

# Kombinierte Belastungen durch die Interaktion von Ganzkörperschwingungen mit Hitze und Kälte

von

Peter Bröde

## Zusammenfassung

In mehreren Laborexperimenten wurde die Beeinträchtigung von Steuerungs- und Sehleistungen bei kombinierter Belastung durch Ganzkörperschwingungen (GKS) und Hitze oder Kälte untersucht. Dazu wurden nach dem Feste-Dosis-Studienansatz für die Vibrationsbelastung Intensitäts-Wirkungs-Kurven in einem Referenzklima und bei einer zusätzlichen Hitze- oder Kältebelastung ermittelt und miteinander verglichen. Die Ergebnisse belegen, dass die Kombinationswirkung durch GKS und Hitze oder Kälte auf Steuerungstätigkeiten sowie durch GKS und Hitze auf die Sehleistung im Wesentlichen durch die Schwingungsintensität bestimmt wird, dass aber unter Kombinationsbelastung eine deutlich erhöhte subjektive Beanspruchung vorliegt, sofern die Arbeitsaufgabe einfache sensorische Anforderungen übersteigt. Verstärkte Leistungsminderungen ergeben sich für die Sehleistung durch eine veränderte Übertragung der Schwingungen zum Kopf unter simultaner Hitzebelastung und, von der Schwierigkeit der Aufgabe abhängig, für die Steuerungsleistung durch das Zusammenwirken von GKS und Kälte, wofür die gleichzeitige Beeinträchtigung der motorischen Komponente eine wahrscheinliche Erklärung liefert.

## 1 Einleitung

An vibrationsbelasteten Arbeitsplätzen, z. B. bei Führern von Transportgeräten (Kraftfahrzeuge, Bahnen, Fluggeräte) und selbstfahrenden Arbeitsgeräten (Erdbaumaschinen, Kräne, Traktoren), treten zumeist gleichzeitig weitere physikalische Belastungen wie Lärm, Kälte oder Hitze auf. Zu den

von Ganzkörperschwingungen (GKS) verursachten Beeinträchtigungen zählen außer langfristig hervorgerufenen Schädigungen der Wirbelsäule vor allem akute Störungen bei manuellen Steuerungstätigkeiten (Griffin 1990) und eine Verminderung der visuellen Leistungsfähigkeit (Griefahn et al. 1998).

Kälte führt zu einem Abfall feinmotorischer Leistungen als Folge von Vasokonstriktionen und vermindertem taktilen Diskriminanzvermögen sowie erhöhter Viskosität der Gelenkflüssigkeit (Heus et al. 1995).

Unter Hitzeeinwirkung werden vor allem Aufmerksamkeitsleistungen beeinträchtigt, aber auch Minderungen der motorischen (Ramsey 1983) und visuellen Leistung (Hohnsbein et al. 1983; 1984) wurden beobachtet.

Kombinationswirkungen von GKS bei simultaner Hitze- oder Lärmbelastung auf visuelle Leistungen wurden gelegentlich, auf feinmotorische Leistungen etwas häufiger untersucht (z. B. Grether et al. 1971; 1972; Meloni 1991). Dagegen finden sich in der Literatur keine Studien zur zusätzlichen Kältebelastung, obwohl Beeinträchtigungen der manuellen Steuerung sowie der Geschicklichkeit von Händen und Fingern durch Kälte bekannt sind (Payne 1959; Enander 1987) und die Hände kälteexponierter Personen bei sonst adäquater Bekleidung häufig ungeschützt bleiben und erheblich abkühlen (Griefahn et al. 1996).

Dieser Beitrag gibt eine Übersicht über Laborexperimente, die am *IfADo* zur Wirkung von Vibrationen auf eine Steuerungsaufgabe in Interaktion mit Kälte bzw. Hitze sowie

auf visuelle Kontrastschwellen bei simultaner Hitzebelastung durchgeführt wurden.

## 2 Methodischer Ansatz

Zur Untersuchung kombinierter physikalischer Belastungen wurde der in anderen Bereichen, wie der Pharmakologie, eingesetzte Feste-Dosis-Studienansatz adaptiert (Pöch 1993), bei dem Intensitäts-Wirkungskurven eines Stressors (hier: GKS) unter Neutralbedingungen ermittelt und mit den Kurven, die bei simultaner Applikation einer fest gewählten Dosis eines zweiten Stressors (Hitze- bzw. Kältebelastung) resultieren, mit

geeigneten statistischen Methoden verglichen werden (Hanschmann 1998). Die Versuche fanden im Klima-Schwingungslabor des *IfADO* statt, in das eine in zwei Richtungen arbeitende Hydropulsanlage zur Simulation von GKS in eine Klimakammer installiert wurde. Die applizierten Belastungen orientierten sich an der für Fahrzeuge typischen Realsituation. Die Hitzebelastungen sind durch Wärmestrahlung gekennzeichnet, die Kältebelastungen liegen im Bereich mäßiger Kälte (-5 bis 15 °C), die Schwingungen bewegen sich im Frequenzbereich bis 10 Hz mit Intensitäten (Effektivbeschleunigungen) unterhalb von  $2.5 \text{ ms}^{-2} \text{ rms}$ .

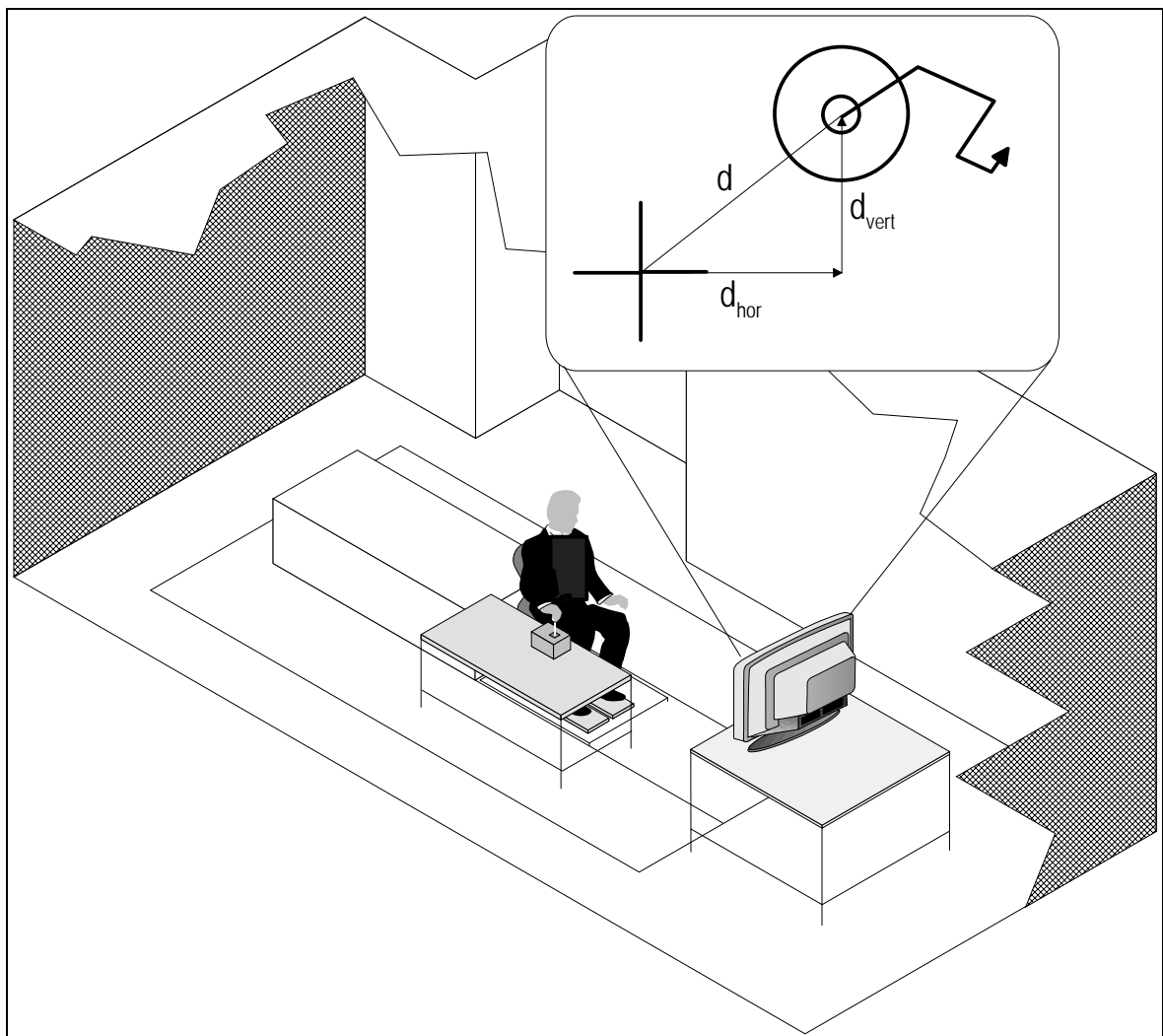


Abb. 1: Schematische Darstellung der Versuchsanordnung im Klima-Schwingungs-Labor. Das Insert zeigt die Elemente der zweidimensionalen Trackingaufgabe: Zwei konzentrische Kreise als zu verfolgendes Ziel, dessen Weg die gestrichelte Linie andeutet, und ein Kreuz als vom Probanden per Joystick gesteuerte Folgemarkierung. Die Abweichungen in horizontaler und vertikaler Dimension ( $d_{\text{hor}}$ ,  $d_{\text{vert}}$ ) sowie der daraus als euklidischer Abstand berechnete zweidimensionale Trackingfehler ( $d$ ) werden kontinuierlich erfasst.

### 3 Manuelle Steuerungstätigkeit

Die Simulation manueller Steuerungstätigkeiten erfolgte mit einer von Meloni (1991) entwickelten und am *IfADo* modifizierten Nachführ-Trackingaufgabe (Abb. 1). Zur Variation des Schwierigkeitsgrades wurde der Test zu einer Kompensationsaufgabe mit instabiler Dynamik ausgebaut, bei der sich die Kreuzmarkierung aus dem Zentrum der konzentrischen Kreise entfernt, wobei die Geschwindigkeit mit der Entfernung vom Zentrum zunimmt.

#### 3.1 Methoden

##### *Interaktion mit Kälte*

An der Studie beteiligten sich 20 männliche Probanden im Alter von 20 bis 29 Jahren, die in zwei etwa 45 Minuten dauernden Sitzungen den Nachführ-Tracking-Test jeweils 3 Minuten lang unter simultaner Einwirkung vertikaler (4.1 Hz) und sagittaler (1.6 Hz) sinusförmiger Schwingungen mit Effektivbeschleunigungen von 0.5, 1.0, 1.5 und 2.0  $\text{ms}^{-2}$  (in jeder Richtung) sowie einer Kontrollbedingung (0.0  $\text{ms}^{-2}$ ) mit der dominanten Hand durchführten. Dabei war der Joystick mit Daumen und Zeigefinger ohne Auflage der Hand zu bedienen.

Die Lufttemperatur betrug an einem Versuchstag 23 °C (Referenzbedingung), am anderen 5 °C (Kältebedingung). Die Bekleidungsisolations betrug 0.5 bzw. 1.5 clo entsprechend der nach ISO/TR 11079 zur Aufrechterhaltung des thermischen Gleichgewichts erforderlichen Bekleidung, IREQ (Parsons 1993).

Außer dem zweidimensionalen Trackingfehler, beschrieben durch den mittleren euklidischen Abstand ( $d$ , Abb. 1), wurde auch der mit den Vibrationen korrelierende Fehler in vertikaler und horizontaler Bildschirmrichtung ( $d_{\text{hor}}$ ,  $d_{\text{vert}}$ ) erfasst (Lewis & Griffin 1978), der im Leistungsspektrum der Abweichungen zwischen Ziel und Folgemarkierung an der Höhe der Peaks der Schwingungsfrequenzen (1.6 und 4.1 Hz) ablesbar war (Abb. 2).

Weiterhin schätzten die Probanden mit der von Borg (1970) für physische Beanspruchungen entwickelten Skala ihre subjektive Beanspruchung ein, und es wurden die Fingerhauttemperaturen registriert.

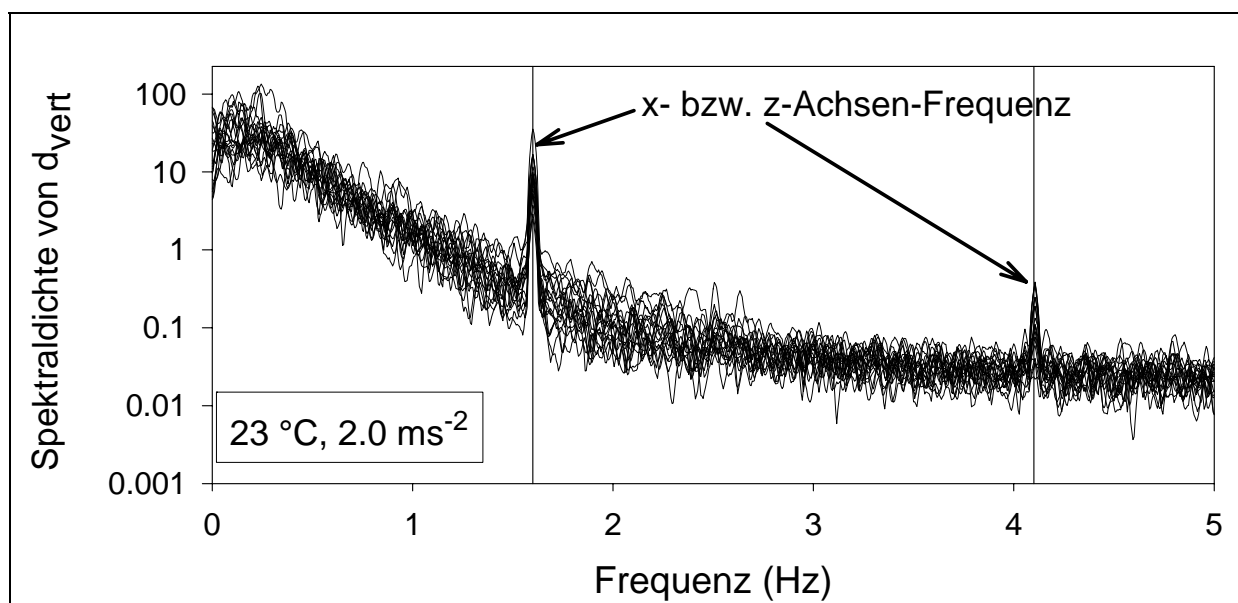


Abb. 2: Spektraldichteverteilung der vertikalen Dimension ( $d_{\text{vert}}$ ) des Trackingfehlers für 20 Probanden im Referenzklima bei Effektivbeschleunigungen von 2  $\text{ms}^{-2}$  in sagittaler (x) und vertikaler (z) Richtung. Deutlich erkennbar sind die Peaks an den zu den Komponenten der Schwingungsbelastung korrespondierenden Frequenzen von 1.6 Hz (x) und 4.1 Hz (z).

Tabelle 1: In den Versuchen zur Hitze-Schwingungsinteraktion eingestellte Werte der sechs Basisgrößen.

	Referenz	Hitze 1	Hitze 2
Lufttemperatur	23 °C	23 °C	37 °C
Strahlungstemperatur	23 °C	65 °C	65 °C
Luftgeschwindigkeit	<0,1 m/s	0,5 m/s	0,5 m/s
Feuchte	1,5 kPa	1,5 kPa	1,5 kPa
Energieumsatz	~100 W/m <sup>2</sup>	~100 W/m <sup>2</sup>	~100 W/m <sup>2</sup>
Bekleidung (Isolation)	0,5 clo	0,5 clo	0,5 clo

### Interaktion mit Hitze

In der Versuchsreihe zur kombinierten Wirkung von Hitze und GKS auf das Trackingverhalten entsprachen die Vibrationsbelastungen denen des Kälteversuchs. Die Hitzebelastungen (Tabelle 1) waren gekennzeichnet durch eine erhöhte Wärmestrahlung mit einer mittleren Strahlungstemperatur von 65 °C, einmal bei gleicher Lufttemperatur (23 °C) wie in der Neutralbedingung, einmal bei 37 °C. Im Anschluss an die Nachführaufgaben waren die Kompensationsaufgaben mit instabiler Dynamik zu absolvieren. Im Gegensatz zu den Kälteversuchen stützten die Probanden diesmal ihre Hände auf dem Joystick ab. Studienteilnehmer waren 8 Frauen und 8 Männer im Alter von 18 bis 30 Jahren. Die Abfolge der Experimentalsitzungen und der Schwingungsintensitäten war, wie auch bei den Kälteversuchen, nach einem Lateinischen-Quadrat-Plan balanciert.

## 3.2 Ergebnisse

Gemäß des gewählten Feste-Dosis-Studienansatzes werden als Ergebnisse für den zweidimensionalen und vibrationskorrelierten Trackingfehler und die subjektive Beanspruchung Intensitäts-Wirkungs-Kurven der Mittelwerte für die Schwingungsbelastung unter den verschiedenen Klimabedingungen präsentiert (Abb. 3 - 5). Tabelle 2 fasst die Resultate der mittels Varianzanalysen durchgeführten Signifikanzprüfungen zusammen.

### Interaktion mit Kälte

Sowohl zweidimensionaler (Abbildung 3, links), als auch vibrationskorrelierte Trackingfehler nahmen mit zunehmender Beschleunigung signifikant zu. Dabei war die Leistungsbeeinträchtigung für die vertikale Bildschirmrichtung, die mit vor-und-zurück-Bewegungen der Hand assoziiert war, größer als in horizontaler Bildschirmrichtung (Abb. 4, oben). Auch die subjektive Beanspruchung stieg signifikant mit der Vibrationsbelastung an (Abb. 5, links). Die Kälte hingegen wies nur einen marginalen, wenn auch statistisch signifikanten Effekt auf die subjektive Beanspruchung und den vibrationskorrelierten Fehler in vertikaler Dimension auf (Tabelle 2).

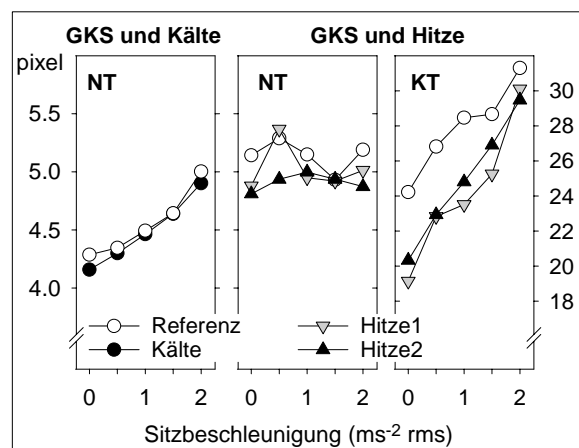


Abb. 3: Zweidimensionaler Trackingfehler (Mittelwerte) in Relation zur Schwingungsintensität bei zusätzlicher Kälte- (links) und Hitze-Belastung (Mitte, rechts) für die Nachführ (NT) und kompensatorische (KT) Trackingaufgabe

Tabelle 2: Ergebnisse der Varianzanalysen für die subjektive Beanspruchung sowie den zweidimensionalen und vibrationskorrelierten, in horizontaler und vertikaler Dimension registrierten Trackingfehler aufgeschlüsselt nach den Versuchsreihen mit Nachführ- (NT) und kompensatorischer (KT) Aufgabe. Angegeben sind die für die Faktoren Klima, Schwingungsbelastung (GKS) und deren Interaktion ermittelten p-Werte (+:p<0.1, \*:p<0.05, \*\*:p<0.01).

Versuchsreihe	Belastungsfaktor	Trackingfehler			Subjektive Beanspruchung
		2-dimensional	vibrationskorreliert		
			horizontal	vertikal	
GKS und Kälte (NT)	Klima			*	*
	GKS	**	**	**	**
	Klima*GKS				
GKS und Hitze (NT)	Klima				**
	GKS		**	**	**
	Klima*GKS				
GKS und Hitze (KT)	Klima	+			**
	GKS	**	**	**	**
	Klima*GKS				

### **Interaktion mit Hitze**

Die Auswertungen der Hitzeversuche zeigten, mit Ausnahme des zweidimensionalen Fehlers bei der Nachführaufgabe, eine mit der Vibrationsintensität ansteigende Zunahme des Trackingfehlers (Abb. 3, 4). Die Hitzebelastung führte zu keiner Zunahme des Trackingfehlers; für den zweidimensionalen Fehler bei der kompensatorischen Aufgabe war sogar ein Trend zur Leistungsverbesserung zu beobachten (Tabelle 2). Dagegen stieg die subjektiv geäußerte Beanspruchung sowohl mit der Schwingungs- als auch der Hitzebelastung signifikant an und war, wie auch der Trackingfehler, höher für die kompensatorische im Vergleich zur Nachführaufgabe (Abb. 5).

Ein Vergleich der in der Kältestudie bei 23 °C durchgeführten Nachführaufgaben (ohne Handauflage) mit den entsprechenden Versuchen der Hitzestudie (mit Handauflage) zeigte, dass die Handauflage zu einer deutlichen Verringerung des vibrationskorrelierten Trackingfehlers in vertikaler Dimension führte (Abb. 4) und beim zweidimensionalen Fehler die Schwingungsabhängigkeit verschwinden ließ (Tabelle 2). Auch die subjektive Beanspruchung war mit der Handauflage geringer (Abb. 5).

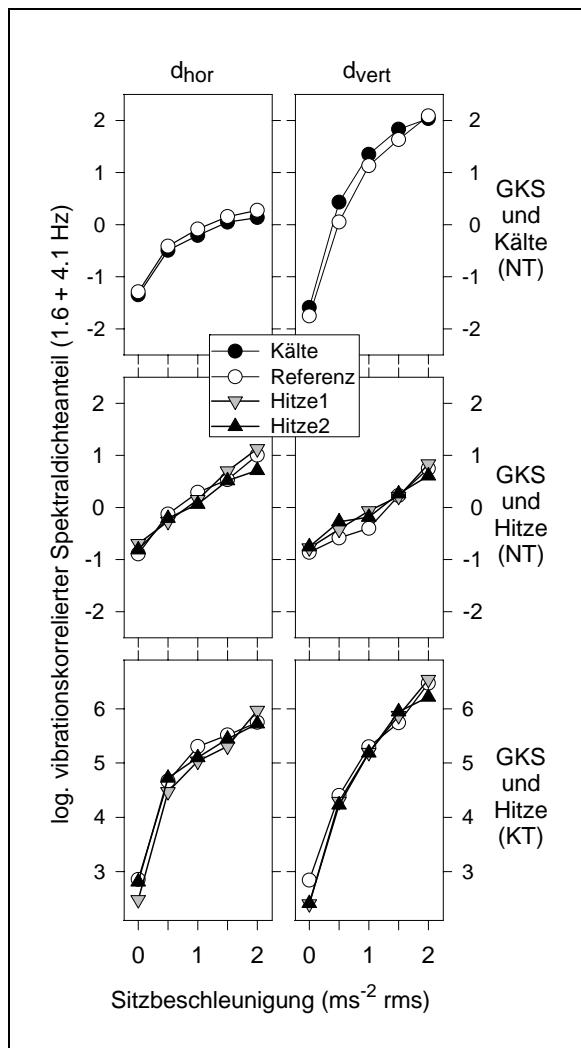


Abb. 4: Vibrationskorrelierter Trackingfehler für die horizontale ( $d_{hor}$ ) und vertikale ( $d_{vert}$ ) Trackingdimension in Relation zur Schwingungsintensität bei zusätzlicher Kälte- und Hitzebelastung

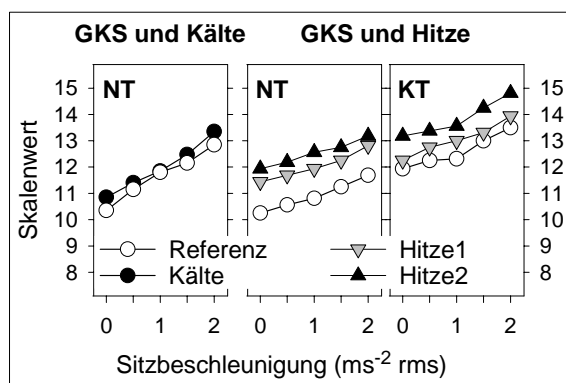


Abb. 5: Subjektive Beanspruchung in Relation zur Schwingungsintensität bei zusätzlicher Kälte- (links) und Hitze-Belastung für die Nachführ (NT) und kompensatorische (KT) Trackingaufgabe

## 4 Visuelle Leistung

Die Untersuchungen zur Veränderung der visuellen Leistung durch die Kombinationsbelastung durch GKS und Hitze erfolgten mit wesentlicher methodischer Unterstützung des Projektes „Visuelle Beanspruchung, Wahrnehmung und Handlung“.

Als Maß für die Sehleistung wurden visuelle Kontrastschwellen für horizontale Gittermuster hoher Ortsfrequenz bestimmt, die als sensitiver Indikator für Sehleistungsminderungen gelten (Rabin 1994) und für die Wirkungen sowohl von GKS (Griefahn et al. 1998) als auch von trocken-heißer und feucht-warmer Hitzebelastung (Hohnsbein et al. 1983) schon gezeigt wurden.

### 4.1 Methoden

Die Bestimmung der visuellen Kontrastschwellen erfolgte psychometrisch mittels einer Zweifach-Wahlreaktions-Aufgabe (Abb. 6). Dazu wurde auf der rechten oder linken Hälfte eines Computerbildschirms ein horizontales Gittermuster hoher Ortsfrequenz (13.3 Zyklen pro Sehwinkelminute, Sehabstand 1 m) präsentiert, dessen Erkennen der Proband durch Drücken der entsprechenden Taste quittieren musste. Die Prozedur wiederholte sich innerhalb eines etwa 4 Minuten dauernden Durchgangs 100-mal, jeweils 10-mal für 10 verschiedene Kontraststufen. Aus dem prozentualen Anteil korrekter Antworten bei jeder Kontraststufe ergab sich für jeden Durchgang eine psychometrische Funktion, wie auf der rechten Seite von Abb. 6 dargestellt, aus der durch Anpassung einer Weibull-Kurve die Kontrastschwelle  $\alpha$  als Lage des Wendepunkts ermittelt wurde.

Insgesamt 16 Probanden mit normalem Visus (8 w, 8 m, 21-32 Jahre) absolvierten je zwei 2-stündige Versuche, einen bei einer Lufttemperatur von 23 °C (Referenzklima), den anderen unter einer Hitzebelastung, die identisch zur höheren Belastung aus den Tracking-Versuchen (Tabelle 1) gewählt wurde, und zwar mit einer auf 37 °C erhöhten Lufttemperatur und zusätzlicher Wärme-

strahlung (mittlere Strahlungstemperatur 65 °C). Während der zweiten Expositionsstunde wurden acht Mal psychometrisch die visuellen Kontrastschwellen bestimmt. Dabei waren die Probanden sitzend biaxialen sinusförmigen (8 Hz) Schwingungen in der Sagittal(x)- und Vertikal(z)-Ebene mit Effektivbeschleunigungen von 0.0 bis 2.1 ms<sup>-2</sup>,

in beiden Richtungen gemessen, ausgesetzt. Neben der Sehleistung wurden triaxial die Beschleunigungen am Sitz und an der Stirn sowie Haut- und Rektaltemperaturen und die subjektive Beanspruchung aufgezeichnet. Die Abfolge der Klimabedingungen und der Schwingungsintensitäten erfolgte balanciert.

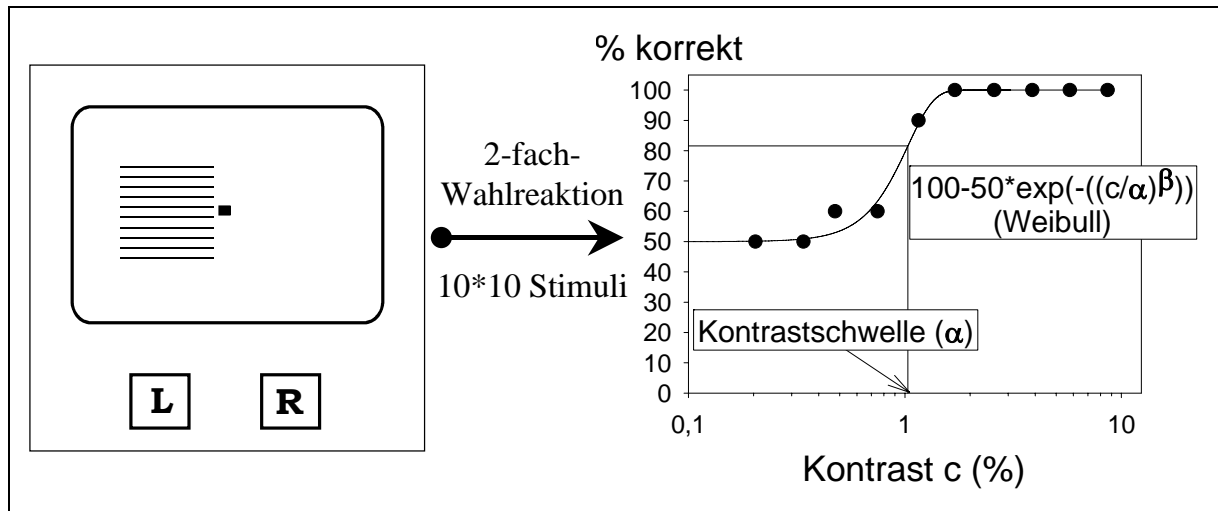


Abb. 6: Psychometrische Bestimmung visueller Kontrastschwellen (siehe Text)

## 4.2 Ergebnisse

Die Hitzebelastung führte, unabhängig von der Schwingungsintensität, zu einer deutlichen Erhöhung der Körperkerntemperatur um durchschnittlich etwa 0.7 °C. Die mit steigender Sitzbeschleunigung zunehmenden Kopfbewegungen wurden überwiegend in der Sagittal-Vertikal-Ebene registriert (Abb. 7), wobei der Übertragungsfaktor der Sitzbeschleunigungen zum Kopf in beiden Klimabedingungen einen deutlich unterschiedlichen Verlauf zeigte (Abb. 8). Während im Referenzklima die an der Stirn gemessene Beschleunigung im Sinne eines linearen Systems proportional zur Sitzbeschleunigung anstieg, der Übertragungsfaktor also konstant blieb, zeigte sich unter Hitzebelastung ein nicht-lineares Verhalten mit einem mit der Sitzbeschleunigung ansteigenden Übertragungsfaktor, der bei der höchsten Sitzbeschleunigung signifikant größer war als im Referenzklima.

Einen mit der Übertragung der Schwingungen zum Kopf kovariierenden, ansteigenden

Verlauf zeigten die ermittelten Kontrastschwellen (Abb. 8), die sich signifikant im Mittel von 1.4 % bei ruhendem Sitz auf 3.1 % bei der höchsten Schwingungsintensität erhöhten. Dieser Anstieg war unter Hitzebelastung größer als im Referenzklima, jedoch erreichte der Unterschied zwischen beiden Klimabedingungen nur für die höchste Schwingungsbelastung eine geringe statistische Signifikanz.

Eine generelle Hitzewirkung auf die visuellen Kontrastschwellen war sowohl varianzanalytisch, wie in Abb. 8 gezeigt, als auch durch die in Abb. 9 dargestellte Korrelation der Veränderung der Kontrastschwellen zur Differenz der Rektaltemperaturen bei Abwesenheit der Schwingungsbelastung nicht zu belegen.

Im Gegensatz zu den Tracking-Versuchen ergab sich für die subjektive Beanspruchung zwar ein Anstieg mit der Schwingungsintensität, jedoch kein Unterschied zwischen den Klimabedingungen (Abb. 7).

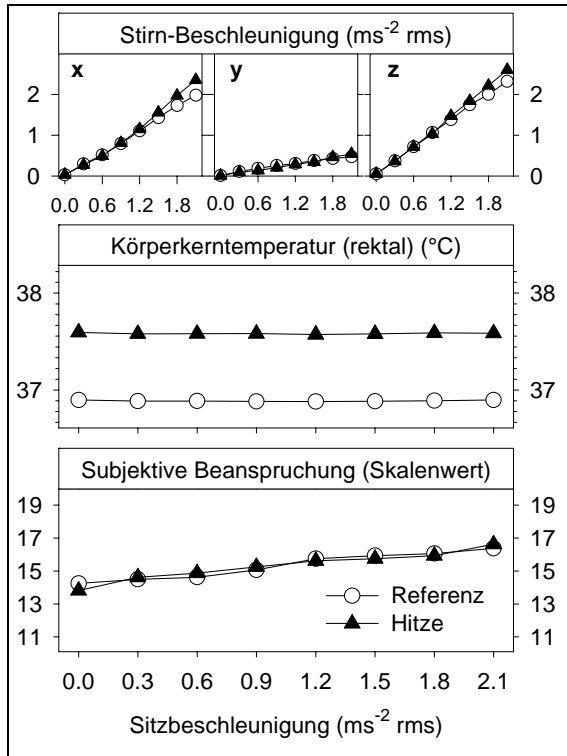


Abb.7: Visuelle Kontrastschwellen: Mittelwerte der subjektiven Beanspruchung, Körperkerntemperatur sowie der in sagittaler (x), lateraler (y) und vertikaler (z) Richtung registrierten Stirnbeschleunigung

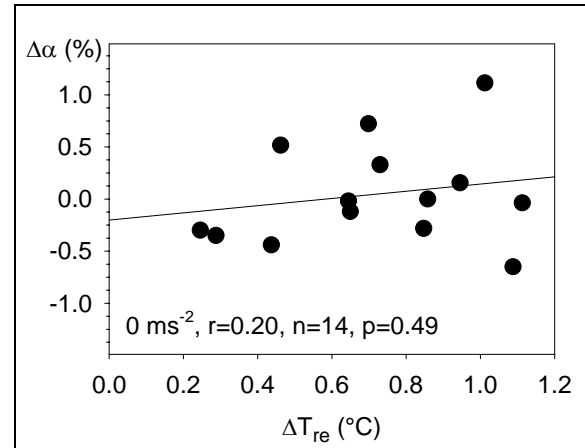


Abb. 9: Differenz der Kontrastschwellen ( $\Delta\alpha$ ) ohne Schwingungsbelastung ( $0 \text{ ms}^{-2}$ ) bei Hitze und im Referenzklima in Relation zur Differenz der Rektaltemperaturen ( $\Delta T_{re}$ ). Daten von 14 Probanden mit Regressionsgerade, Korrelationskoeffizient ( $r$ ) und Signifikanzniveau ( $p$ )

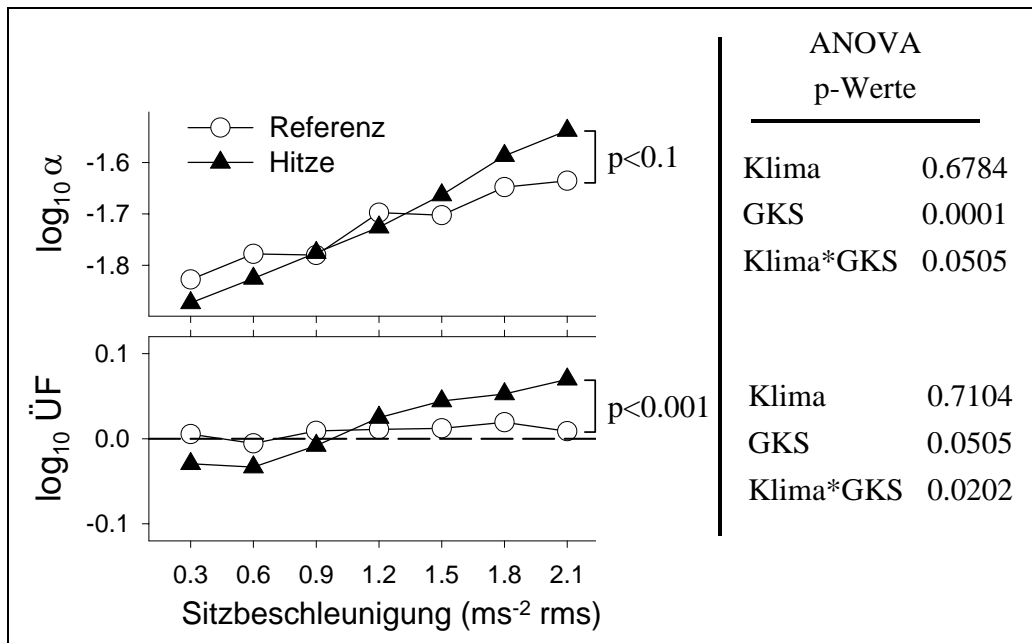


Abb. 8: Kovariation von Kontrastschwellen ( $\alpha$ ) und Schwingungsübertragung zum Kopf, hier dargestellt als Übertragungsfaktor ( $\ddot{U}F$ ), der als Quotient aus den vektoriell addierten, in der sagittal-vertikal-Ebene registrierten Effektivbeschleunigungen an Stirn und Sitz gebildet wurde. Die Tabelle rechts zeigt als Ergebnis der Varianzanalyse für Messwiederholungen die für die Faktoren Klima, Schwingungsbelastung (GKS) und deren Interaktion ermittelten p-Werte.

## 5 Diskussion

Zusammenfassend ist zunächst festzustellen, dass der hier zur Untersuchung kombinierter physikalischer Belastungen adaptierte Feste-Dosis-Studienansatz (Pöch 1993) eine umfassendere Betrachtung von Kombinationswirkungen erlaubt als ein faktorielles Design, das nur Wirkungen weniger, meist extrem gewählter Belastungsstufen untersucht (Grether et al. 1971; 1972).

Die Ergebnisse zeigen, dass bei den untersuchten Belastungskombinationen von Ganzkörperschwingungen und Hitze oder Kälte die Beeinträchtigungen der manuellen Steuerungstätigkeiten und der Sehleistung wesentlich von der Schwingungsintensität bestimmt werden.

Auf der anderen Seite ergibt sich unter Kombinationsbelastung eine teilweise deutliche Steigerung der subjektiv eingeschätzten Beanspruchung, sofern die Arbeitsaufgabe einfache sensorische Anforderungen übersteigt. Daraus lässt sich folgern, dass Kompensationsmechanismen auf Kosten einer Beanspruchungserhöhung eine Leistungsminderung verhindern können.

Die Studie zur Interaktion von GKS und Kälte auf die Trackingleistung gibt Hinweise auf Grenzen der Kompensationsmöglichkeiten. Diese können zum einen in der Schwierigkeit der Arbeitsaufgabe liegen, da eine verstärkte Leistungsminderung unter Kombinationsbelastung nur für die schwieriger zu bewältigende vertikale Tracking-Dimension zu beobachten war. Zum anderen scheinen Kombinationswirkungen dann eher offenbar zu werden, wenn durch die Einzelbelastungen gleiche oder ähnliche (Sub-)Systeme betroffen werden. Bezogen auf die Trackingaufgabe mit ihren sensorischen, verarbeitenden und motorischen Komponenten bedeutet dies, dass die eher die Informationsverarbeitung beeinträchtigende Hitzebelastung im Zusammenwirken mit der hauptsächlich auf die motorische Komponente wirkende

Schwingungsbelastung nicht zu einer größeren Leistungsminderung führt, während die ebenfalls auf die motorische Antwort wirkende Kältebelastung zusammen mit GKS zu einer verstärkten Beeinträchtigung der Trackingleistung führen kann. Weitergehende statistische Analysen der Intensitäts-Wirkungs-Kurven aus Abb. 4 (rechts oben) nach dem Feste-Dosis-Studienansatz (Hanschmann 1998) bestätigen dies insofern, als dass die nach links verschobene Kurve für die Kombinationsbelastung am besten durch ein (Dosis-) Additivitätsmodell erklärt wird, das für das Vorliegen gleichartig, d. h. am gleichen System (z. B. Rezeptor) wirkender Belastungsfaktoren charakteristisch ist (Pöch 1993).

Die Abhängigkeiten der Kombinationswirkungen von der Arbeitsaufgabe zu quantifizieren und die sich in der subjektiven Beanspruchung andeutenden Kosten für die Kompensation von Kombinationsbelastungen durch entsprechende Parameter physiologischer Beanspruchung zu objektivieren, bleibt eine Aufgabe für gegenwärtige und zukünftige Arbeiten.

## Danksagung

Forschung zu Kombinationswirkungen ist inhärent interdisziplinär und bedarf der Unterstützung vieler. Von daher gebührt folgenden Personen Dank für ihre Hilfe bei der vorliegenden Arbeit in unterschiedlichen Bereichen: Ewald Alshuth, Peter Andorf, Stefan Assmann, Matthias Bonacker, Prof. Dr. Barbara Griefahn, Kay Hanschmann, Dr.-Ing. Wolfgang Jaschinski, Hermann Klaus.

## Literatur

Borg G (1970). Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehabil Med* 2: 92-98.

Enander A (1987). Effects of moderate cold on performance of psychomotor and cognitive tasks. *Ergonomics* 30: 1431-1445.

Grether WF, Harris CS, Mohr GC, Nixon CW, Ohlbaum M, Sommer HC, Thaler VH, Veghte JH (1971). Effects of combined heat, noise and vibration stress on human performance and physiological functions. *Aerospace Med* 42: 1092-1097.

Grether WF, Harris CS, Ohlbaum M, Sampson PA, Guignard JC (1972). Further study of combined heat, noise and vibrations stress. *Aerospace Med* 43: 641-645.

Griefahn B, Forsthoff A, Bröde P (1996). Heart rates, rectal and skin temperatures recorded during work in moderate cold. *Centr Europ J Occup Environ Med* 2: 146-157.

Griefahn B, Bröde P, Jaschinski W (1998). Visuelle Kontrastschwellen und binokulare Fixation unter Einwirkung monaxialer und biaxialer sinusoidaler Ganzkörperschwingungen. *Z Arbeitswiss* 52 (24 NF): 1-6.

Griffin MJ (1990). Handbook of human vibration. London: Academic Press.

Hanschmann KMO (1998). Statistische Analyse der kombinierten Wirkung von Kälte und Ganzkörperschwingungen auf die manuelle Steuerungstätigkeit. Dortmund, Univ., Fachbereich Statistik, Diplomarbeit.

Heus R, Daanen HAM, Havenith G (1995). Physiological criteria for functioning of hands in the cold. *Appl Ergonomics* 26: 5-13.

Hohnsbein J, Piekarski C, Kampmann B (1983). Influence of high ambient temperature and humidity on visual sensitivity. *Ergonomics* 26: 905-911.

Hohnsbein J, Piekarski C, Kampmann B, Noack T (1984). Effects of heat on visual acuity. *Ergonomics* 27: 1239-1246.

Lewis CH, Griffin MJ (1978). A review of the effects of vibration on visual acuity and continuous manual control, Part II: Continuous manual control. *J Sound Vibr* 56: 415-457.

Meloni TM (1991). Wahrnehmung und Empfindung von komplexen, kombinierten Belastungen durch Vibrationen und Schall. Zürich: ETH Zürich, Diss.

Parsons KC (1993). Human thermal environments. London: Taylor & Francis.

Payne RB (1959). Tracking proficiency as a function of thermal balance. *J Appl Physiol* 14: 387-389.

Pösch G (1993). Combined effects of drugs and toxic agents - modern evaluation in theory and practice. Berlin: Springer-Verlag.

Rabin J (1994). Optical defocus: Differential effects on size and contrast letter recognition thresholds. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 35: 646-648.

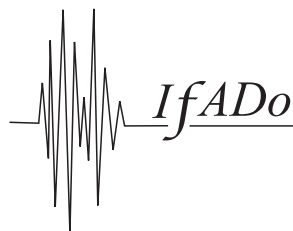
Ramsey JD (1983). Heat and cold. In: Hockey R (Ed.): Stress and fatigue in human performance (pp 33-60). New York: Wiley.

# Arbeitsphysiologie *heute*

## Bd. 2 (2000)

Herausgegeben von

H.M. Bolt  
B. Griefahn  
H. Heuer  
W. Laurig



**Dortmund**

---

ISBN 3-00-005984-9

Alle Rechte vorbehalten.

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

Druck: Koffler-Druck, Dortmund

Printed in Germany

---

# Vorwort

Im Rahmen der Projektplanungen im *IfADo* wurden in einem moderierten Workshop im Laufe des Jahres 1998 übergreifende Themengebiete identifiziert, die für die mittel- und langfristige Projektplanung des Instituts von Bedeutung erscheinen. In diesem Zusammenhang wurde festgestellt, dass die Thematik von Kombinationswirkungen im Institut interdisziplinär bearbeitet werden sollte.

Eine weitere Vertiefung der internen Diskussion erfolgte in einem Workshop „Kombinationswirkungen“, der am 16.04.1999 im Institut stattfand und der erstmals Beiträge aus verschiedenen Projekten und Fachdisziplinen des Instituts für eine übergreifende Betrachtung vereinte. In der Aufarbeitung dieser Diskussion entstand der Vorschlag, die Ergebnisse des Workshops weiter zu vertiefen und in dem hiermit vorgelegten 2. Jahresband unserer Schriftenreihe „Arbeitsphysiologie heute“ niederzulegen.

Mit diesem Vorlauf ist der vorgelegte Band einem übergreifenden Generalthema gewidmet. Er soll einerseits Diskussionen aus dem Institut nach außen anregen, andererseits aber auch dazu dienen, die interne Diskussion des Themas von Kombinationswirkungen weiter zu fördern.

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