

**Schlüsselwörter:** Temperatur, Leistungsfähigkeit, Büroarbeit, Leistungstests, Produktivität

Zahlreiche frühere Forschungen haben herausgefunden, dass die menschliche Leistungsfähigkeit von der Raumtemperatur abhängt. Seppänen et. al. haben aus Literaturdaten die Leistungsfähigkeit bei Büroarbeiten in einer einheitlichen Kurve dargestellt, die weitgehend akzeptiert wurde.

Eine neue Studie von Hellwig et al. (2012) im Auftrag der BauA ergibt nun, dass die Temperatur auf die Leistungsfähigkeit keinen Einfluss hat. Dazu wird kritisch Stellung genommen.

### Performance at different ambient temperatures

**Keywords:** Temperature, performance, office work, performance tests, productivity

Numerous earlier investigations showed that the human productivity depends on the temperature environment. Seppänen et. al. published a diagram of the relation which is widely accepted.

A new study by Hellwig et al. (2012) on behalf of BauA now has the result that the temperature has no influence on the performance. This is critically discussed.



#### Autor

Prof. Dr.-Ing.  
Klaus Fitzner, Berlin

# Leistungsfähigkeit bei unterschiedlichen Raumtemperaturen

## Diskussionsbeitrag zur HESO-Studie<sup>1)</sup>

### Einleitung

Es gab in der Vergangenheit viele Untersuchungen, mit denen durch objektive Versuchsmethoden herausgefunden werden sollte, wie die menschliche Leistungsfähigkeit abhängt von der (operativen) Raumtemperatur. Einige der älteren Arbeiten wurden schon früher zusammengefasst (Fitzner 2007).

In einer umfangreichen Literaturstudie haben Seppänen et. al. (2008) versucht, aus neueren Literaturdaten die Leistungsfähigkeit bei Büroarbeiten durch eine einheitliche Kurve darzustellen. Abb. 1 zeigt das Ergebnis, das bisher allgemein anerkannt wurde.

Aus einer neuen Studie von Hellwig et al. (2012)<sup>1)</sup> im Auftrag der BauA<sup>2)</sup> ergibt sich nun das nicht erwartete Ergebnis, dass die Temperatur auf die Leistungsfähigkeit keinen Einfluss hat. Die Studie sollte eine Rechtfertigung sein für die in der neuen Arbeitsstättenregel „Raumtemperatur“ ASR A 3.5 (2010) zugelassenen hohen Temperaturen. Die Studie verursachte in der Klimabranche große Aufregung. Stahl (2012) beschrieb sie in der CCI mit der Überschrift „Der Klima-Effizienz-Schock“ und viele Fachleute erklärten ihr Unverständnis (CCI 12/12;13/12).

Bei der DKV-Jahrestagung 2012 in Würzburg wurde deshalb spontan Frau Prof. Hellwig zu einem Vortrag über die Arbeit eingeladen.

Ich sollte dazu als Koreferent aus der Literatur bekannte Schwierigkeiten darstellen, objektive Ergebnisse für diese Frage durch Versuche zu erhalten. Außerdem sollte auf die Interpretation der Versuchsergebnisse selbst eingegangen werden.

Schädlich berichtete darüber in der CCI (2013) mit der Überschrift: „Es bleiben viele Fragezeichen“. Die Fragezeichen sollen hier beschrieben werden.

### Ältere Arbeiten zum Thema Leistungsfähigkeit/Temperatur<sup>3)</sup>

In den 1950er Jahren wurden zahlreiche umfangreiche Untersuchungen auf Kriegsschiffen (Mackworth 1941-1950), in Industriehallen und in ähnlichen nicht unbedingt immer typischen Telegrafestationen (Viteles; Smith 1946), Industriehallen und ähnliche nicht unbedingt immer typische Büroumgebungen bei unbehaglichen Bedingungen (Temperatur, Lärm, Beleuchtung) gemacht. Darüber wurde ein Überblick (Fitzner 2007) gegeben. Die umfangreichen Arbeiten gehen sehr gründlich auf die Versuchsmethoden selbst ein. Danach wird die Leistungsfähigkeit von Personen von vielen Faktoren beeinflusst, durch die Umgebung (Büro, Werkstatt), Geräusche, Beleuchtung, Versuchsdauer, Luftqualität, repräsentative Auswahl der Probanden im Hinblick auf ihre

- Fähigkeiten, Gesundheit, Alter, Belastbarkeit.

- Motivation; Leistungsanreize; Kleidung.

Hier sollen die Ergebnisse wiedergeben werden, die Aussagen über den Einfluss der Versuchsdauer und der Probandenauswahl machen.

Abb. 2 zeigt aus einer Untersuchung von Mackworth (1950) Fehler bei Telegrafearbeit von Probanden mit unterschiedlichen Befähigungen bei unterschiedlichen Raumtemperaturen. Zunächst zur Temperaturskala: Die Versuche wurden bei einer Luftgeschwindigkeit von 0,5 m/s und sehr geringer Bekleidung (ca. 0,3 clo) gemacht. Die Skala muss um etwa 6 K nach rechts verschoben werden, um bei Bürobedingungen zu gelten. 36°C in diesem Diagramm entsprechen 30°C bei normaler Bürokleidung und Luftgeschwindigkeit im Behaglichkeitsbereich. Die einzelnen Kurven stellen die Befähigungen der Probanden dar. Die Befähigung der Probanden wird mit „best“, „very good“ und „competent“ bezeichnet, was man vielleicht am besten mit „exzellent“, „sehr gut“ und „gut“ übersetzen kann. Aus einer Gruppe von 9 Probanden wurden die drei schlechtesten, die drei besten und die

1 Mit Google: HESO Projekt F 2039

2 BauA: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin



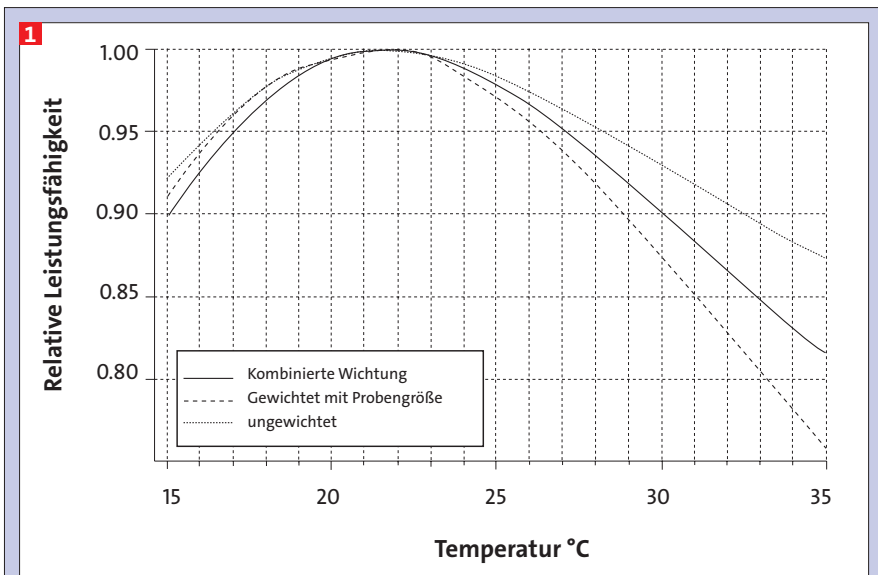
**KI** Kälte · Luft ·  
**Klimatechnik**  
INGENIEURWISSEN IN FORSCHUNG UND PRAXIS



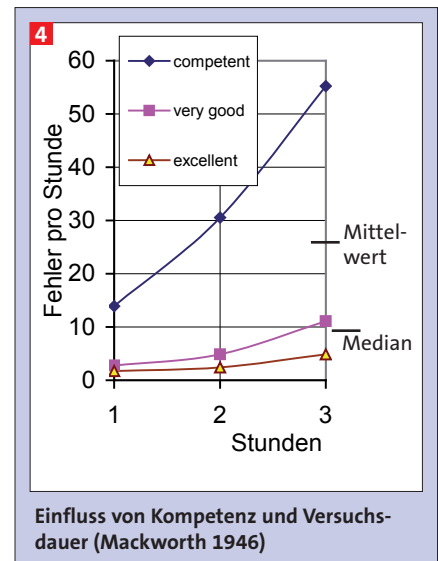
Entdecken Sie weitere interessante  
Artikel und News zum Thema auf  
[ki-portal.de](http://ki-portal.de)!

**Hier klicken & informieren!**





Leistungsfähigkeit bei Büroarbeit bei unterschiedlichen Temperaturen (Seppänen et. al. 2008)



Einfluss von Kompetenz und Versuchsdauer (Mackworth 1946)

drei mittleren ausgewählt. Man erkennt, dass die exzellenten Probanden durch hohe Temperaturen in ihrer Leistungsfähigkeit überhaupt nicht beeinflusst werden. Man darf also bei der Auswahl der Probanden nicht nur besonders befähigte Personen berücksichtigen, sondern die ausgewählten Probanden müssen möglichst gut durchschnittliche, im Fall der HESO-Studie, Büroangestellte repräsentieren. Hier liegt die erste Schwierigkeit für solche Untersuchungen, vor allem, wenn das Ergebnis für alle Arbeitsplätze in Büros angewendet werden soll.

Abb. 3 zeigt, wie die Fehler der Probanden mit der Temperatur zunehmen. Ab 32 °C (umgerechnet aus 38 °C) ist ein Einfluss der Versuchzeit zu erkennen. Nach ein und zwei Stunden Versuchzeit ist ein geringer Anstieg zu erkennen, nach drei

Stunden werden mehr als dreimal so viele Fehler gemacht. Bei Mackworth laufen die Leistungsbestimmungen während des gesamten Versuchs, also nicht nur in einigen Versuchsabschnitten.

In einer anderen Auftragung in Abb. 4 wird der Einfluss von Kompetenz und Versuchsdauer bei 29 °C dargestellt. Man erkennt, dass nur bei den „guten“ (competent, im Klartext: bei den schlechten) Probanden ein sehr starker Einfluss auf die Leistungsfähigkeit zu beobachten ist.

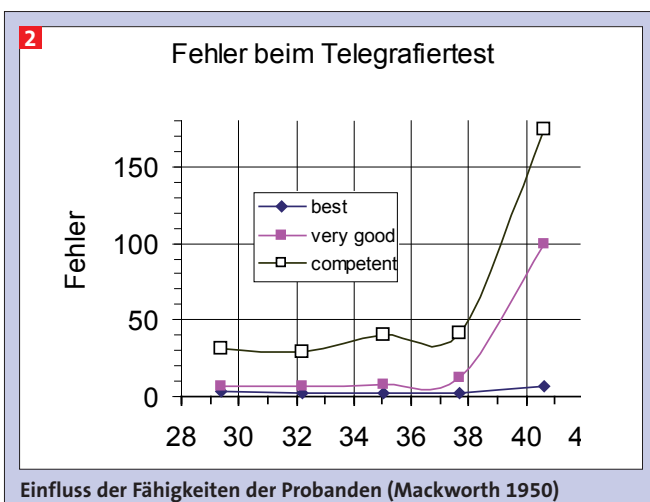
Hier taucht noch eine andere Frage auf. Bei den meisten Untersuchungen werden die Mittelwerte der Messergebnisse angegeben. Bildet man Mittelwerte und Median für dieses Beispiel in Abb. 4, dann zeigt sich, dass der Median viel kleinere Werte ergibt als der Mittelwert. Beim Beispiel Abb. 4 für 3 Stunden ergibt sich ein Mittelwert von 27 bei einem

Median von 11. Es fragt sich allerdings, ob das verallgemeinert werden kann. Wenn die Minimal- und Maximalwerte etwa gleichen Abstand vom Median haben, besteht kein großer Unterschied zwischen Mittelwert und Median.

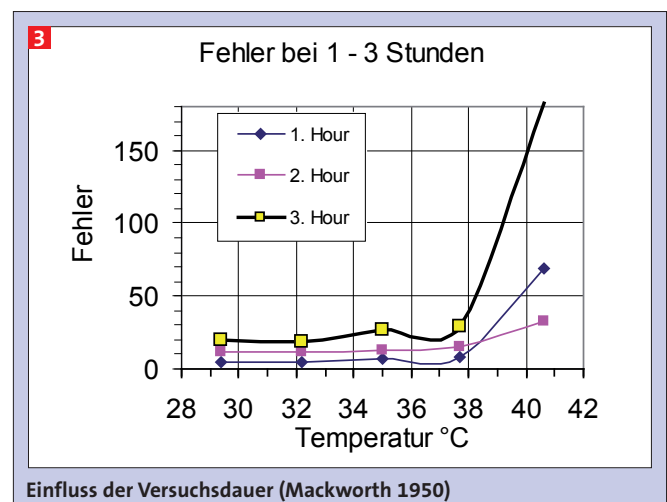
Mackworth erwähnt, dass eine Unterbrechung des Testes neue Aufmerksamkeit erregt und die Leistung ansteigt, um dann im Verlauf einer halben Stunde wieder abzuklingen.

### Neuere Untersuchungen zum Thema Leistungsfähigkeit/Temperatur

Abb. 5 zeigt beispielhaft neuere Versuchsergebnisse von Li Lan et al. (2008), die die Schwierigkeiten deutlich machen, den Einfluss der Temperatur auf die Leistungsfähigkeit zu ermitteln. Im Temperaturbereich von 16 bis 32 °C werden für neun unterschiedliche Tests die Ergebnisse wiedergegeben als bezogene Werte von -10 bis +10 für „correct ratio“ oder „memory capacity“. Die Tests lauten

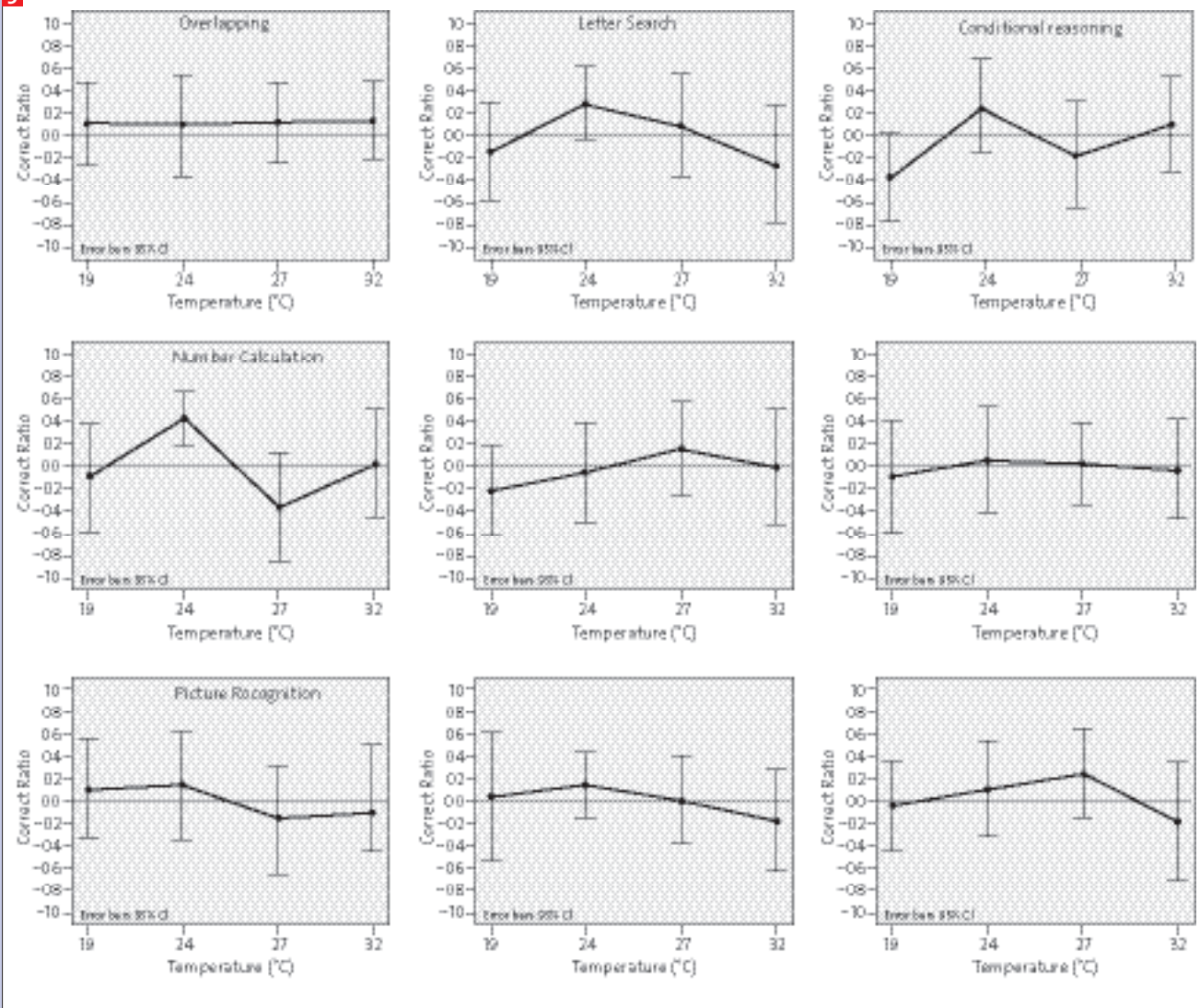


Einfluss der Fähigkeiten der Probanden (Mackworth 1950)



Einfluss der Versuchsdauer (Mackworth 1950)

5



Versuchsergebnisse für den Temperatureinfluss auf die Leistung von Li et al. (2008)

“overlapping“, “letter search“, “conditional reasoning“, “number calculation“, “spatial image“, “memory span“, “picture recognition“, “single digit modality test“, “visual choice“.

Im einzelnen soll auf die Ergebnisse nicht eingegangen werden, aber sie sind charakteristisch auch für alle anderen früheren Untersuchungen und zeigen den Einfluss der unterschiedlichen Fragestellungen.

Wenn man nun annimmt, dass die abgefragten Fähigkeiten im Mittel repräsentativ sind für Büroarbeit und die gezeigten Ergebnisse einfach mittelt und den 24°C-Wert auf null setzt, ergeben sich die in Abb. 6 dargestellten Verläufe. Man sieht vor allem schon bei der Temperatur von 27°C einen größeren Einbruch der Leistungsfähigkeit als nach Abb. 1 zu erwarten wäre.

Ähnliche Schwierigkeiten bei der Versuchsdurchführung und Auswertung berichten Tanabe et al. (2004) und empfehlen statt der Fehlerauswertung die Messung der Hämoglobinoxidation mit einem Lasermessgerät an den Stirnflächen der Probanden. Sie schreiben: „It is difficult to evaluate the effect of thermal environment on productivity by measuring only task performance.“

**Zur HESO-Studie-Studie, Projekt F 2039 (Hellwig, et al. 2008)**

**Kompetenz der Probanden**

Bei der Diskussion der Studie bei der DKV-Jahrestagung 2012 mit Frau Hellwig ergab sich, dass bei der Auswahl der Probanden die besseren ausgewählt wurden. Das kann bereits ein Teil der Erklärung sein, weshalb der Leistungsabfall

bei hohen Temperaturen nicht eintrat.

**Versuchsdauer**

Abb. 7 zeigt das Ablaufschema der Versuche. Nach einer simulierten Büroarbeitszeit, während der keine Beurteilungen vorgenommen werden, von 45 min werden subjektive Beurteilungen abgefragt. Danach schließt sich eine 30 minütige Testphase an, u.s.w. wie auf Abb. 7 dargestellt. Die eigentlichen Testphasen sind jeweils also nur 27 bzw. 30 Minuten lang und finden nicht während der gesamten Dauer des Versuchs statt. Es müsste geprüft werden, ob die vorangegangene simulierte Büroarbeit so wirkt, als wäre der Test permanent vom Anfang bis Ende des Versuchs durchgeführt worden. Die Aussage von Mackworth, dass eine Unterbrechung einen Versuchsneubeginn darstellt, lässt daran zweifeln. Ein großer Teil der Ergebnisse der HESO-

Studie stimmt mit den Ergebnissen früherer Studien überein. Sie sollen im folgenden aufgezählt werden.

### Physiologische Messgrößen

Die physiologischen Messgrößen zeigen den erwarteten Verlauf. Hauttemperatur, Hautfeuchte, Herzfrequenz und Trinkmenge steigen mit der Lufttemperatur an.

### Subjektive Befindlichkeit

Verschiedene Komponenten der „Subjektiven Befindlichkeit“ werden am Ende der Messzeitpunkte (MZP) abgefragt. Die Ergebnisse entsprechen ebenfalls der Erwartung: Die Anstrengungsbereitschaft sinkt, die Schläfrigkeit steigt an; die Erholtheit, die Spannungslage, die thermische Behaglichkeit und das Leistungsempfinden sinken.

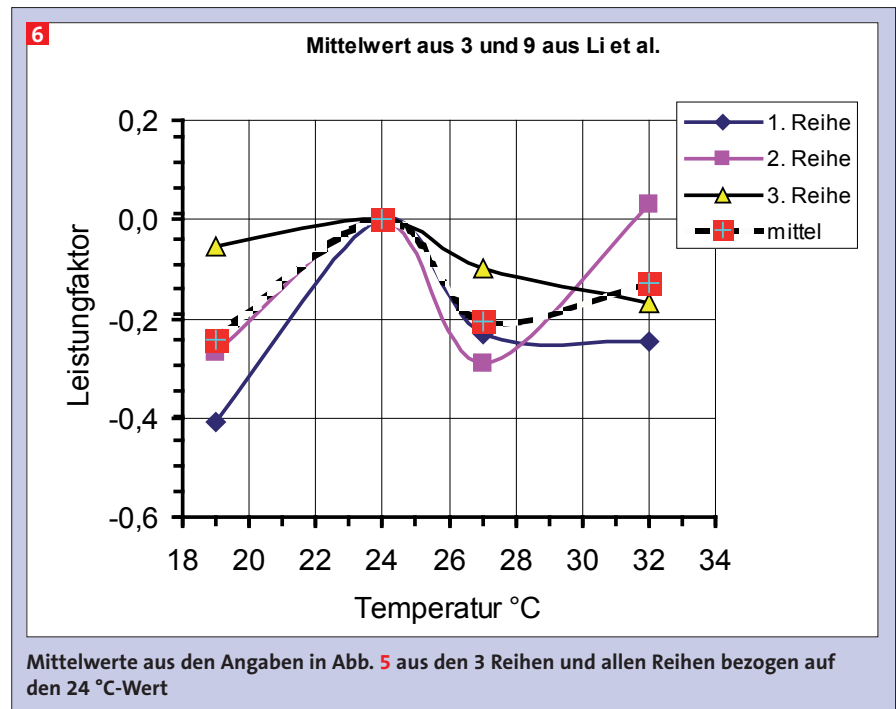
Anders soll es bei den Messergebnissen zur „objektiven Leistungsfähigkeit“ aussehen.

### Objektive Leistungsfähigkeit

Bei den ermittelten „objektiven Leistungsfähigkeiten“ sollen Abweichungen vom erwarteten Ergebnis auftreten. Die „objektive Leistungsfähigkeit“ wird durch verschiedene Tests ermittelt:

- Aufmerksamkeits-Belastungstest (d2),
- Daueraufmerksamkeit bei Textkorrektur,
- Numerisches Denken,
- Verbales Denken.

Die Ergebnisse sind in den Abb. 7.9 bis 7.12 im HESO-Bericht in je zwei Diagrammen dargestellt, links die Beträge der Messwerte, rechts die Differenzen zwischen den Expositionen 1-4; 2-4 und 3-4. In Abb. 8 ist Abb. 7.11 wiedergegeben. Die Expositionen 1 und 4 stellen die Untersuchungen bei behaglichen Temperaturen, 23 - 26 °C, dar, die Exposition 2 bei 29 - 32 °C, Exposition 3 bei 33 - 35 °C. Die Wiederholung des 1. Tests, Expositionen 1, mit der Exposition 4 bei behaglichen Tem-



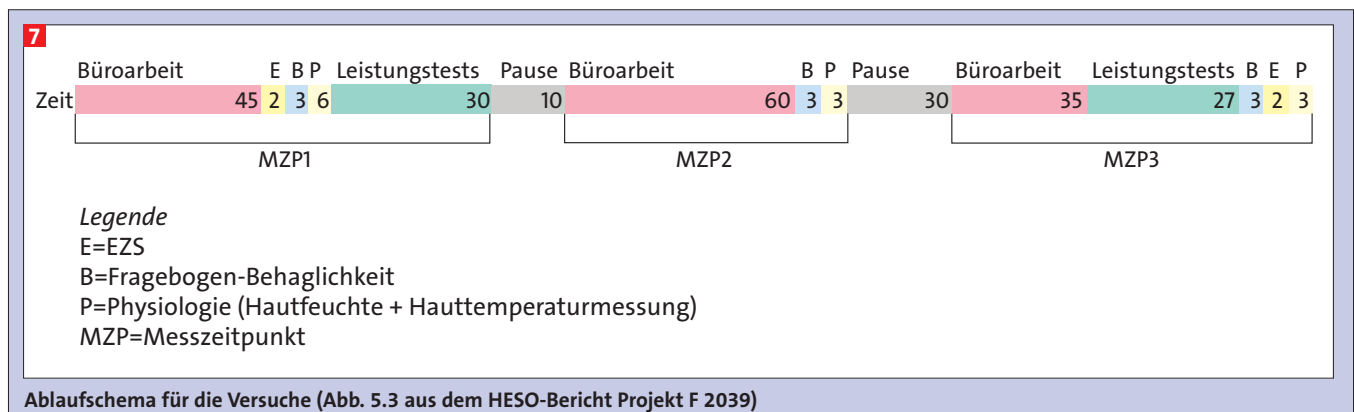
peraturen ist sehr wichtig, weil damit die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse belegt werden kann. Beim d2-Versuch sind die Unterschiede zwischen den Expositionen 1 und 4 aber so groß, dass sie nicht unmittelbar verwertbar sind, sondern mit einer Lernkurve adjustiert werden müssen. Im Bericht werden für die Exposition 2 und 3 nur adjustierten Werte angegeben. Die Werte für den Median der Messzeitpunkte MZP1 und 4 lauten:

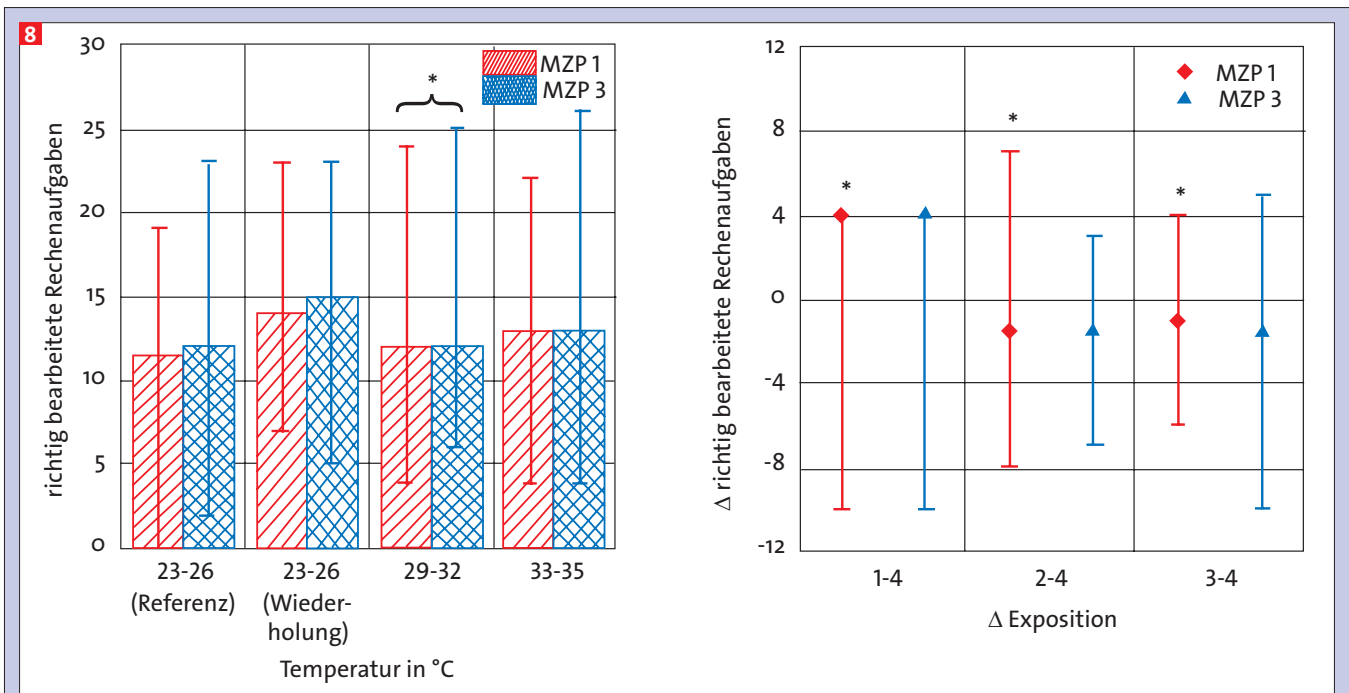
	Nicht adjustiert		adjustiert	
	MZP1	MZP4	MZP1	MZP4
Exposition 1	431,5	458,5	354,3	357,76
Exposition 4	551,0	570,0	353,7	358,5
Differenz	-120	-111,5	-4,4	1,5

Wenn der Einfluss des Lerneffektes so

groß ist, größer als die erwarteten Änderungen durch die erhöhte Raumtemperatur, dann sind diese Messergebnisse kaum zu verwerten. Nach der Adjustierung ist in der Tat kaum ein Effekt durch die Temperaturerhöhung zu erkennen.

Bei den anderen drei Tests ist der „Lerneffekt“ so gering, dass die Ergebnisse nicht adjustiert wurden. Er ist hier aber doch so groß, dass die Beurteilung der Ergebnisse vollkommen anders ausfällt, je nach dem, ob die Exposition 1 oder 4 als Bezug verwendet wird. Wenn auf die Exposition 1 bezogen wird, stimmt das Ergebnis des Berichtes, das in der „Diskussion der Ergebnisse insgesamt“ so zusammen gefasst wird: „Auch in dieser Studie zeigt sich wie in vielen Untersuchungen vorher kein Einfluss erhöhter Raumtemperaturen auf die objektiv messbare Leistung bei der Ausführung (der) verschiedenen Test-





7.11 aus dem HESO-Bericht – Numerisches Denken: Links: Anzahl richtig bearbeiteter Rechenaufgaben

aufgaben.“

Das Urteil fällt anders aus, wenn die Ergebnisse bei erhöhter Temperatur auf die Exposition 4 bezogen werden. Bei der Diskussion mit Frau Hellwig anlässlich der DKV-Jahrestagung in Würzburg war auch sie der Meinung, dass die Exposition 4 als Bezug verwendet werden sollte.

Bei genauer Betrachtung der Abb. 7.10 bis 7.12 kann man dann zu ganz anderen Schlussfolgerungen kommen. Vorausgesetzt, dass die Diagramme maßstäblich sind. Allerdings fällt auf, dass die Absolutwerte, die Vorzeichen und die Differenzen der rechten und lin-

ken Darstellung nicht bei allen 4 Abbildungen genau übereinstimmen, vor allem bei Abb. 7.10 „D Exposition 3-4“, und bei Abb. 7.12 ebenfalls „ $\Delta$  Exposition 3-4“.

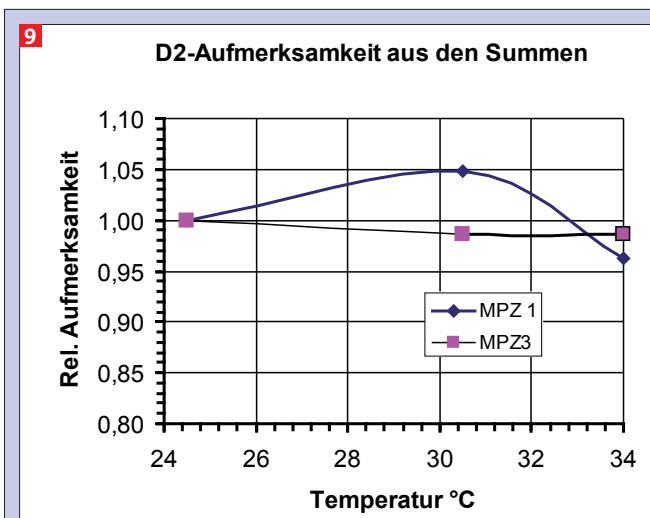
Abb. 8 zeigt die Abb. 7.11 des Berichtes über das „Numerische Denken“, bei dem beide, das rechte und das linke Diagramm, gut übereinstimmen. Man erkennt an beiden Diagrammen, dass sehr wohl ein Einfluss der Temperatur auf die Leistung vorhanden ist.

Im folgenden sollen die Ergebnisse bezogen auf die Exposition 4 dargestellt werden. Die Werte aus den Balkendi-

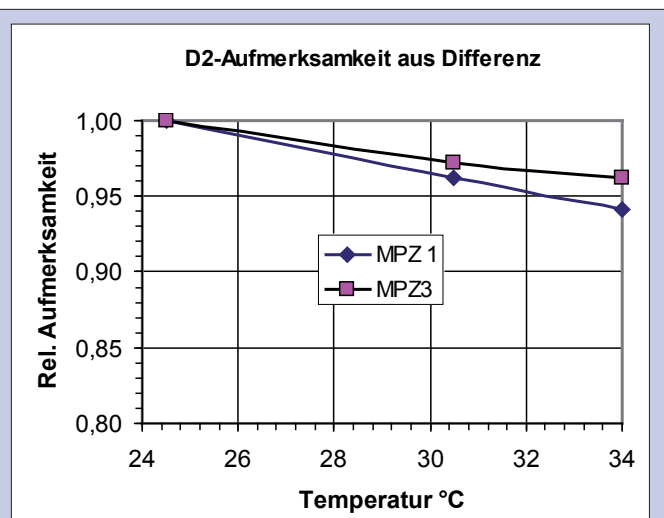
agrammen links werden bezeichnet als „aus Summe“ und aus den Differenzen im rechten Diagramm werden bezeichnet als „aus Differenz“.

Beim d2-Test kann aus den Summen (Abb. 9.1) eher eine Zunahme der Leistungsfähigkeit mit der Temperatur gefunden werden, bei Auswertung der Differenzen (Abb. 9.2) ist ein schwacher Effekt der Leistungsminderung zu erkennen. Aber hier handelt es sich um die mit der Lernkurve adjustierten Daten und sie sollten nicht weiter kommentiert werden.

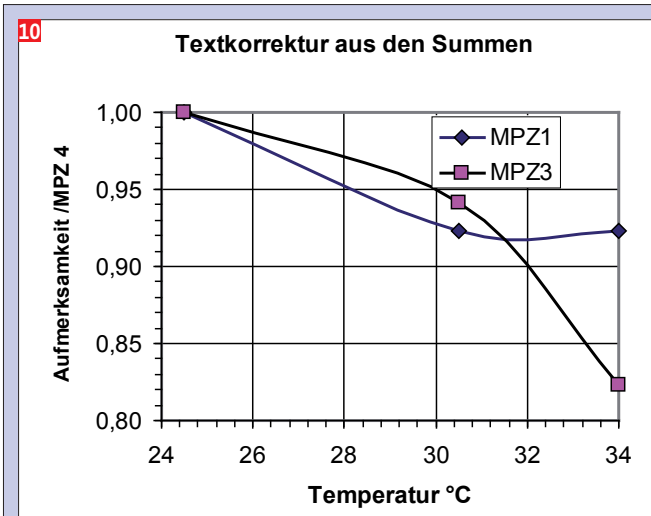
Bei der Auswertung von Abb. 10.1 (aus Abb. 7.10) ergibt das Auswerten aus



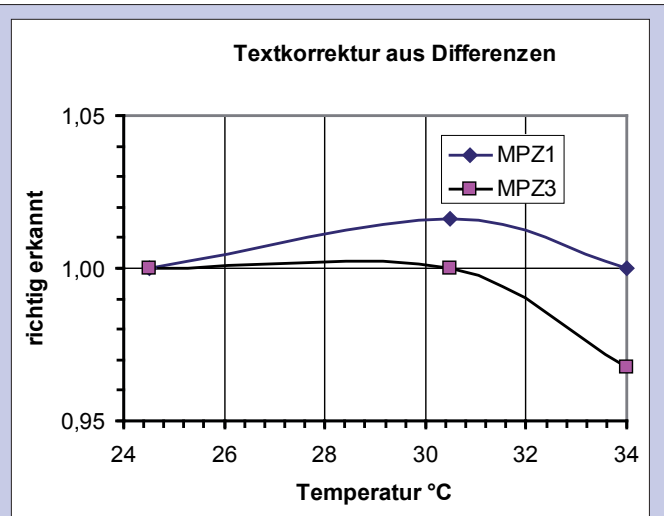
9.1 Relative Aufmerksamkeit, D2-Test aus adjustierten Werten (Abb. 7.9 links) werden.



9.2 Relative Aufmerksamkeit, D2-Test aus adjustierten Werten (aus Abb. 7.9 rechts)



10.1 Richtig erkannte Fehler, (aus Abb. 7.10 rechts, bezogen auf MPZ 4 )



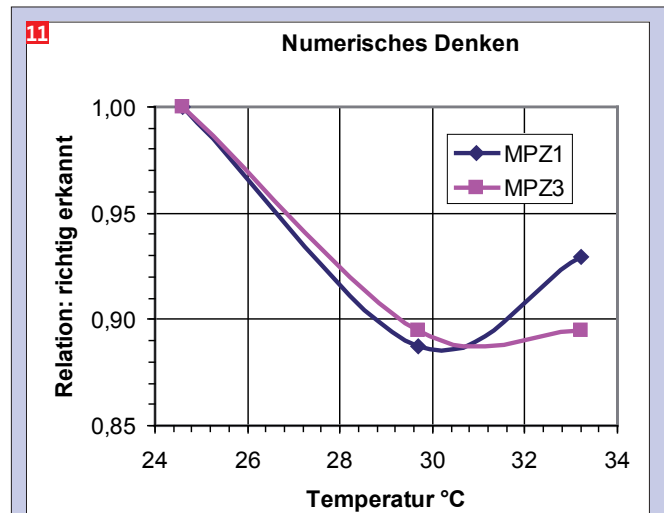
10.2 Richtig erkannte Fehler, (aus Abb. 7.10 links)

den Summen einen verhältnismäßig starken Effekt. Die Differenzen aus rechtem und linken Diagramm stimmen nicht überein. Bei der Auswertung der Differenzen findet man kaum einen Einfluss der Temperatur.

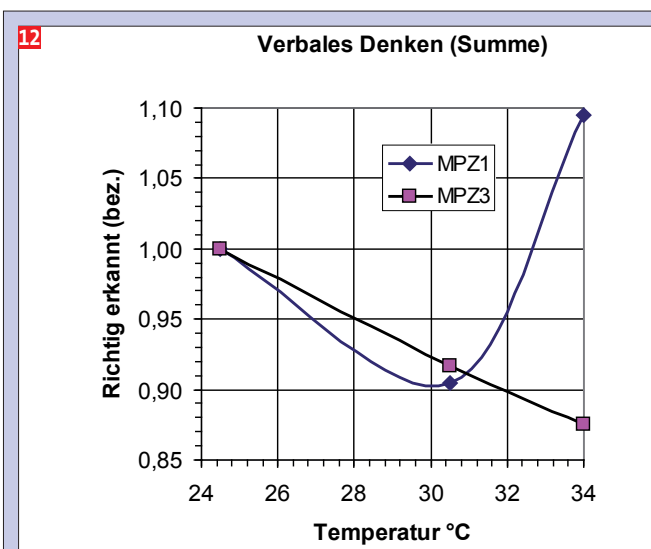
Die beiden Diagramme in Abb. 8 (aus Abb. 7.11) stimmen überein, und deshalb gibt es keinen Unterschied in der Beurteilung der Ergebnisse (Abb. 11). Cum grano salis bestätigt dieses Ergebnis ganz gut die Leistungskurve von Seppänen (Abb. 1)

Beim „Verbalen Denken Abb. 12.1 und 12.2 zeigen sich ähnliche Ergebnisse für beide Auswertemethoden. Die Abweichungen lassen die Ungenauigkeit der Auswertung aus den vorliegenden gedruckten Diagrammen abschätzen. Aber auch hier ist ein Einfluss der Raumtemperatur auf die Leistungsfähigkeit deutlich zu erkennen.

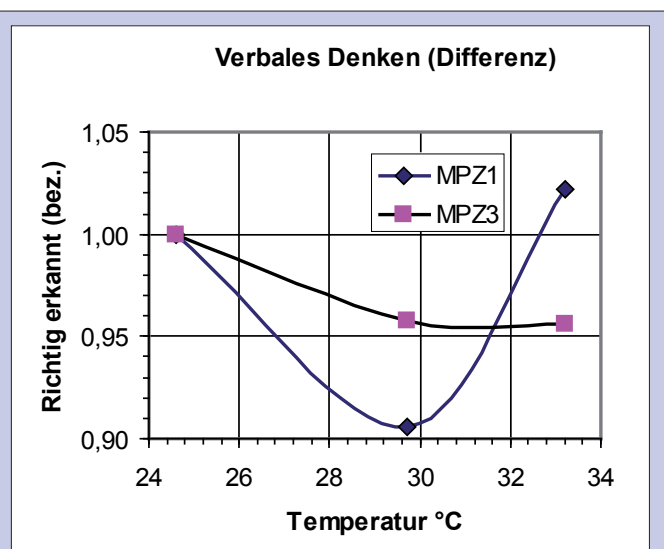
In Abb. 13 sind alle Auswertungen zusammen aufgetragen. Es gibt nur zwei Punkte als Ausreißer. Die Schlussfolgerung aus dem Vergleich der Messergebnisse weicht deshalb von der Interpretation der Autoren der HESO-Studie ab.



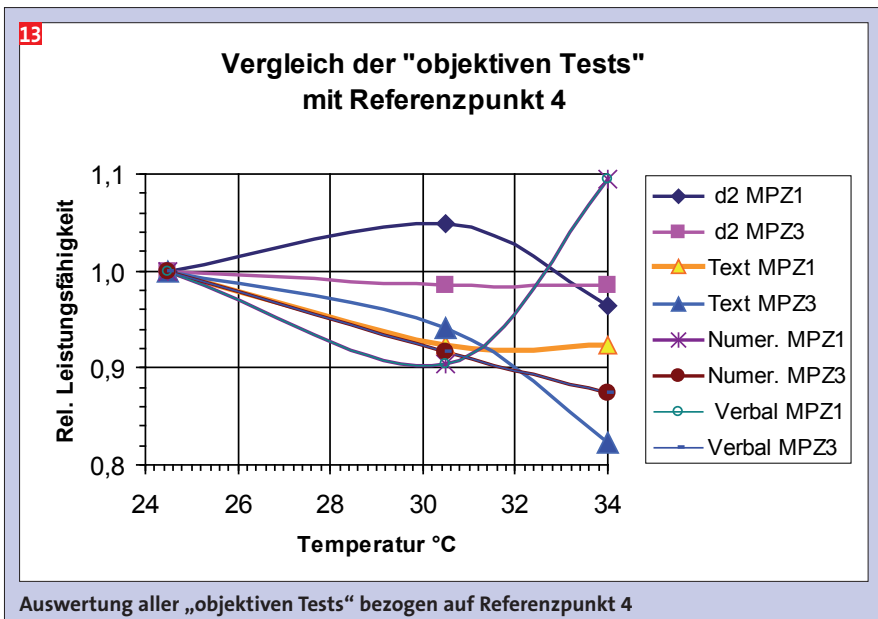
Numerisches Denken: richtig bearbeitet (aus Abb. 7.11)



12.1 Verbales Denken: Richtig erkannte Begriffe (aus Abb. 7.12 links)



12.2 Verbales Denken: Richtig erkannte Begriffe (aus Abb. 7.12 rechts)



Die gemessenen objektiven Leistungsfähigkeiten entsprechen recht gut der von Seppänen vorgeschlagenen Kurve (Abb. 1).

#### Zusammenfassung

Es ist sehr schwer, objektive Messungen der Leistungsfähigkeit von Personen in Büros zu machen. Die größte Schwierigkeit besteht darin, die repräsentative Arbeit zu definieren und in einem durchführbaren Testverfahren auszuführen.

Die nächste Hürde stellt die Auswahl repräsentativer Probanden dar. Die Leistungsfähigkeit muss ebenfalls repräsentativ sein. Es dürfen nicht die besten Versuchspersonen verwendet werden.

Wenn „Lerneffekte“ sich stärker auswirken, als die gesuchten Veränderungen durch den Temperatureinfluss, ist die Aussagefähigkeit der Ergebnisse sehr gering. Bei den verbleibenden Unterschie-

den kann die Exposition 1 oder 4 als Bezug genommen werden. Der Bezug der Daten auf die Referenzexposition 4 ist berechtigt und in den Diagrammen ja auch so angedeutet.

Die Testphase darf sich vermutlich nicht auf Teile der Versuchszeit beschränken, sondern der Test muss während der gesamten Versuchszeit laufen.

Von den vier Versuchen, die belegen sollen, dass hohe Temperaturen die Leistung der Probanden nicht beeinflussen, ist der erste, wie erwähnt, nicht gut verwertbar. Die drei anderen Tests ergeben bei einer grafischen Auswertung, anders als im Bericht beschrieben, einen deutlichen Einfluss auf die Leistung, der die Leistungskurve von Seppänen sehr gut bestätigt.

Die bisherigen Ergebnisse der HESO-Studie reichen nicht aus, die früheren Kenntnisse, z. B. die Leistungstempere-

turkurve von Seppänen et al. in Frage zu stellen.

Die Arbeit stellt aber einen guten Einstieg in das Thema dar, die offenen Fragen sollten geklärt werden und die Versuche im möglichst größeren Umfang fortgesetzt werden.

#### Literatur

- [1] Fitzner, K. (2007): in P. E. Nilsson (Hrsg.) Achieving the Desired Indoor Climate; Studentlitteratur
- [2] Hellwig, R.T.; I. Nöske; Brasche, S.; Gebhardt, H.; Levchuk, I.; Bischoff, W. (2012): Hitzebeanspruchung und Leistungsfähigkeit bei erhöhten Raumtemperaturen, BAuA Forschung HESO Projekt F 2039 (2012); <http://www.ibp.fraunhofer.de/de/publikationen/Fachpublikationen.html>
- [3] Li Lan; Zhiwei Lian; Li Pan; Qian Ye; Shanghai (2008): A neurobehavioral framework for evaluation of productivity of office work. (Internet)
- [4] Mackworth, N. H.: Researches on the Measurement of Human Performance, Medical research Special Report Series No. 268, London: His Majesty's Stationary Office (1950)
- [5] Seppänen, O.; Fisk, W. J. (2008) in Rietschel: Raumklimattechnik Bd. 2 und REHVA Guide Book 6: Indoor Climate and Productivity in Offices (2006)
- [6] Schädlich, S.: Es bleiben viele Fragezeichen, CCI 01/2013
- [7] Stahl, M.: Der Klima-Effizienz-Schock, CCI 10/12
- [8] Tanabe, S.; N. Nishihira (2004): Productivity and fatigue: Indoor Air 14, supplement 7, S. 126-133
- [9] Viteles M. S.; Smith, K. R. (1946): An Experimental Investigation on the Effect of Change in the Atmospheric Conditions and Noise upon Performance, ASHRAE-Transactions, 52, no 1291, S. 165-179



## Wärmepumpen 70...300kW



### Investitionssicherheit durch natürliche Kältemittel R290 (Propan)

HKT Huber-Kälte-Technik GmbH  
Am Graben 8, D-83128 Halfing  
Tel +49 (0)8055-9187, Fax +49 (0)8055-9188  
info@hkt-goeldner.de, www.hkt-goeldner.de

