

# Wirkung und Bewertung von Zugluft am Arbeitsplatz

von

Barbara Griefahn, Christa Künemund und Ulrike Gehring

## Zusammenfassung

Primäres Ziel der hier zusammengefaßten Arbeiten war es, die Reaktionen auf Zugluft und den Einfluß von Luftgeschwindigkeit, Turbulenzgrad, Strömungsrichtung, Lufttemperatur und Arbeitsleistung zu beschreiben, die bestehenden Zugluftmodelle auf ihre Anwendbarkeit hin zu überprüfen bzw. im Hinblick auf einen größeren Anwendungsbereich weiterzuentwickeln.

In umfangreichen Voruntersuchungen wurden zunächst die empfindlichsten Körperstellen identifiziert und ein experimentelles Design erarbeitet, dessen praxisgerechte Gestaltung durch Klimamessungen am Arbeitsplatz sichergestellt wurde.

In 826 einstündigen Sitzungen wurden bei 107 Probanden (33 Frauen, 74 Männern, 18-51 Jahre) der Abfall der Hauttemperaturen und die subjektive Störung durch Zugluft erfaßt. Letztere war durch Luftgeschwindigkeit, Turbulenzgrad, Lufttemperatur und Energieumsatz, nicht aber durch die Strömungsrichtung bestimmt. Die subjektive Beeinträchtigung war zwar mit einem Abfall der Hauttemperatur assoziiert, der aber in den einzelnen Körperregionen qualitativ und quantitativ sehr unterschiedlich war und so einer physiologischen Bewertung von Zugluft entgegenstand.

Basierend auf diesen Ergebnissen wurde das in ISO 7730 (1994) propagierte Draft-Rating-Modell (Fanger et al. 1988) für einen größeren Gültigkeitsbereich weiterentwickelt. Das zuständige Normungsgremium der ISO (ISO/TC 159, SC 5, WG 1) beschloß im Dezember 1998, das modifizierte Modell in die revidierte Fassung der ISO 7730 aufzunehmen.

## Einleitung und Problemstellung

Anlaß für die Arbeiten über Zugluft war eine 1995 abgeschlossene Untersuchung über mäßige Kälte am Arbeitsplatz, in der bei mehr als 1 200 Beschäftigten mittels eines umfangreichen Fragebogens signifikante Assoziationen zwischen Zugluftbelastung am Arbeitsplatz und Erkältungskrankheiten, bronchitischen und rheumatischen Beschwerden sowie den Symptomen der Weißfingerkrankheit ermittelt wurde ( $p < 0.05$ ) (Griefahn 1995). Eine zur Interpretation der Befunde durchgeführte Literaturrecherche ergab eine überraschend geringe Anzahl an wissenschaftlichen Untersuchungen über Zugluft, obwohl sich etwa ein Drittel der Büroangestellten und bis zu 100 % der in mäßiger Kälte tätigen Personen häufig durch Zugluft gestört fühlen und obwohl nationale und internationale Regelwerke Zugluft als wesentlichen Störfaktor des thermischen Befindens einstufen. ISO 7730 (1994) definiert Zugluft unter Berücksichtigung der subjektiven und der physiologischen Reaktionen als unerwünschte lokale Abkühlung des Körpers.

In Anbetracht der zahlreichen noch offenen Fragen wurde am *IfADo* der Forschungsschwerpunkt 'Zugluft' eingerichtet. Ein besonderes Problem bereitete zunächst die Anforderung, reproduzierbare Turbulenzen, ein entscheidendes Merkmal der Zugluft, zu erzeugen, was durch umfangreiche technische Maßnahmen in der Klimakammer und durch eine rechnergestützte Steuerung der Ventilation gelöst wurde.

Ziel der Untersuchungen war von vornherein die Erarbeitung einer präventivmedizinisch orientierten Bewertung von Zugluft am Arbeitsplatz als essentielle Vor-

aussetzung für gezielte Umsetzungsmaßnahmen. Um dies sicherzustellen, wurden Klimamessungen an realen Arbeitsplätzen vorgenommen und umfangreiche Voruntersuchungen im Labor durchgeführt. Ziel der Voruntersuchungen war es,

- diejenigen Körperregionen zu identifizieren, die besonders empfindlich auf Zugluft reagieren (regionale Empfindlichkeit) und in den nachfolgenden Untersuchungen berücksichtigt werden sollten,
- valide Indikatoren von Zugluftwirkungen zu ermitteln
- und ein geeignetes experimentelles Design für die nachfolgenden labor-experimentellen Untersuchungen zu entwickeln.

### **Experimentelle Voruntersuchungen**

Im Hinblick auf die Vergleichbarkeit mit der internationalen Literatur wurde ein von Fanger und Christensen (1986) entwickeltes und in mehreren Untersuchungen realisiertes experimentelles Design gewählt, bei dem die Luftgeschwindigkeit alle 15 Minuten um 0.1 m/s erhöht wird (hier von 0.0 auf 0.7 m/s) (Fanger et al. 1988; Toftum 1994a; 1994b; Toftum & Nielsen 1996a; 1996b). Während der Versuche waren die lediglich mit Shorts, T-Shirt, Socken und Sandalen (0.2 clo) bekleideten Probanden bei einer Lufttemperatur von 23 °C einem horizontal gerichteten laminaren Luftstrom ausgesetzt. Während der Versuche fand – wiederum in Anlehnung an die internationale Literatur – alle 5 Minuten eine Befragung statt. Zusätzlich wurde die Temperatur der Haut in verschiedenen Körperregionen gemessen.

**Regionale Empfindlichkeit:** Zur Identifizierung der empfindlichsten Körperareale wurden die Luftströmungen in 3 getrennten Sitzungen durch Drehung des Versuchs-

stuhls um 0°, 90° und 180° von hinten, von der Seite bzw. von vorne auf den Probanden gerichtet. Dabei zeigte sich (Abb. 1), daß Zugluft gleich welcher (horizontalen) Richtung an den Extremitäten und hier wiederum an den Armen die stärksten Reaktionen hervorrief. Von hinten einwirkende Zugluft verursachte außerdem relativ häufige Mißempfindungen am Nacken, während die Anströmung von vorne zwar frühzeitig im Gesicht, am Hals und an den Händen bemerkt, aber selten unangenehm empfunden wurde.

In den nachfolgenden Untersuchungen wurden horizontale Luftbewegungen daher dorso-lateral auf den Probanden gerichtet, so daß sowohl die Unterarme, als auch der Nacken betroffen waren, die folglich – bei ausreichender Bekleidungsisolierung – selbst in mäßiger Kälte immer frei blieben.

**Subjektive Reaktionen auf Zugluft:** Im Mittelpunkt der Zugluftproblematik stehen die subjektiven Störungen. Die Befragung wurde zunächst in Anlehnung an Fanger und Christensen (1986) durchgeführt. Dabei wurden aber – wie in den Untersuchungen der zitierten Autoren – selbst bei fehlender Luftbewegung relativ häufig Störungen durch Zugluft angegeben. Zweifellos handelt es sich hier um Fehlinterpretationen lokaler Abkühlungen, verursacht durch Strahlungsasymmetrien oder vertikale Temperaturdifferenzen (Fishman 1978; Houghton et al. 1938) sowie durch anatomische und physiologische Besonderheiten. Weiterhin neigen Personen mit einem allgemein eher kühlen thermischen Empfinden selbst bei objektiv kaum wahrnehmbaren Luftbewegungen (< 0.04 m/s) vermehrt zu Klagen über Zugluft (Fanger & Christensen 1986).

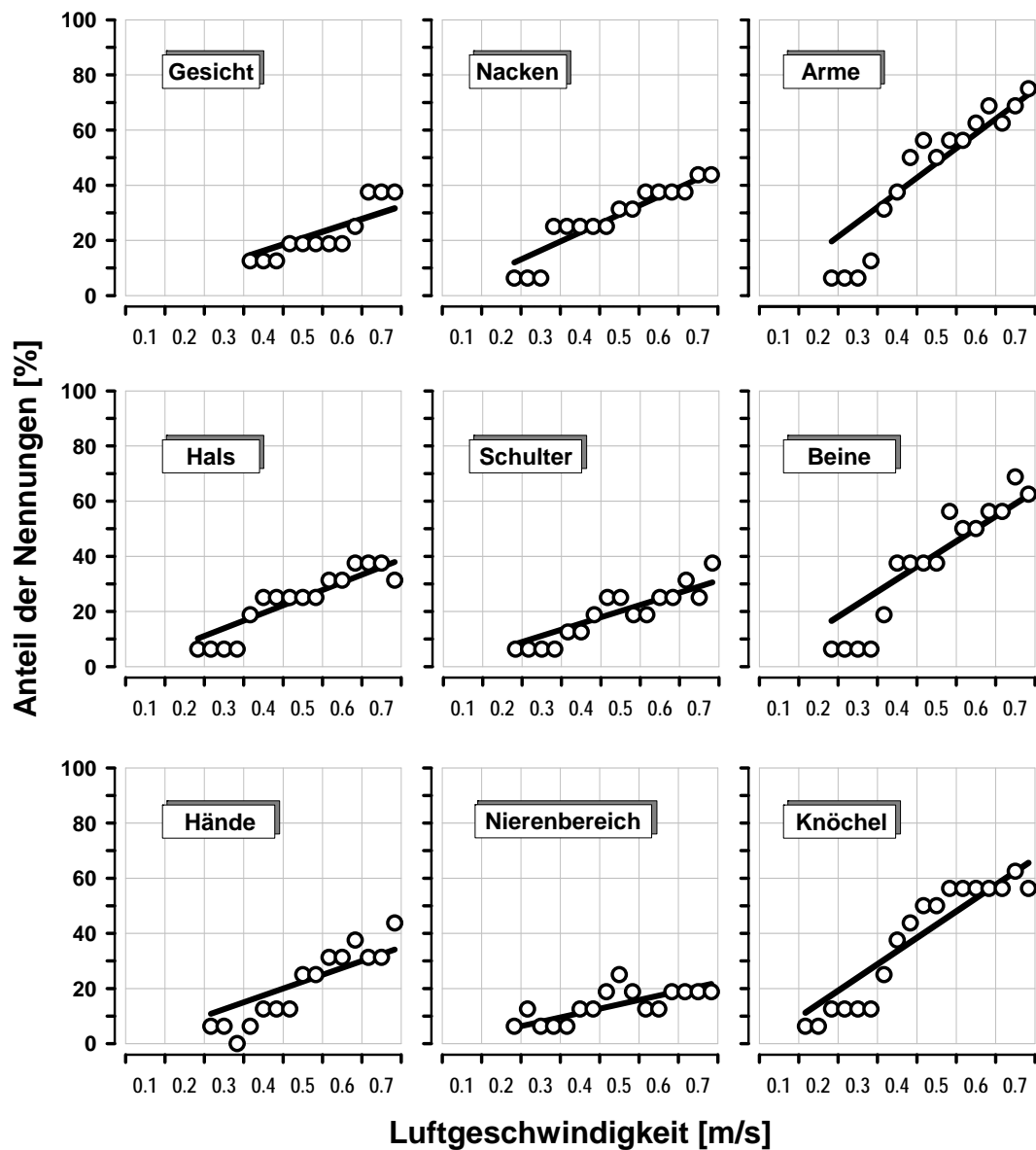


Abbildung 1: Störungen sitzender Probanden durch horizontal gerichtete laminare Luftbewegungen (Zugluftempfinden). 16 Probanden (10 Frauen, 6 Männer), Lufttemperatur 23 °C, Expositionsdauer 120 Minuten, Luftgeschwindigkeit alle 15 Minuten um 0.1 m/s erhöht.

Um solche Fehlinterpretationen zu vermeiden, war für jede in einer Liste vorgegebene Körperregion durch Ankreuzen zu bejahen oder zu verneinen, ob dort Luftbewegungen wahrgenommen und ob diese bzw. dort empfundene Kälte unangenehm war. Diese differenzierte Befragung hat sich offensichtlich bewährt, denn – anders als bei Fanger und Christensen (1986) – gaben die hier untersuchten Probanden bei Luft-

geschwindigkeiten von weniger als 0.05 m/s niemals Zugluft-, wohl aber unangenehme Kälteempfindungen an.

**Experimentelles Design:** Da das Ausmaß der Reaktion (Empfindung und Bewertung von Luftbewegungen, Abfall der Hauttemperaturen) kontinuierlich und nicht etwa schrittweise mit der Erhöhung der Luftgeschwindigkeit anstieg, war anzunehmen,

daß eine nur 15 Minuten dauernde Einwirkung zur Beurteilung anhaltender Expositionen nicht ausreicht (Fanger & Christensen 1986; Fanger et al. 1988; Toftum 1994a; 1994b; Toftum & Nielsen 1996a; 1996b; Mayer & Schwab 1990). Gestützt wird diese Annahme durch einen weiteren Vorversuch, in dem die Probanden bei einer Lufttemperatur von 23 °C 90 Minuten lang einer definierten Zugluft ausgesetzt waren ( $\bar{v}_a$ : 0.2 bzw. 0.3 m/s,  $T_u$ :  $\approx$  50 %). Der Anteil der durch Zugluft beeinträchtigten Probanden nahm allmählich zu und erreichte nach 50 bis 60 Minuten einen Endwert. Da sich die Angaben in der 60. Minute nicht von denen in der 90. Minute nach Expositionsbeginn unterschieden, wurde für die nachfolgenden Untersuchungen eine Expositionszeit von einer Stunde gewählt.

**Messungen am Arbeitsplatz:** Umfangreiche Messungen der physikalischen Klimaparameter an Arbeitsplätzen der Nahrungs- und Genußmittelindustrie zeigten, daß die mittleren Luftgeschwindigkeiten und Turbulenzgrade kaum (< 5 %) über 0.4 m/s bzw. 90 % hinausgingen, was durch weitere technisch orientierte Publikationen bestätigt wird (z. B. Gräff et al. 1995).

## Methoden und Material

Mit insgesamt 107 Probanden (33 Frauen, 74 Männer, 18-51 Jahre) wurden am *IfADO* 6 Experimentalserien mit 826 Einzelversuchen durchgeführt, um den Einfluß der mittleren Luftgeschwindigkeit, des Turbulenzgrades, der Richtung und der Lufttemperatur sowie der Arbeitsleistung zu bestimmen. Tab. 1 gibt einen Überblick über die experimentellen Bedingungen. In drei Versuchsreihen betrug die Lufttemperatur 23 °C (N1, N2, N3), in den drei anderen reichte sie bis in den Bereich mäßiger Kälte (11 °C, K1, K2, K3). Die Bekleidungsisolierung war dem jeweiligen Klima angemessen, Unterarme und Nacken blieben jedoch frei. Die hier gewählte Verteilung der Kleidung ist an vielen Arbeitsplätzen, selbst in mäßiger Kälte, durchaus üblich (z. B. Fleischverarbeitung).

**Versuchsordnung:** Der Versuchsablauf war in allen Experimenten prinzipiell gleich. Die Probanden saßen zunächst 20 Minuten in einem Neutralklima ( $t_a$ : 21 - 23°C,  $\bar{v}_a$ : < 0.05 m/s, RH: 40 - 60 %). Danach wechselten sie in die Klimakammer, wo die Registrierung nach 5 Minuten fortgesetzt wurde und in den folgenden 55 bis 60 Minuten eine definierte Zugluft einwirkte. In den Experimentalserien N1, N2 und N3 saßen die Probanden auf einem Stuhl. Sie durften lesen oder schreiben; es war ihnen jedoch nicht gestattet, die Beine übereinanderzuschlagen oder Bücher bzw. Zeitschriften (maximal erlaubtes Format DIN A4) auf die Oberschenkel zu legen. In Versuchsreihe K1 standen die Probanden unter Benutzung einer Stehhilfe vor einem auf Kopfhöhe justierten 17"-Monitor, auf dem (zwischen den Befragungen) Trackingaufgaben präsentiert wurden, um die Probanden zu einer bestimmten Haltung zu veranlassen. In den Serien K2 und K3 betätigten die Probanden ein Handkurbelergometer, wobei die Arbeitsleistung in 3 Stufen variiert wurde, die gemessenen metabolischen Raten von 104, 128 bzw. 156 Watt/m<sup>2</sup> entsprachen.

**Subjektive und physiologische Variablen:** Zu Beginn jeder Sitzung beantworteten die Probanden einen Fragebogen zur aktuellen gesundheitlichen Situation und Müdigkeit, zur Dauer des vorausgegangenen Schlafes, zum Konsum von Alkohol und Medikamenten, zum generellen thermischen Empfinden mittels einer 7-stufigen Skala (kalt, kühl, etwas kühl, neutral, leicht warm, warm, heiß) und zur thermischen Präferenz (ob das aktuelle Klima angenehm ist/ wärmer/kälter sein sollte).

Tabelle1: Versuchsbedingungen und Anzahl der Versuche in 6 Experimentalserien am Institut für Arbeitsphysiologie (**IfADo**).

Zugluftprofile: Luftgeschwindigkeit · 10/Turbulenzgrad  
(Tu 30: <20, h: horizontal, v: vertikal, d: diagonal)

	Neutraltemperatur: 23 °C							
	Experiment N1		Experiment N2		Experiment N3			
Zugluftprofil [ $\bar{V}_a \cdot 10/Tu$ ]	3/30h	3/50h	3/70h	2/50h	3/50h	1/30h	1/50h	1/70h
				2/50d		2/30h	2/50h	2/70h
				3/40d	3/50d	3/30h	3/50h	3/70h
						4/30h	4/50h	4/70h
Lufttemperatur	23 °C		23 °C		23 °C			
Metabolische Rate	≈ 60 W/m <sup>2</sup>		≈ 60 W/m <sup>2</sup>		≈ 60 W/m <sup>2</sup>			
Anzahl Bedingungen	3		5		12			
Anzahl Probanden	16		16		17			
Frauen	8		8		9			
Männer	8		8		8			
Alter [Jahre]	22.4 ±3.2 (18-28)		22.4 ±3.2 (18-28)		38.0 ±10.4 (19-51)			
Größe [cm]	177.3 ±7.3 (164-194)		177.3 ±7.3 (164-194)		173.0 ±7.3 (161-187)			
Gewicht [kg]	69.4 ±12.9 (52-92)		69.4 ±12.9 (52-92)		70.1 ±12.8 (48-105)			
Körperoberfläche [m <sup>2</sup> ]	1.9 ±0.2 (1.6-2.2)		1.9 ±0.2 (1.6-2.2)		1.8 ±0.2 (1.5-2.3)			
	Temperaturbereich: neutral – mäßig kalt (23 - 11 °C)							
	Experiment K1		Experiment K2		Experiment K3			
Zugluftprofil [ $\bar{V}_a \cdot 10/Tu$ ]	3/50h			1/50h	2/50h	3/50h	2/50h	3/50h
	3/50v						2/50v	3/50v
Lufttemperatur	11, 15, 19, 23 °C		11, 15, (19/23) °C		11 °C			
Metabolische Rate	≈ 70 W/m <sup>2</sup>		104, 128, 156 W/m <sup>2</sup>		128 W/m <sup>2</sup>			
Anzahl Bedingungen	8		36		4			
Anzahl Probanden	16		30		12			
Frauen	8							
Männer	8		30		12			
Alter [Jahre]	24.1 ±2.5 (21-29)		23.9 ±2.5 (20-29)		25.5 ±1.4 (23-28)			
Größe [cm]	176.1 ±8.6 (164-190)		181.5 ±7.1 (157-196)		183.7 ±4.4 (175-190)			
Gewicht [kg]	69.9 ±11.3 (57-95)		75.9 ±10.4 (48-99)		81.1 ±6.3 (67-91)			
Körperoberfläche [m <sup>2</sup> ]	1.9 ±0.2 (1.7-2.2)		2.0 ±0.2 (1.5-2.2)		2.0 ±0.1 (1.9-2.2)			

Danach wurde alle 5 Minuten ein Fragebogen ausgefüllt, der mit der Einschätzung des generellen thermischen Empfindens und der thermischen Präferenz begann. Danach wurde für jede in einer Liste präsentierte Körperstelle bejaht oder verneint, ob dort Luftbewegungen empfunden und ob diese bzw. dort empfundene Kälte unangenehm waren. Die Hauttemperaturen wurden an den entsprechenden Körperstellen kontinuierlich mit Thermistoren gemessen (YSI 427, Yellow Springs). Die Befragung erfolgte in den Experimentalserien N1, N2, N3 und K1 mit der Papier-/Bleistiftmethode, in den Serien K2 und K3 mittels einer Gegensprechanlage, so daß die Probanden ihre Arbeit nicht unterbrechen mußten.

Alle Experimente waren von der Ethik-Kommission genehmigt worden, Abbruchkriterien wurden lediglich für die Experimente mit physischer Arbeit formuliert, bei der die Herzschlagfrequenz 150 Schläge/min nicht überschreiten durfte.

## Ergebnisse

### Reaktionen auf Zugluft (Empfindung, Bewertung, Hauttemperatur)

Abb. 2 zeigt den Anteil der Probanden, die im Verlauf einer 60 Minuten dauernden Exposition am Nacken bzw. am Unterarm Luftbewegungen perzipiert und diese oder lokale Kälteempfindungen als unangenehm bezeichnet hatten sowie den Abfall der Hauttemperaturen. Für die Darstellung wurden exemplarisch die bei 23 °C mit einer mittleren Luftgeschwindigkeit von 0.3 m/s und einem Turbulenzgrad von 50 % durchgeführten Versuche von insgesamt 65 Probanden (33 Frauen, 32 Männer, 19-51 Jahre) zusammengefaßt.

**Perzeption:** Maßgeblich für die Perzeption von Luftbewegungen sind nach McIntyre (1980) die konvektive Kühlung und der physikalische Druck der Luftbewegungen auf der Haut. Die absolute – hier bestätigte – Perzeptionsschwelle, unterhalb derer Luftbewegungen nicht wahrnehmbar sind, liegt zwischen 0.1 und 0.25 m/s, also der Ge-

schwindigkeit, mit der die den Körper umgebende Luftgrenzschicht aufwärts gleitet (Fanger & Christensen 1986). Nach Überschreiten dieser Schwelle werden die Luftbewegungen innerhalb weniger Minuten nach dem Alles-oder-Nichts-Prinzip bemerkt. Die Anzahl der Nennungen nimmt im Verlauf der weiteren Exposition dann nicht mehr zu.

**Zugluftempfinden:** Weniger als die Hälfte der Probanden, die Zugluft perzipiert hatten, bewerteten diese als unangenehm. Die Bewertung setzt offensichtlich eine gewisse individuell unterschiedliche Einwirkdauer voraus. Dies zeigt sich darin, daß die Anzahl der Nennungen allmählich zunimmt.

Mit Störungen durch Zugluft ist zu rechnen, wenn deren Geschwindigkeit – zumindest zeitweise aufgrund der Turbulenzen – 0.3 bis 0.4 m/s erreicht bzw. überschreitet, z. B. bei einer mittleren Luftgeschwindigkeit von 0.1 m/s und einem Turbulenzgrad von 50 %.

**Lokales Kälteempfinden:** Die Störungen durch lokales Kälteempfinden verhielten sich ähnlich wie das Zugluftempfinden. Der individuelle Schwellenwert wurde teilweise früher erreicht, der Endwert stellte sich nach 50 bis 60 Minuten ein.

**Abfall der Hauttemperaturen:** Die subjektive Beeinträchtigung war zwar mit einem Abfall der Hauttemperatur assoziiert, der aber in den einzelnen Körperregionen qualitativ und quantitativ sehr unterschiedlich war und so einer physiologischen Bewertung von Zugluft entgegenstand (siehe auch Pedersen 1977). Die Hauttemperatur ist wohl eher als Moderatorvariable, denn als kausaler Faktor für die Empfindung und Bewertung von Zugluft einzuordnen.

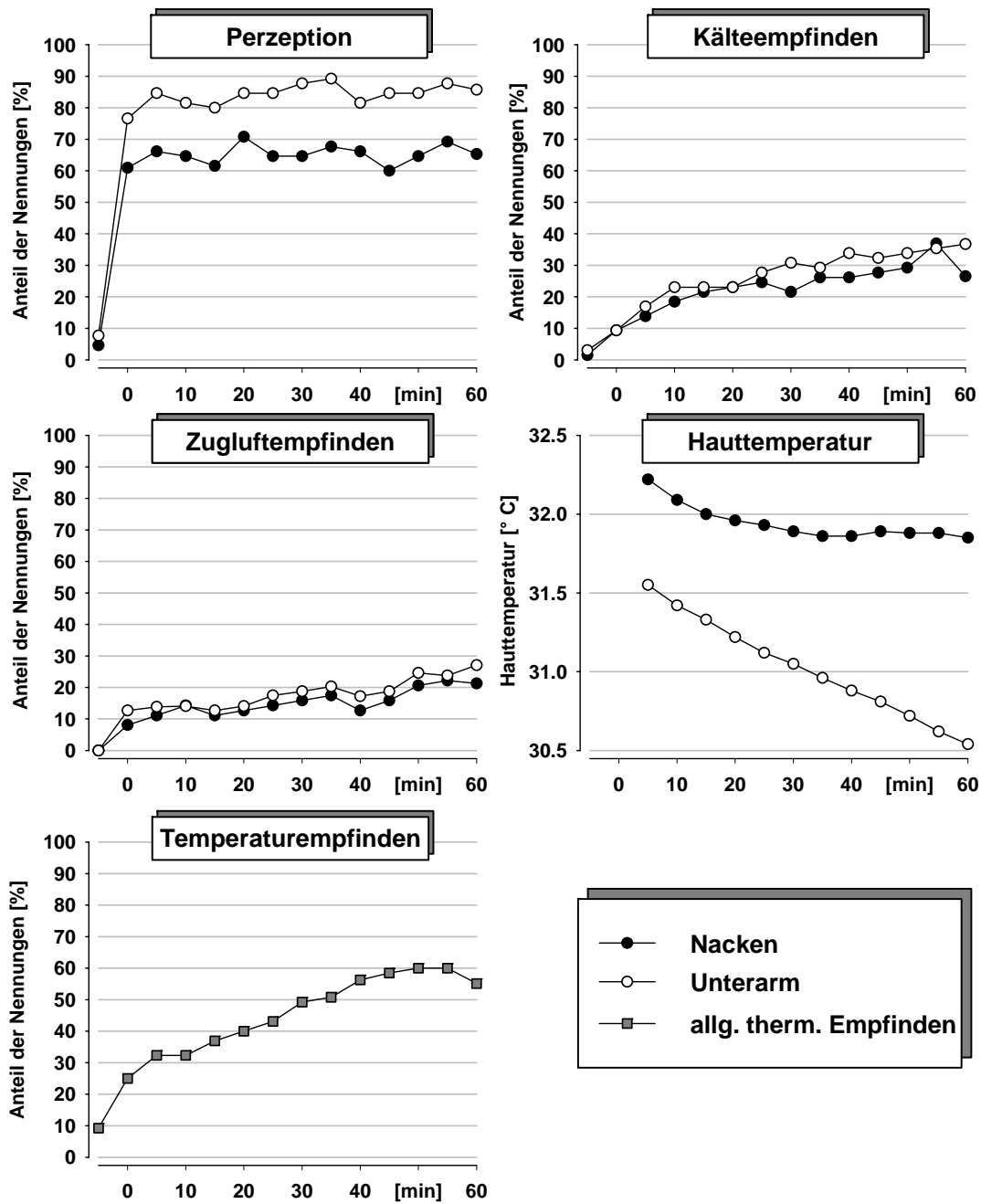


Abbildung 2: Reaktionen auf horizontal gerichtete Zugluft. 65 Probanden (33 Frauen, 32 Männer), Lufttemperatur 23 °C, Expositionsdauer 60 Minuten, Luftgeschwindigkeit 0.3 m/s, Turbulenzgrad ca. 50 %.

Zugluft erregt insbesondere die Kaltrezeptoren (Kaltpunkte), die mit regional unterschiedlicher Dichte und in verschiedener Tiefe in der Haut lokalisiert sind (Ivanov et al. 1982; Werner 1984) und die Information über die aktuelle lokale Hauttemperatur zur Großhirnrinde leiten (Hensel 1977). Die Tatsache, daß ein Teil der Rezeptoren nur der Temperaturempfindung dient, aber keinen regulatorischen Effekt hat

(Werner 1984), erklärt die mangelhafte Korrelation zwischen dem Zugluftempfinden und dem Abfall der Hauttemperatur. Hinzu kommen die zeitlich und örtlich schnell variierenden und damit irritierenden (widersprüchlichen) Informationen.

**Allgemeines thermisches Empfinden:** Der Anteil der Personen, die das allgemeine thermische Empfinden mit 'etwas kühl' bis 'kalt' bezeichneten, nahm während der Exposition allmählich zu und erreichte nach ca. 50 Minuten den Endwert.

Toftum und Nielsen (1996a) vertreten die Auffassung, daß Störungen durch Zugluft eine kühlere Bewertung des thermischen Empfindens voraussetzen, während Fanger und Christensen (1986) annehmen, daß die Einwirkung von Zugluft das thermische Empfinden bestimmt. Die hier erhobenen Daten bestätigen keine dieser Vermutungen. Zugluftempfindungen setzten in der Hälfte der Fälle gleichzeitig mit einer kühleren Bewertung des thermischen Empfindens und nahezu gleich häufig vorher bzw. nachher ein.

### **Physikalische Parameter der Zugluft und des Umgebungsklimas**

Abb. 3 zeigt den Einfluß von Luftgeschwindigkeit, Turbulenzgrad, Umgebungstemperatur und körperlicher Aktivität auf die Perception von Luftbewegungen sowie auf die Störung durch Zugluft bzw. durch lokal empfundene Kälte.

**Luftgeschwindigkeit:** Je höher die Luftgeschwindigkeit, desto häufiger wurden Luftbewegungen perzipiert und – ähnlich wie lokale Kälteempfindungen – unangenehm bewertet. Dies war erwartet worden, da zunehmende Luftgeschwindigkeiten, wie weitere Arbeiten über Zugluft sowie zahlreiche unter anderem Aspekt durchgeführte Arbeiten zeigen, die konvektive Wärmeabgabe beschleunigen (Pedersen 1977; Fanger & Christensen 1986; Berglund & Fobelets 1987; Fanger et al. 1988; Mayer & Schwab 1990).

**Turbulenzgrad:** Mit dem Turbulenzgrad wurden Luftbewegungen zunehmend häufiger perzipiert, Zugluft und lokale Kälte wurden häufiger als unangenehm bewertet. Dies steht im Einklang mit den Ergebnissen

von Fanger et al. (1988) sowie Mayer & Schwab (1990) und erklärt die erheblich unterschiedlichen Reaktionen zwischen den mit laminaren Luftbewegungen durchgeführten Untersuchungen von Houghten et al. (1938) oder McIntyre (1979) einerseits und den Experimenten von Fanger und Christensen (1986), in denen der Turbulenzgrad bei gleicher mittlerer Luftgeschwindigkeit 30 bis 60 % betrug.

Die stärkere Reaktion auf turbulente Luftströmungen ist auf die begrenzte Adaptationsfähigkeit sensorischer Organe auf variierende Stimuli zurückzuführen, während konstante Stimuli mit einer allmählich abnehmenden Empfindlichkeit einhergehen.

**Strömungsrichtung:** Bisherige experimentelle Arbeiten beschränkten sich überwiegend auf horizontal einwirkende Zugluft, die typischerweise durch (teilweise) offestehende oder undichte Türen und Fenster verursacht wird (Fanger & Christensen 1986; Fanger et al. 1988; Mayer & Schwab 1990; Pedersen 1977). In klimatisierten Räumen, in denen die Auslaßöffnungen der Klimaanlage in der Decke installiert sind, wirkt Zugluft vertikal oder diagonal von oben ein. Deren hier beobachtete Wirkung ist aber mit der Reaktion auf horizontale (dorsolateral gerichtete) Zugluft vergleichbar, teilweise sogar eher geringer. Dies bestätigt die Beobachtungen von Mayer und Schwab (1990), die die Reaktion von 25 Frauen und 25 Männern im Alter von 18 bis 65 Jahren auf Zugluft unterschiedlicher Richtungen untersuchten.

**Lufttemperatur:** In der vorausgegangenen Studie über mäßige Kälte am Arbeitsplatz gaben etwa zwei Drittel der Beschäftigten, insbesondere an stationären Arbeitsplätzen, Zugluftempfindungen an, die statistisch eng mit der Prävalenz an Erkältungen, rheumatischen und bronchitischen Beschwerden sowie mit dem Beschwerdebild der Weißfingerkrankheit verknüpft waren (Griefahn 1995).

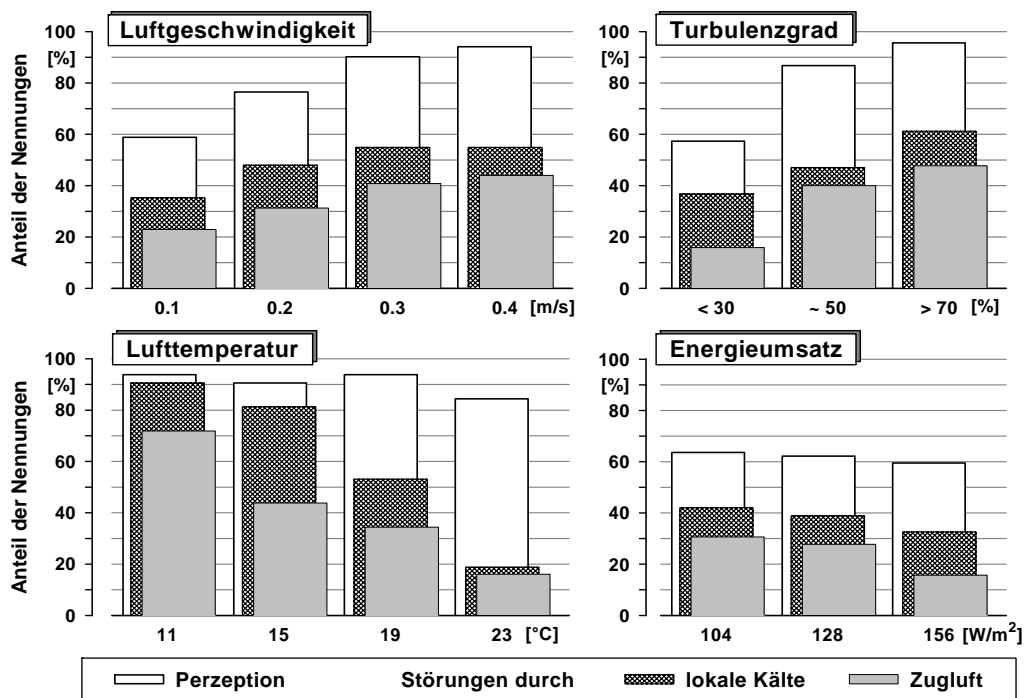


Abbildung 3: Einfluß der Zugluftparameter Luftgeschwindigkeit und Turbulenzgrad sowie der Lufttemperatur und des Energieumsatzes auf die Perzeption von Luftbewegungen und auf Störungen durch Zugluft sowie auf lokal empfundene Kälte. Ergebnisse aus unterschiedlichen Versuchsreihen

Mäßige Kälte am Arbeitsplatz ist bei der Herstellung, der Be- und Verarbeitung leicht verderblicher Produkte notwendig. Solche Arbeitsplätze finden sich überwiegend in der Nahrungs- und Genußmittelindustrie (ca. 90 %), in nennenswerter Häufigkeit darüber hinaus auch in einigen Betrieben der chemischen und der pharmazeutischen Industrie. In der Bundesrepublik arbeiten ca. 300 000 Personen permanent in technisch erzeugter mäßiger Kälte (-5 bis +15 °C), so daß allein schon die Anzahl der potentiell Betroffenen ein präventivmedizinisch relevantes Problem darstellt.

In zwei Experimenten wurden die Lufttemperaturen systematisch zwischen 11 °C und 23 °C variiert. Die Ergebnisse bestätigten die aus Feldstudien abgeleitete Annahme, daß Luftbewegungen häufiger unangenehm bewertet werden. Dasselbe gilt für lokale Kälteempfindungen, während die Perzeption durch die Lufttemperatur kaum beeinflußt war.

Experimentelle Untersuchungen im Temperaturbereich von 11 °C bis 20 °C wurden nur noch von Toftum (1994a; 1994b) durchgeführt. 10 männliche Probanden verrichteten unter Einwirkung von Zugluft eine Arbeit am Handkurbelergometer mit Energieumsätzen von 104 und 129 W/m². Der Autor fand allerdings keinen Zusammenhang zwischen Lufttemperatur und Zugluftempfinden, was er auf die der klimatischen Situation jeweils angepasste Bekleidungsisolierung zurückführte.

Eine adäquate Kleidung war auch in der vorliegenden Untersuchung gewählt worden, wobei Nacken und Unterarme aber frei blieben, so daß eine größere Anzahl von Kälterezeptoren erregt und damit stärkere Reaktionen hervorgerufen werden können (McIntyre 1980). Diese Annahme leitet sich aus Untersuchungen von Pedersen (1977) ab, dessen Probanden Bekleidungen mit Isolationswerten von 0.1 bzw. 0.6 clo trugen. Für beide Bekleidungen bestimmte Pedersen zunächst die individuell bevorzugte Luft-

temperatur, die er dann in den jeweiligen Expositionsversuchen einstellte. Trotz thermischer Neutralität reagierten die Probanden auf die gleiche Zugluftbelastung stärker, wenn sie mit 0.1 clo bekleidet waren, wenn also größere Hautareale unbedeckt blieben.

**Körperliche Aktivität:** In vielen Betrieben der Nahrungs- und Genußmittelindustrie leisten die Beschäftigten mittelschwere bis schwere Arbeit in mäßiger Kälte. Dabei wird häufig – beispielsweise in der Fleischverarbeitung – eine Kleidung getragen, bei der insbesondere die Arme frei bleiben, so daß in beträchtlichem Umfang mit Zugluftempfindungen zu rechnen ist. Andererseits ist aber davon auszugehen, daß eine relativ hohe metabolische Wärmeproduktion mit einer abnehmenden Empfindlichkeit gegenüber Luftbewegungen einhergeht.

Die Wechselwirkung von Lufttemperatur, Luftgeschwindigkeit und körperlicher Arbeit auf das Zugluftempfinden wurde experimentell an einem simulierten stationären Arbeitsplatz geprüft. Die an solchen Arbeitsplätzen typische Armarbeit wurde mittels eines Handkurbelergometers simuliert.

Der Energieumsatz hatte den erwarteten systematischen Einfluß auf Zugluft- und Kälteempfindungen, die mit zunehmender Arbeitsschwere seltener wurden, während die Perzeption der Luftbewegungen nicht durch die Arbeitsschwere beeinflusst war. Diese Beobachtungen stimmen mit den schon 1986 von Fanger und Christensen geäußerten Vermutungen und mit den experimentellen Untersuchungen von Toftum und Nielsen (1996b) überein.

Kritisch anzumerken ist jedoch, daß sich der Einfluß der Luftgeschwindigkeit, der Lufttemperatur und der Arbeitsleistung nicht exakt quantifizieren läßt; dies hätte für jede der 9 Kombinationen aus Lufttemperatur, Luftgeschwindigkeit und Arbeitsschwere einen entsprechenden Referenzversuch ohne Luftbewegungen erfordert.

## Bewertungsmodelle für Zugluft

Fanger et al. (1988) entwickelten das in ISO 7730 propagierte Draft-Rating-Modell zur Vorhersage der Zugluftwirkung. Es wurde von Toftum (1994a; 1994b) für mäßig kalte Klimate modifiziert. Die zugrundeliegenden Experimente werden hier kurz dargestellt.

**Fanger et al. (1988), Fanger und Christensen (1986):** Die Autoren exponierten insgesamt 150 Probanden (75 Männer, 75 Frauen,  $22 \pm 5$  Jahre) gegenüber horizontal von hinten auf den Körper gerichteter Zugluft. Bei 100 Probanden wurde die Lufttemperatur in drei separaten Sitzungen auf 20, 23 bzw. 26 °C eingestellt; der Turbulenzgrad variierte zwischen 30 und 60 %. Bei den übrigen 50 Personen betrug die Lufttemperatur in allen 3 Sitzungen 23 °C; der Turbulenzgrad wurde auf weniger als 12, auf 20 - 35 bzw. auf mehr als 55 % eingestellt. Während jeder Sitzung wurde die mittlere Luftgeschwindigkeit alle 15 Minuten um 0.1 m/s von < 0.04 auf 0.4 m/s erhöht.

**Toftum (1994a):** 10 junge Männer ( $23.4 \pm 1.3$  Jahre) verrichteten in 8 separaten Sitzungen eine stationäre Arbeit am Handkurbelergometer, wobei in Zufallsfolge zwei Arbeitsschweren mit gemessenen metabolischen Raten von 104 bzw. 129 Watt/m<sup>2</sup> und 4 Lufttemperaturen von 11, 14, 17 und 20 °C realisiert wurden. Die Bekleidungsisolierung entsprach der thermischen Neutralität. Die mittlere Luftgeschwindigkeit der horizontal von hinten auf die Probanden gerichteten Zugluft wurde wiederum alle 15 Minuten um jeweils 0.1 m/s von < 0.04 auf 0.4 m/s erhöht. Die Turbulenzgrade variierten zwischen 10 und 40 %.

Im Draft-Rating-Modell (ISO 7730 1994) setzt sich der prozentuale Anteil (PD) der durch Zugluft beeinträchtigten Personen, additiv aus einem statischen (PD<sub>s</sub>) und einem dynamischen Anteil (PD<sub>d</sub>) zusammen. Diese folgen den Gleichungen

$$PD_s = a \cdot (t_{sk} - t_a) \cdot (\bar{v}_a - 0.05)^b,$$

und

$$PD_d = c \cdot \bar{v}_a \cdot Tu \cdot (t_{sk} - t_a) \cdot (\bar{v}_a - 0.05)^b,$$

wobei

- $t_{sk}$ : mittlere Hauttemperatur [°C]  
 $t_a$ : Lufttemperatur [°C]  
 $\bar{v}_a$ : mittlere Luftgeschwindigkeit [m/s]  
 $Tu$ : Turbulenzgrad [%].

Unter der Annahme, daß die mittlere Hauttemperatur bei thermischer Neutralität etwa 34 °C beträgt, resultierte nach Schätzung der unbekannt Parameter a, b und c folgende Modellgleichung:

$$PD = 3.14 \cdot (34 - t_a) \cdot (\bar{v}_a - 0.05)^{0.62} + 0.37 \cdot \bar{v}_a \cdot Tu \cdot (34 - t_a) \cdot (\bar{v}_a - 0.05)^{0.62}$$

Diese gilt für sitzende Personen, für mittlere Luftgeschwindigkeiten von 0.1 bis 0.4 m/s, für Turbulenzgrade von 10 – 70 % und für Lufttemperaturen von 20 – 26 °C.

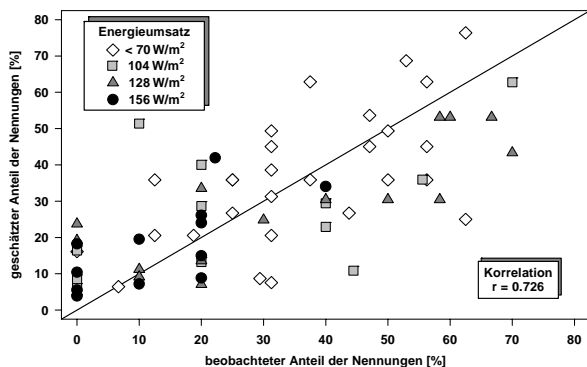


Abbildung 4: Beobachtete und mit dem Draft-Rating-Modell (Fanger et al. 1988; ISO 7730 1995) geschätzte Anteile von Personen, die sich am Ende einer 60 Minuten dauernden Exposition durch Zugluft gestört fühlen. Horizontal gerichtete Zugluft, Lufttemperatur 23 °C, 49 Probanden (25 Frauen, 24 Männer) 18-51 Jahre

Mit dieser Gleichung wurden die Erwartungswerte für die hier bei 23 °C Lufttemperatur und horizontaler Luftströmung durchgeführten Versuchsreihen N1, N2 und N3 berechnet und mit den beobachteten Werten verglichen. Das in Abb. 4 dargestellte Ergebnis zeigt, daß das Modell die Zugluftwirkung für mittlere Luftgeschwindigkeiten bis zu 0.3 m/s unterschätzt. Dies

ist besonders kritisch, weil damit ca. 80 % der Arbeitsplätze fehlbewertet werden (Gräff et al. 1995; Griefahn 1999).

Da das Draft-Rating-Modell die Zugluftwirkung für Arbeit in mäßiger Kälte unterbewertet, schätzte Toftum (1994a; 1994b) die Hauttemperatur aus Lufttemperatur, Energieumsatz und externer Arbeit mit

$$t_{sk} = 32.3 + 0.079 \cdot t_a - 0.019 \cdot (M-W)$$

und erweiterte das Modell um einen Faktor  $[1 - d \cdot (M - W - 70)]$ , der die Arbeitsleistung berücksichtigt. Nach Schätzung des unbekannt Parameters d gelangte er zu der Gleichung

$$PD = (t_{sk} - t_a) \cdot (\bar{v}_a - 0.05)^{0.62} \cdot (3.14 + 0.37 \cdot \bar{v}_a \cdot Tu) \cdot [1 - 0.013 \cdot (M - W - 70)],$$

wobei

- M: mittlerer Energieumsatz [ $\text{W/m}^2$ ]  
W: externe Arbeit [ $\text{W/m}^2$ ].

Mit dieser Gleichung wurden die Erwartungswerte für jede der hier untersuchten 69 Experimentalsituationen geschätzt und dem Anteil der tatsächlich durch Zugluft beeinträchtigten Personen gegenübergestellt. Die Korrelation zwischen erwarteten und beobachteten Werten ist zwar signifikant ( $r = 0.66$ ,  $p < 0.001$ ). Die Zugluftbelastung wird jedoch mit zunehmender Arbeitsschwere unterschätzt.

Werden die entsprechenden Berechnungen getrennt für die vier untersuchten Energieumsätze ( $< 70$ , 104, 128, 156  $\text{W/m}^2$ ) vorgenommen, so ergeben sich jeweils signifikante Korrelationen, was die Korrektur der Gleichung ermöglicht. Auf der Basis der hier erhobenen Daten wurde die Konstante d in dem Term  $[1 - d \cdot (M - W - 70)]$  neu geschätzt, so daß folgende Gleichung resultiert

$$PD = (t_{sk} - t_a) \cdot (\bar{v}_a - 0.05)^{0.62} \cdot (3.14 + 0.37 \cdot \bar{v}_a \cdot Tu) \cdot [1 - 0.0061 \cdot (M - W - 70)].$$

Die mit dieser Gleichung errechneten Erwartungswerte sind in Abb. 5 den beobachteten Daten gegenübergestellt. Die Korrelation zwischen beobachteten und geschätzten Anteilen beträgt 0.726 ( $p < 0.01$ ). Mit der korrigierten Gleichung lassen sich die hier erhobenen Daten also gut approximieren.

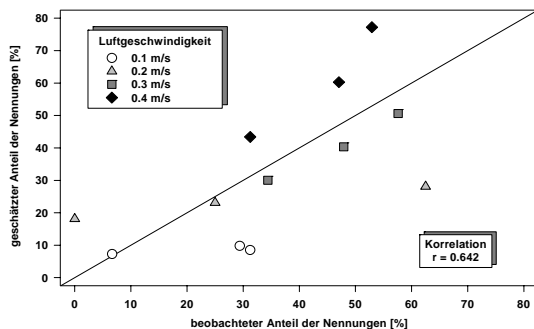


Abbildung 5: Beobachtete und mit dem korrigierten Zugluftmodell geschätzte Anteile von Personen, die sich am Ende einer einstündigen Exposition durch Zugluft gestört fühlen. Zusammenfassung der Daten aus 6 Versuchsreihen, 107 Probanden (33 Frauen, 74 Männer) 18-51 Jahre

## Diskussion des Zugluftmodells

Im Vergleich zu den an der Technischen Universität in Dänemark von Fanger und Mitarbeitern durchgeführten Untersuchungen (Fanger & Christensen 1986; Fanger et al. 1988; Toftum 1994a) wurde die Realsituation in den – weit aufwendigeren – Untersuchungen am *IfADo* entschieden stärker berücksichtigt, was die quantitativ unterschiedlichen Ergebnisse erklärt und die Korrektur des Draft-Rating Modells [DIN EN ISO 7730 1995] erforderte. Im wesentlichen lassen sich 5 methodische Unterschiede benennen, die eine Revision des Modells begründen:

**1. Charakteristika der Zugluft:** Zugluft zeichnet sich durch die mit dem Turbulenzgrad quantifizierte Variabilität der Luftgeschwindigkeit aus. Diese konnte in den Untersuchungen am *IfADo* sehr genau eingestellt werden, während sie in den Untersuchungen der oben genannten Autoren mit der Luftgeschwindigkeit variierte. In den Experimenten von Toftum (1994a; 1994b) war der Turbulenzgrad zudem mit 10 bis

40 % weit niedriger als an realen Arbeitsplätzen.

**2. Expositionsdauer:** Fanger und Mitarbeiter erhöhten die Luftgeschwindigkeit während der Versuche alle 15 Minuten um 0.1 m/s, was Toftum und Nielsen (1996a; 1996b) selbst als entscheidenden Mangel empfanden, aus ökonomischen Zwängen heraus aber hinnehmen mußten. Die Probanden am *IfADo* waren hingegen – der realen Situation am Arbeitsplatz entsprechend – während der gesamten einstündigen Exposition einer definierten Zugluftbelastung ausgesetzt.

**3. Bekleidung:** Am *IfADo* blieben die Unterarme in allen Untersuchungen unbedeckt. Damit waren – und auch dies entspricht der Realsituation – größere Hautareale gegenüber Zugluft exponiert als in den Experimenten von Fanger und Mitarbeitern, in denen die Probanden lange Ärmel trugen.

**4. Befragung:** Am *IfADo* wurde den Probanden eine detaillierte Liste mit vorgegebenen Körperstellen vorgelegt, für die jeweils zu bejahen oder zu verneinen war, ob Luftbewegungen gespürt und ob diese oder lokal empfundene Kälte unangenehm war. Durch die Frage nach Kälteempfindungen wurden – anders als bei den anderen Autoren – Fehlinterpretationen lokaler Kälte weitgehend vermieden (Fanger & Christensen 1986; Fanger et al. 1988).

**5. Arbeitsablauf:** Ebenso wie bei Toftum (1994a; 1994b) wurden am *IfADo* Arbeitsversuche mittels eines Handkurbelergometers durchgeführt. Während die Probanden bei Toftum (1994a) die Arbeit nach jeweils 4 Minuten unterbrachen, um in der 5. Minute den Fragebogen zu beantworten, wurden sie am *IfADo* über eine Gegensprechanlage befragt, unterbrachen ihre Arbeit also nicht.

Abb. 6 und 7 zeigen die mit dem korrigierten Modell errechneten Kurven gleichen Zugluftempfindens getrennt für 10, 20 und 30 % beeinträchtigter Personen. Die Dar-

stellung berücksichtigt die hier untersuchten Wertebereiche. Lediglich für die Lufttemperatur wurde ein größerer Bereich gewählt, um den Kurvenverlauf besser zu veranschaulichen. Die Abbildungen zeigen, daß der Anteil der durch Zugluft beeinträchtigten Personen konstant bleibt, wenn bei zunehmender Luftgeschwindigkeit und/oder zunehmendem Turbulenzgrad gleichzeitig die Lufttemperatur gesenkt wird und daß die Zugluftwirkung mit zunehmendem Energieumsatz geringer wird.

Zur Frage der zulässigen Obergrenze für Zugluftbelastungen können von wissenschaftlicher Seite lediglich Entscheidungshilfen bereitgestellt werden. Da sich Luft-

bewegungen schon wegen der erforderlichen Luftwechselrate nicht vermeiden lassen und da immer mit einem bestimmten Anteil besonders empfindlicher Personen zu rechnen ist, muß entschieden werden, wie groß der Anteil der nicht berücksichtigten Personen sein darf. Nach Abb. 6 ist bei sitzender Tätigkeit und bei üblicherweise in Büros herrschenden Lufttemperaturen bei 10 % der Beschäftigten mit Störungen durch Zugluft zu rechnen, wenn die mittlere Luftgeschwindigkeit 0.1 m/s und der Turbulenzgrad 50 % beträgt. Bei Luftgeschwindigkeiten von 0.2 m/s und einem Turbulenzgrad von 30 % sind bereits 20 % der Beschäftigten gestört.

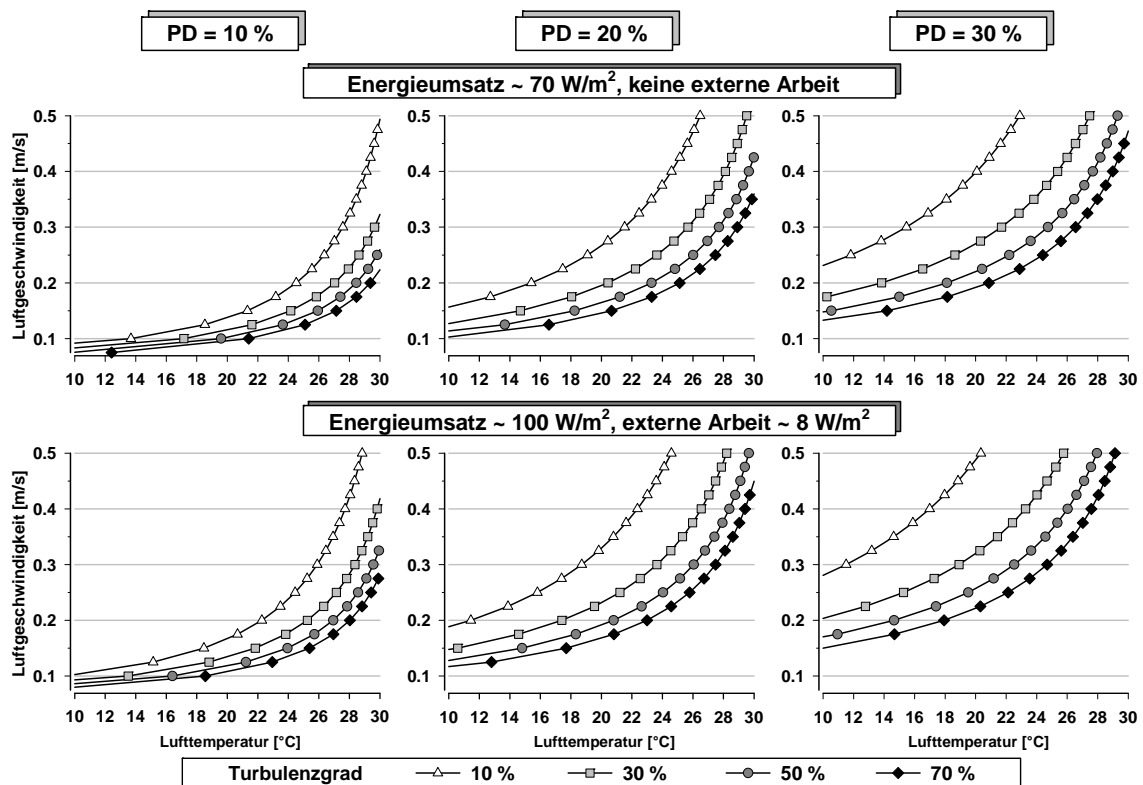


Abbildung 6: Kurven gleichen Zugluftempfindens für verschiedene Energieumsätze, Luftgeschwindigkeiten und Turbulenzgrade nach dem modifizierten Toftum-Modell (1994a)

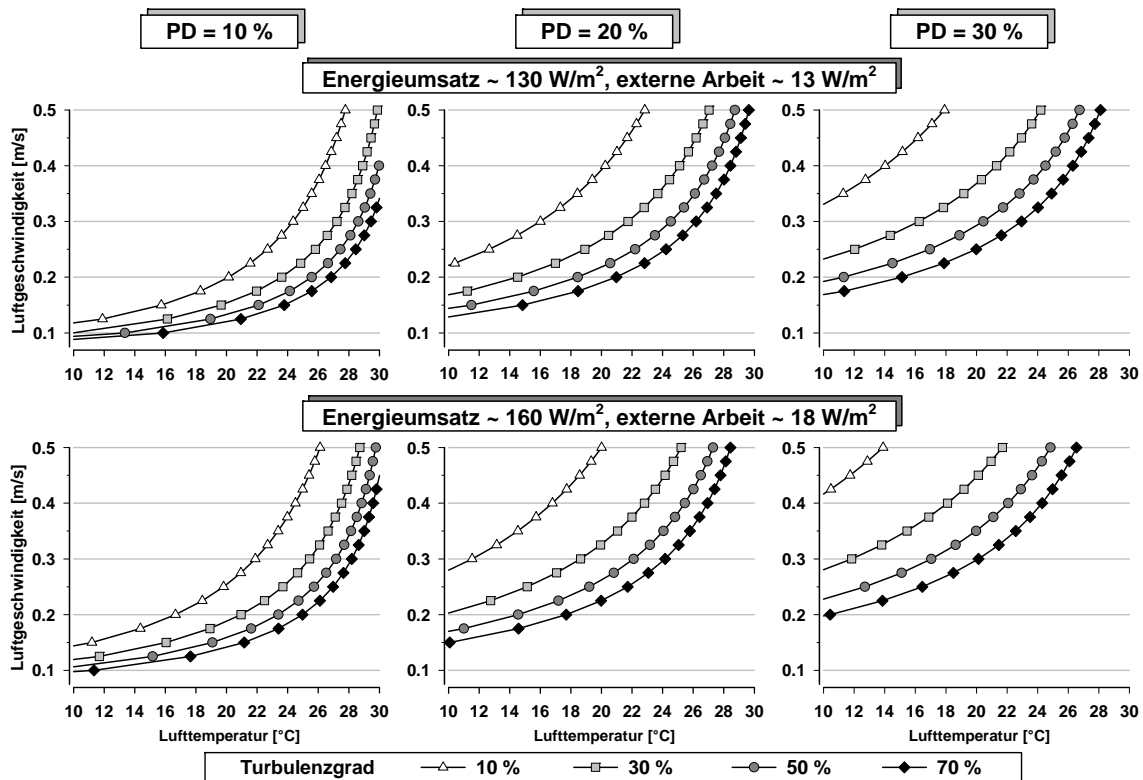


Abbildung 7: Kurven gleichen Zugluftempfindens für verschiedene Energieumsätze, Luftgeschwindigkeiten und Turbulenzgrade nach dem modifizierten Toftum-Modell (1994a)

## Schlußfolgerungen

Die experimentellen Untersuchungen am *IfADo* waren im Hinblick auf die reale Situation am Arbeitsplatz und auf präventivmedizinische Konsequenzen ausgerichtet. Deshalb wurden die physikalischen Parameter der Zugluft während der meist einstündigen Expositionen konstant gehalten, während die Expositionszeit in den Untersuchungen anderer Autoren meist nur 15 Minuten betrug (Fanger & Christensen 1986; Fanger et al. 1988; Toftum & Nielsen 1996a; 1996b). Darüber hinaus wurden sowohl die Lufttemperaturen, als auch die Energieumsätze in einem weiteren Bereich, zwischen 11 und 23 °C bzw. zwischen  $\approx 60$  und  $156 \text{ W/m}^2$ , variiert. Um Fehlinterpretationen der Ursache lokaler Kälte zu vermeiden, wurde ein entsprechend differenzierter Befragungsmodus entwickelt und angewendet.

Die mit diesem Vorgehen ermittelten Reaktionen auf Zugluft werden durch die bestehenden Bewertungsmodelle zur Schätzung

des Anteils der durch Zugluft beeinträchtigten Personen nicht hinreichend beschrieben (ISO 7730 1995; Toftum 1994a). Nach der Korrektur des von Toftum für den Bereich mäßiger Kälte aus dem Draft-Rating-Modell weiterentwickelten Bewertungsverfahrens resultiert ein Modell, mit dem sich der Anteil der Beeinträchtigten recht gut schätzen läßt. Der Gültigkeitsbereich konnte sowohl bezüglich der Lufttemperaturen als auch bezüglich der Energieumsätze erweitert werden (Tab. 2). Eine Erweiterung hinsichtlich der Luftgeschwindigkeiten und der Turbulenzgrade war nicht beabsichtigt, da in den hier abgedeckten Wertebereich bereits 95 % der Arbeitsplätze fallen.

## Forschungsbedarf

Obwohl mit den hier dargestellten Untersuchungen – unter Berücksichtigung der Literatur – einige grundlegende Probleme gelöst wurden, bleiben zahlreiche Fragen offen. Zu den vordringlich zu bearbeitenden Problemen zählen u.a.:

**Frequenzverteilung:** Pedersen (1977) untersuchte die Wirkungen periodischer Änderungen der Luftgeschwindigkeit und ermittelte die größte Beeinträchtigung bei einer Frequenz von 0.3 Hz. Obwohl periodische Änderungen der Luftgeschwindigkeit in der Praxis nicht relevant sind, ist es denkbar, daß unterschiedliche Frequenzverteilungen klimatechnischer Anlagen (z. B. bedingt durch Betriebszustand, Technik und Fabrikat) unterschiedliche Reaktionen auf Zugluft verursachen, wobei das begleitende Geräuschspektrum eine zusätzliche Bedeutung haben kann.

**Intermittierte Zuglufteinwirkung:** An vielen Arbeitsplätzen sind die Beschäftigten intermittierender Zugluft ausgesetzt, so z. B. in Nahverkehrsmitteln (Straßenbahnen, Busse, S-Bahnen) oder an Kassenarbeitsplätzen und Verkaufsständen im Eingangsbereich von Supermärkten oder Bahnhöfen (Bäckereien, Schnellimbisse, Reinigungen etc.). Die intermittiert einströmende Luft kann - jahreszeitlich bedingt - (erheblich) kühler oder wärmer als die Luft am Arbeitsplatz sein und sich qualitativ durch höhere oder niedrigere Konzentrationen an unterschiedlichen (Schad-)Stoffen auszeichnen (Abgase, Dämpfe etc.).

**Moderatorvariablen:** Kaum berücksichtigt wurde bisher die Bedeutung individueller Faktoren wie etwa Alter, subjektive Empfindlichkeit und Gesundheitszustand sowie situativer Faktoren wie etwa der Tageszeit (z. B. Nachtschicht) und weiterer gleichzeitig auf den Betroffenen einwirkender Umwelteinflüsse.

**Reaktionsvariablen:** Die bisherigen Untersuchungen haben sich im wesentlichen auf die subjektive Störung durch Zugluft und auf die Registrierung der Hauttemperaturen konzentriert, während andere mögliche Wirkungen wie etwa auf die Leistung (z. B. bei Bildschirmarbeit), auf vegetative Funktionen sowie langfristige Folgen permanent oder repetitiv einwirkender Zugluft bisher völlig unberücksichtigt blieben.

## Literatur

Berglund LG, Fobelets APR (1987). Subjective human response to low-level air currents and asymmetric radiation. ASHRAE Transactions 93: 497-523.

Fanger PO, Christensen NK (1986). Perception of draught in ventilated spaces. Ergonomics 29: 215-235.

Fanger PO, Melikov AK, Hanzawa H, Ring J (1988). Air turbulence and sensation of draught. Energy and Buildings 12: 21-39.

Fishman DS (1978). Subjective effects of air movement around the feet. CIBS Symposium: Man Environment and Buildings, Sept. 1978.

Gräff B, Hubert K, Zoller HJ (1995). Untersuchungen von Luftgeschwindigkeiten und Lufttemperaturen an industriellen Arbeitsplätzen. (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Forschungsbericht Nr. 722). Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.

Tabelle 2: Gültigkeitsbereich der Bewertungsverfahren für Zugluftempfindungen

	Lufttemperatur	Mittlere Luftgeschwindigkeit	Turbulenzgrad	Energieumsatz
Verfahren	$t_a$ [°C]	$\bar{V}_a$ [m/s]	Tu [%]	M [W/m <sup>2</sup> ]
ISO 7730 (1995)	20 – 26	0.1 – 0.4	10 – 70	≈ 70
Toftum (1994a)	11 – 20	0.1 – 0.4	10 – 40	104 – 129
<b>IfADo</b>	11 – 23	0.1 – 0.4	20 – 90	≈ 60 – 156

- Griefahn B (1995). Arbeit in mäßiger Kälte. (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Forschungsbericht Nr. 716). Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- Griefahn B (1999). Bewertung von Zugluft am Arbeitsplatz. (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Forschungsbericht Nr. 1164). Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- Griefahn B, Deppe C, Künemund C (1997). Research on the physiological effects of drafts. In: Nielsen Johannsen B, Nielsen R: Thermal physiology. Abstracts of the Int. Symposium on thermal physiology, Copenhagen 8-12 July 1997 (p 27). Copenhagen: August Krogh Institute.
- Hensel H (1977). Processing of thermal information. In: Durand J, Raynaud J (eds.): Thermal comfort. Confort thermique (pp 39-56). Paris: INSERM.
- Houghten FC, Gutberlet C, Witkowski E (1938). Draft temperatures and velocities in relation to skin temperature and feeling of warmth. ASHRAE Transactions 44: 289-308.
- ISO 7730 (1994). Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Geneva: ISO. *entsprechend*: DIN EN ISO 7730, 1995: Gemäßigtes Umgebungsklima. Ermittlung des PMV und des PPD und Beschreibung der Bedingungen für thermische Behaglichkeit. Berlin: Beuth.
- Ivanov K, Konstantinov V, Danilova N (1982). Thermoreceptor localization in the deep and surface skin layer. J Therm Biol 7: 75-78.
- Mayer E, Schwab R (1990). Untersuchung der physikalischen Ursachen von Zugluft. Gesundheits-Ingenieur - gi 111: 17-30.
- McIntyre DA (1979). The effect of air movement on thermal comfort and sensation Proceedings from the First International Indoor Climate Symposium (pp 541-560). Copenhagen.
- McIntyre DA (1980). Indoor climate. London: Applied Science.
- Pedersen CJK (1977). Komfortkrav til luftbevægelser i rum. Licentiatafhandling, laboratoriet for varme- og klimateknik. Danmarks Tekniske Højskole.
- Toftum J (1994a). Trækgener i det industrielle arbejdsmiljø. Licentiatafhandling, laboratoriet for varme- og klimateknik. Danmarks Tekniske Universitet.
- Toftum J (1994b). A field study of draught complaints in the industrial work environment. In: Frim J, Ducharme MB, Tikuisis P (eds.): Proceedings of the Sixth International Conference on Environmental Ergonomics (pp 252-253). North York, Ont.: Scientific Information Center, Defence & Civil Institute of Environmental Medicine.
- Toftum J, Nielsen R (1996a). Draught sensitivity is influenced by general thermal sensation. Int J Industr Ergonomics 18: 295-305.
- Toftum J, Nielsen R (1996b). Impact of metabolic rate on human response to air movements during work in cool environments. Int J Industr Ergonomics 18: 307-316.
- Werner J (1984). Regelung der menschlichen Körpertemperatur. Berlin: Gruyter.



*IfADo*

Institut für Arbeitsphysiologie an der Universität Dortmund



*WHO Collaborating Centre  
for Occupational Health*

**H.M. Bolt  
B. Griefahn  
H. Heuer  
W. Laurig  
(Hrsg.)**

# **Arbeitsphysiologie heute**

---

**Bd. 1 (1999)**

---

**Dortmund**

---

ISBN 3-00-004302-0

Als Manuskript gedruckt.

Alle Rechte vorbehalten.

© *IfADo*, Institut für Arbeitsphysiologie an der Universität Dortmund  
Ardeystr. 67, D-44139 Dortmund  
Tel.: 0231/1084-0  
Fax: 0231/1084-308

Druck: Koffler-Druck, Dortmund

Printed in Germany

---

## Vorwort

Mit der Umstrukturierung des Instituts für Arbeitsphysiologie an der Universität Dortmund (*IfADo*) zum 1.5.1997 erhielten die jährlichen Forschungsberichte und Forschungspläne eine neue Form. Die inhaltliche Berichterstattung über die *IfADo*-Projekte wird ab 1999/2000 in den Forschungsplan mit integriert. Hierdurch ergibt sich die Möglichkeit, die Berichterstattung des *IfADo* um Elemente zu erweitern, die sich besonders an Abnehmern der *IfADo*-Forschungsergebnisse orientieren.

Diskussionen über geeignete Formen einer solchen Präsentation wurden im Verlauf des Jahres 1998 im *IfADo* geführt und ergaben den Vorschlag der Publikation einer neuen jährlichen Institutsreihe. Diese möchte anhand wechselnder Beiträge aus dem Institut unterschiedliche Arten des Brückenschlages zwischen arbeitsphysiologischer Grundlagenforschung und der Praxis aufzeigen.

Der erste Band 1999 enthält aktuelle exemplarische Beiträge aus allen fachlichen Bereichen des *IfADo*. Die Institutsleitung des *IfADo* stellt den neuen Ansatz nun zur Diskussion und möchte diesen in den Folgejahren weiterentwickeln.

gez. Univ.-Prof. Dr. Dr. Hermann M. Bolt  
(Institutsdirektor des *IfADo* )