.ü.M.) bezogen (für Umrechnungen, siehe SN 520 180).

In SN 546 382/1 wird die obere und untere Feuchtegrenze als Mass genommen. Abb. 316-7 zeigt den physiologisch optimalen Bereich für die relative Luftfeuchte und die Vorgaben für die Auslegung während der Heiz- und Kühlperiode (vgl. Merkblatt SNR 592024). Die Temperaturgrenzen

für das Einhalten der unteren und oberen Grenze der massenbezogenen Feuchte nach SN 546 382/1 (4.9 g/kg = untere Grenze, 13.7 g/kg = obere Grenze (Annahme für die Schwülegrenze: 12.4 g/kg) sind in der Tabelle angegeben. Normvorgaben für die minimale Luftfeuchte sind auch in Räumen ohne aktive Befeuchtung einzuhalten. Zu berücksichtigen sind weitere Vorgaben in SN 530 180 und SN 546 382/1: Grenzwerte dürfen während 10% der Nutzungszeit unter-, respektive überschritten werden. Für die Vermeidung von Gebäudeschäden und Schimmelpilzrisiko sind die oberen Grenzen im Tagesmittel einzuhalten. Details darüber – unter welchen Bedingungen diese Anforderungen gelten (mechanisches Lüften, Befeuchten, Entfeuchten, Kühlen, Heizen) – sind in den beiden Normen nachzulesen.

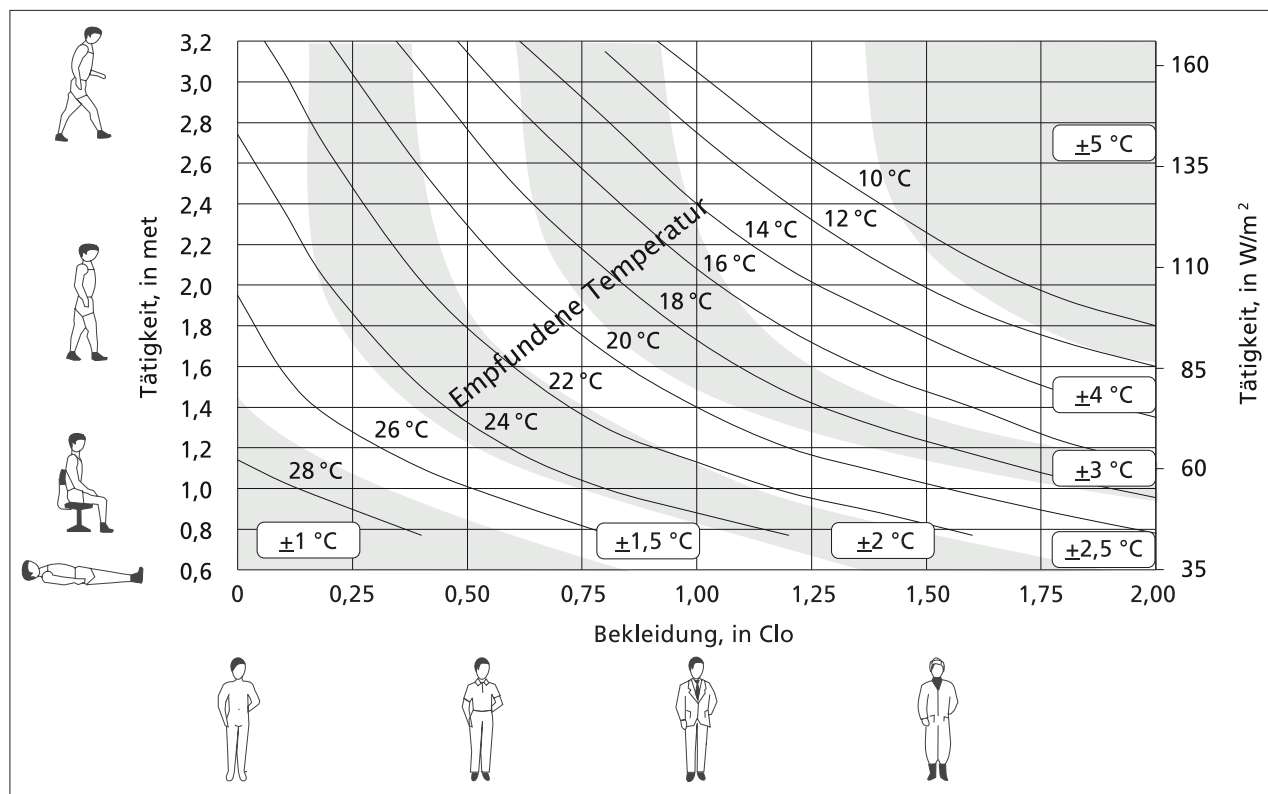


Abb. 316-6: Optimal empfundene Temperatur in Abhängigkeit von Tätigkeit und Bekleidung (nach SN EN ISO 7730 und SN 520 180) für beheizte/gekühlte Räume; (Annahmen: Luftfeuchte 50%, Luftgeschwindigkeit ≤ 0.1 m/s, PPD ≤ 10%). (Quelle: SN EN ISO 7730)



Raumluftgeschwindigkeit und Zugluftrisiko

Die Ermittlung des Zugluftrisikos dient der Begrenzung einer zu hohen konvektiven Wärmeabgabe der zugluftempfindlichen Körperbereiche (Nacken, Fussbereich).

Das Zugluftrisiko (DR = Draught Rating, Draft Risk) errechnet sich aus den Messgrössen:

- lokale Temperatur,
- Luftgeschwindigkeit,
- Luftturbulenz

sowie den individuellen Faktoren:

- Bekleidungsgrad und Aktivität (vgl. SN EN ISO 7730 und SN 520 180).

Der DR-Wert gibt den statistischen Prozentsatz von Personen an, die mit der Zuglufterscheinung unzufrieden sind.

In den Normen sind praktischerweise die zulässige maximale Luftgeschwindigkeit für definierte Lufttemperaturen angegeben; dies unter Annahme eines bestimmten Turbulenzgrades und einer vorgegebenen Aktivität und Bekleidung.

In Abb. 316-8 ist die zulässige mittlere, lokale Luftgeschwindigkeit für verschiedene lokale Lufttemperaturen am Arbeitsplatz dargestellt. Annahmen: Turbulenz = 50%, Zugluftrisiko DR = 15% (mechanische Lüftung), DR = 20% (natürliche Lüftung),

vgl. SN 520 180. Mitabgebildet ist auch die darunterliegende Kurvenlage für empfindliche Personen und Arbeitszonen (DR = 10%) (relevant nur unterhalb 24°C).

Thermische Behaglichkeit nach SN EN ISO 7730

Räumlicher Geltungsbereich

Die Vorgaben für die sog. «thermische Behaglichkeit» müssen während der gesamten Nutzungszeit eingehalten werden. Die Normvorgaben gelten für einen bestimmten Aufenthaltsbereich im Raum, d.h. es werden folgende Mindestabstände von Umgebungsflächen definiert (Beispiele):

- Abstand zu Aussenfenster / Aussentüren: 1.0 m
- Abstand zu Innenwänden / Aussenwänden: 0.5 m

Die beiden Normen SN 520 180 und SN 546 382/1 bilden die Basis für die Planung des Raumklimas. Für eine Gesamtbetrachtung der thermischen Behaglichkeit bzw. des Komforts muss die lokale Unbehaglichkeit im Arbeitsbereich mit einbezogen werden.

Behaglichkeitsindex PMV und Unzufriedenheitsrate PPD

Aus den nachfolgenden sechs Parametern wird anhand einer komplexen, empirischen Formel, der sogenannten «FANGER-Gleichung», der Behag-

Relative Luftfeuchte gemäss Auslegungskriterien SNR592024 für Büros	Untere und obere Feuchtegrenze SN 546382/1 (massenbezogen, g Wasser pro kg Luft)
Winter (Heizperiode) ≥ 30 % bis 50%	Untere Grenze: 4.9 g/kg: entspricht ≈ mind. 30 %, bei Temperatur < 21 °C
Sommer (Kühlperiode) 40 bis ≤ 60 %	obere Grenze: 13.7 g/kg: → entspricht max. ≈ 62 % bei Temperatur > 26 °C Achtung: Schwülegrenze (12.4 g/kg) → siehe Kapitel Raumluftfeuchte: max. 55% bei 26°C

Abb. 316-7: Richtwerte für die relative Luftfeuchtigkeit in Büros (physiologische Basis) und berechnete Temperaturgrenzen auf Basis der SN 546 382/1) für CH Mittelland: 400 m ü. M. / Absolutdruck p = 966 hPa

Wegleitung zur Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz

2. Kapitel: Besondere Anforderungen des Gesundheitsschutzes
2. Abschnitt: Beleuchtung, Raumklima, Lärm und Vibrationen
Art. 16 Raumklima



Art. 16

lichkeitsindex PMV-Wert (predicted mean vote = vorausgesagtes mittleres Votum) berechnet:

- Globetemperatur, Strahlungstemperatur (°C)
- Lufttemperatur (°C)
- Luftfeuchte (%)
- Luftgeschwindigkeit (m/s)
- Aktivität: met-Wert (-)
- Bekleidung: clo-Wert (-)

Er liegt im Regelfall zwischen -3 bis +3. Der Wert 0 ist der Neutralwert, er entspricht der optimalen Behaglichkeit. Der ebenfalls berechnete PPD-Wert (percentage persons dissatisfied = vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen) gibt den Prozentsatz an, der mit dem Raumklima unzufriedenen Personen. Ein PPD-Wert von 5% korrespondiert mit dem PMV-Wert 0 und widerspiegelt eine opti-

male thermische Behaglichkeit. Statistisch betrachtet gibt es selbst bei optimalen Klimabedingungen stets 5% Unzufriedene!

Die Berechnungen stützen sich ab auf wissenschaftliche Erhebungsdaten von Personen aus den Achtzigerjahren, die ihre Behaglichkeit bei unterschiedlichen experimentellen Klimabedingungen subjektiv bewerteten. Diese führten zur späteren Norm SN EN ISO 7730 (vgl. SN 520 180).

Kategorien

Für Büros ist eine Raumkategorie B, mit einer Unzufriedenheitsrate von $\leq 10\%$ PPD (Kategorie B) bzw. ein PMV-Wert zwischen -0.5 (leicht kühl) und +0.5 (leicht warm) erstrebenswert. Die PMV/PPD-Bewertungen gelten für Ganzkörper. Deshalb ist unter Umständen auch noch die lokale Unbehaglichkeit (z.B. Kopf/Nacken) zu bestimmen. Luftqualität «Kohlendioxid CO₂»

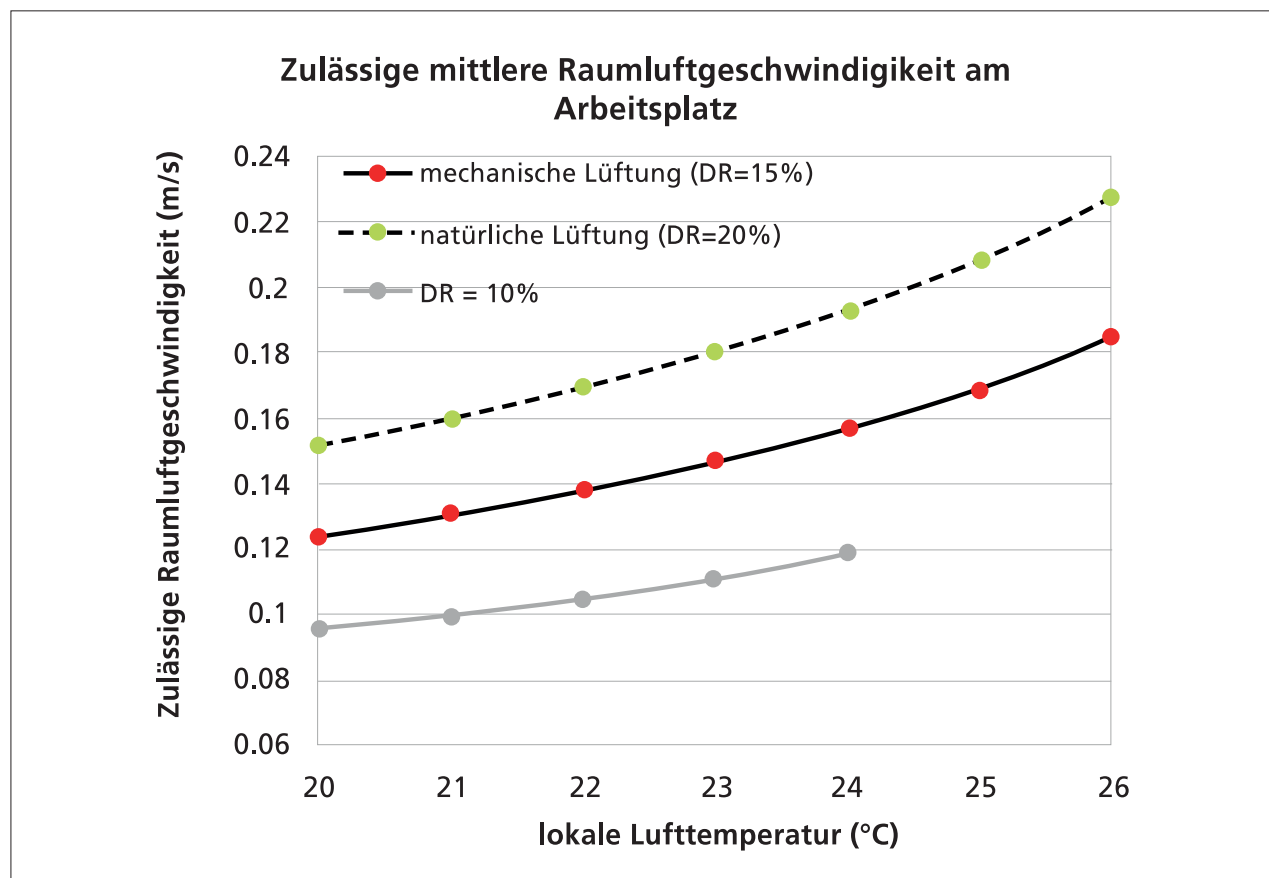


Abb. 316-8: Zulässige mittlere, lokale Raumluftgeschwindigkeit am Arbeitsplatz, in Abhängigkeit von der lokalen Lufttemperatur für mechanische, natürliche Lüftung und empfindliche Personen und Arbeitszonen



Luftqualität «Kohlendioxid CO₂»

In von Menschen belegten Räumen ohne Schadstoffquellen wird Kohlendioxid (CO₂) als Indikator für die Luftqualität herangezogen. Die Zusammenstellung (unten) der Luftbeschaffenheit von CO₂ und Sauerstoff (O₂) zeigt, dass der Sauerstoffverbrauch in einem Raum durch Personen auf Grund der hohen Konzentration von O₂ nur unbedeutend abnimmt. (Ausnahmen: Brand, kleiner Raum, hohe und sehr lange Belegung ohne Luftaustausch).

Luftzusammensetzung:

Aussenluft / «Grundpegel»	Ausatmungsluft
Sauerstoff: 21% = 210'000 ppm	18% = 180'000 ppm
Kohlendioxid 0.04% = 400 ppm	4% = 40'000 ppm
Luftverbrauch bei der Atmung (ruhig sitzend): ca. 10 Liter Luft pro Minute.	

Der CO₂-Grundpegel in der Aussenluft oder in unverbrauchter Raumluft beträgt ca. 0.04 % Volumenprozent (400 ppm CO₂) und für Sauerstoff O₂ ca. 21 % (ca. 210'000 ppm). Bei normaler Bürotätigkeit werden je Person ca. 18-22 l/h CO₂ mit einer CO₂ Konzentration von ca. 35'000 ppm und

O₂ von ca. 180'000 ppm veratmet. Der O₂-Anteil in der Luft beträgt 21 % und wird im Regelfall durch den Aufenthalt von Menschen nicht we-

PMV	Behaglichkeit
-3	kalt
-2	kühl
-1	etwas zu kühl
0	Neutral (→ 5% Unzufriedene!)
+1	etwas zu warm
+2	warm
3	heiss

Abb. 316-9: Predicted mean vote PMV; Vorhersage der Behaglichkeit (gemäss SN EN ISO 7730)

Raumkategorie	PPD [%]	PMV [-]
Kategorie A	≤ 6	-0.2 ... +0.2
Kategorie B	≤ 10	-0.5 ... +0.5
Kategorie C	≤ 15	-0.7 ... +0.7

Abb. 316-10: Definition von Kategorien für PPD (=Prozentsatz der unzufriedenen Personen) und PMV (Predicted Mean Vote) (gemäss SN EN ISO 7730)

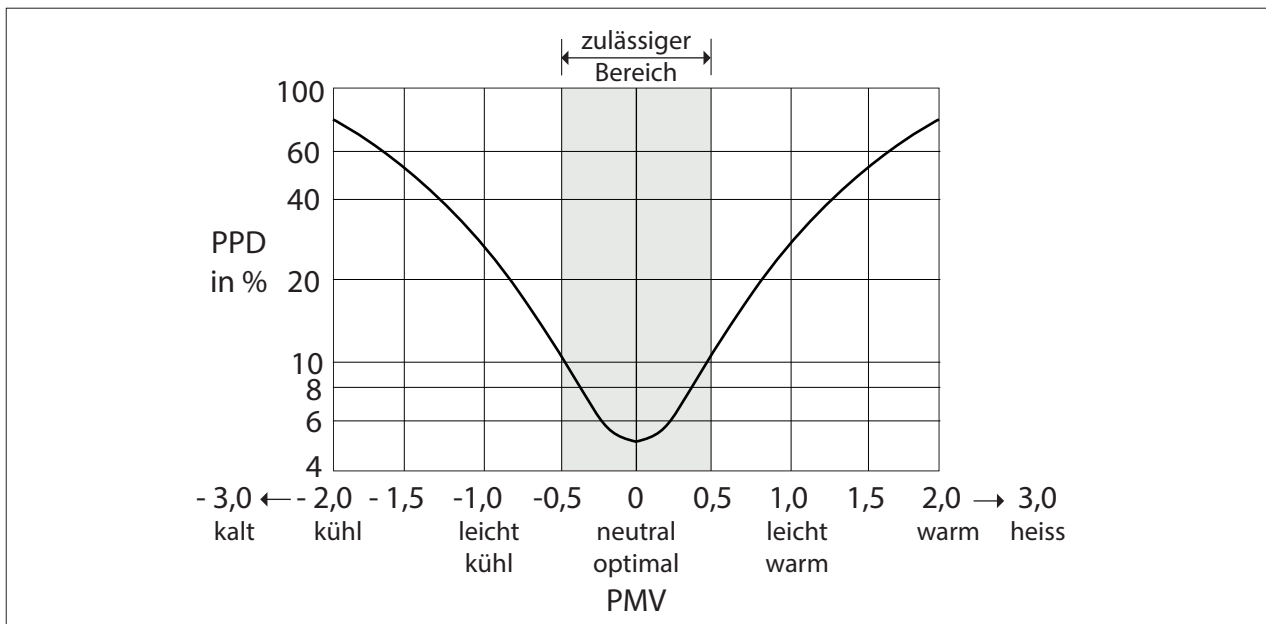


Abb. 316-11: Zusammenhang PMV und PPD und zulässiger Bereich für Kategorie B mit PPD < 10 %. (gemäss SN EN ISO 7730)

Wegleitung zur Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz

2. Kapitel: Besondere Anforderungen des Gesundheitsschutzes
2. Abschnitt: Beleuchtung, Raumklima, Lärm und Vibrationen
Art. 16 Raumklima



Art. 16

sentlich reduziert². 1'000 ppm CO₂ reduzieren den O₂-Anteil um lediglich 0.1 %.

Die CO₂-Konzentration liegt in mechanisch belüfteten Räumen - bei Einhaltung der Luftraten und Belegung- innerhalb der Grenzen für die entsprechende Raumluftqualität (RAL) (vgl. Abb. 316-4 und SN 546 302/1).

In natürlich belüfteten Räumen kann die CO₂-Konzentration je nach Belegung und Raumdichtigkeit rasch ansteigen. Ein geeignetes Lüftungsregime ist daher notwendig. Spätestens bei Erreichen von 2'000 ppm ist intensives Lüften angesagt.

² Im Vergleich dazu bewegen sich die O₂-Konzentrationen in industriellen, sauerstoffreduzierten Räumen je nach Anwendung bei 13 bis 17 %.)

Hitzebelastung in Gebäuden während Hitzeperioden

Beim Arbeiten in Räumlichkeiten ohne Kühlungsmöglichkeiten können während Hitzeperioden gesundheitliche Hitzebeschwerden auftreten. Einige Personengruppen sind besonders empfindlich, z.B. Schwangere, Untergewichtige, Übergewichtige und ältere Arbeitnehmende. Bei Raumtemperaturen über 30 °C ist eine erhöhte Aufmerksamkeit nötig, da Hitzebeschwerden relativ schnell auftreten können. Frisches Wasser sollte immer zur Verfügung stehen. Das Arbeiten in nicht klimatisierten Fahrerkabinen (z.B. Busse, Nutzfahrzeuge, Trams, Krananlagen, Lokomotiven) gehört zu den



Abb. 316-12: Messeinheit für die Messung des Raumklimas: Messsensoren von links nach rechts: Globe- Thermometer (schwarze Kugel) (1), Sensor für CO₂ (2), Sensoren für rel. Feuchte, Lufttemperatur und Luftdruck (3), Sensor für Luftgeschwindigkeit (4).



klimatisch beschwerlichen Tätigkeiten und erfordert besondere Schutzmassnahmen, da die Kabinentemperatur deutlich über der Aussentemperatur liegen kann. Der Kreislauf wird dadurch stark belastet und die Aufmerksamkeit beeinträchtigt. Fahrerkabinen sollten deshalb nach Möglichkeit mit Klimaanlage ausgerüstet sein oder es sind kompensatorische Massnahmen zu treffen (z.B. Pausenregelung, Getränke).

Hitze-Index zur Einschätzung der Hitzebelastung

Die Anwendung von Hitzeindices (z.B. HUMIDEX, WBGT), welche die gefühlte Temperatur auf Basis der gemessenen Lufttemperatur sowie der relativen Luftfeuchte und anderer Messgrössen (z.B. Luftgeschwindigkeit) beschreiben, stellt zur Beurteilung der Hitzebelastung ein nützliches Instrument dar. Diese Faktoren wirken über die körpereigene Thermoregulation, insbesondere des Schwitzens, und haben eine massgebliche Wirkung auf das Wohlbefinden. Eine hohe Luftfeuchte behindert beispielweise die Transpiration über die Haut und wird daher in Kombination mit einer erhöhten Lufttemperatur als schwüle Hitze wahrgenommen. Diese belastet den Kreislauf wesentlich stärker als trockene Hitze, weshalb beispielsweise in Wüstengegenden Temperaturen über 40 °C wesentlich leichter durch den Organismus verkraftet werden können, als der Aufenthalt in Regenwäldern mit 100 % r.F., trotz «moderateren» Temperaturen um 30 °C. Das Risiko der Hitzebelastung erhöht sich in dem Masse wie die Lufttemperatur und die Luftfeuchte zunehmen. Ein Hitze-Index ist Ausdruck dafür, wie diese Faktoren in ihrer Kombination auf das tatsächliche Temperaturempfinden und Wohlbefinden einer Person Einfluss nehmen. Für Hitzeperioden und Tätigkeiten in Gebäuden erlauben sogenannte Klimaindices eine vereinfachte grobe Abschätzung der thermischen Belastung unter gewissen Annahmen. Mit solchen Methoden kann entweder empirisch

eine korrigierte Temperatur (z.B. WBGT) oder analytisch ein Klimaindex (z.B. Humidex, PMV, PPD) ermittelt werden. Der korrigierten Temperatur bzw. dem Index ist eine spezifische Risikokategorie zugeordnet mit entsprechenden Schutzmassnahmen für den Betrieb.

Weiterführende Informationen erteilen die Durchführungsorgane der Kantone und das SECO.

Referenzen

Normen:

- Norm SN 520 180 «Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden»
- Norm SN 546 382/1 «Lüftungs- und Klimaanlagen - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen»
- Norm SN EN ISO 7726 «Umgebungs-klima - Instrumente zur Messung physikalischer Grössen»
- Norm SN EN ISO 7730 «Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit»
- Norm SN EN ISO 7243 «Ergonomie der thermischen Umgebung- Ermittlung der Wärmebelastung durch den WBGT- Index (Wet Bulb Globe Temperature)» (ISO 7243)

Schweizer Regel:

- SNR (Schweizer Regel) 592024 SIA «Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik»

Merkblätter, Flyer; Broschüren:

- Merkblatt SECO «Büroarbeit bei Hitze»
- Merkblatt Suva 44 021 «Luftbefeuchtung»
- Luftbefeuchtung - Merkblatt für Fachleute der Lüftungsbranche, der Architektur und des Gebäudebetriebs, BFE, Nr. 805.162.1D, www.bundespublikationen.admin.ch