

# Veränderungen der Hauttemperaturen während des Akklimatisationsprozesses in der Antarktis

Von Peter Höppe und Josef Kipfstuhl\*

**Zusammenfassung:** Über den Zeitraum eines Jahres wurden in der Antarktis die Hautoberflächentemperaturen zweier Probanden an 4 Punkten am Morgen und am Abend gemessen. Dabei war während der ersten Phase des Aufenthaltes ein Absinken der mittleren Hauttemperaturen zu beobachten, während nach ca. 100 Tagen ein Anstieg zu verzeichnen war. Diese Veränderungen der mittleren Hauttemperaturen sind vor allem auf Veränderungen der Hauttemperaturen der Extremitäten zurückzuführen.

**Summary:** During a whole year in Antarctica the skin temperatures of two test subjects were measured at 4 locations in the morning and in the evening. In the first phase of the stay in Antarctica a decrease of the mean skin temperature was found, while after about 100 days a steady increase started. These changes of the mean skin temperatures are predominantly caused by changes of the skin temperatures of the extremities.

## EINLEITUNG

Während des Jahres 1982 wurden in der Georg-von-Neumayer-Station in der Antarktis Messungen von Oberflächentemperaturen der menschlichen Haut durchgeführt. Das Ziel dieser Messungen war es, herauszufinden, ob die Hauttemperaturen während der Akklimatisationsphase charakteristische Veränderungen aufweisen. Eine Akklimatisation der Probanden war zu erwarten, da sie sich in den ersten Monaten des Aufenthaltes fast täglich mehrere Stunden unter freiem Himmel aufhielten.

Aus einer ähnlichen Untersuchung, die BODEY (1978) während eines Jahres ebenfalls in der Antarktis durchgeführt hat, geht hervor, daß sich im Raumklima keine signifikanten Änderungen der Hauttemperaturen an Brust, Fingern und Zehen im Laufe des Jahres ergaben. Bei Kälteexposition jedoch war die Abkühlung der Finger und Zehen in den ersten Monaten der Akklimatisationsphase größer als in den folgenden Monaten. Vor allem nach dem 9. Monat lag eine schnellere Wiedererwärmung dieser Gliedmaßen vor. Diese Umstellung in der Thermoregulation wurde auch von anderen Autoren gefunden (ANDERSON et al. 1963, MEEHAN 1955, IRVING et al. 1960).

Die Kälteakklimatisation erfolgt nach BODEY (1978) in 2 Stufen. Die erste Reaktion besteht vor allem in einer Vasokonstriktion, um eine Senkung der Oberflächentemperaturen der Extremitäten und damit einen geringeren Wärmeverlust des Körpers zu erreichen. Die zweite Stufe besteht in einer Steigerung des Metabolismus, durch die eine bessere Wärmeversorgung der Peripherie und damit ein besserer Schutz vor Erfrierungen gewährleistet wird.

Nach DAVIS (1974) besteht der langfristige Kälteakklimatisationseffekt in einer verstärkten Ausbildung der sogenannten „non shivering thermogenesis“, während zu Beginn des Aufenthaltes in kalten Klimaten die metabolische Rate kurzzeitig durch Zittern gesteigert wird.

Für eine Erhöhung der metabolischen Rate bei längerem Aufenthalt in kalten Klimaten spricht auch die Tatsache, daß nach ROBERTS (1952) die metabolischen Raten von Polarbewohnern (Eskimo) erheblich

\*Dipl.-Met. Dr. Peter Höppe, Lehrstuhl für Bioklimatologie und Angewandte Meteorologie der Universität, Amalienstr. 52, 8000 München 40.

Dipl.-Met. Josef Kipfstuhl, Meteorologisches Institut der Universität, Theresienstr. 37, 8000 München 2.

höher als die von Äquatorialbewohnern liegen. Die metabolischen Raten der in den mittleren Breiten lebenden Menschen liegen zwischen diesen Extremen.

## MATERIALIEN UND METHODEN

Der experimentelle Teil dieser Untersuchung wurde im Zeitraum vom 1. 1. 1982 bis 25. 11. 1982 durchgeführt. Die Probanden waren 2 junge gesunde Männer im Alter von 27 und 30 Jahren, die sich fast täglich mehrere Stunden im Freien aufhielten. Zu Beginn der Meßreihe waren die Probanden gerade 3 Tage in der Forschungsstation. Die Anreise erfolgte von Europa per Flug nach Südbrasilien und von dort in 11 Tagen per Schiff an die Georg-von-Neumayer-Station.

Die Messungen der Hautoberflächentemperaturen wurden mit einem Infrarotthermometer KT-15 der Firma Heimann berührungslos an 4 Stellen des menschlichen Körpers durchgeführt: In der Mitte der Handaußenseite, auf der Stirn über der Nasenwurzel, an der Mitte des Rückens in Höhe der Taille und am Bauch 5 cm über dem Nabel.

Zur Messung der Hautoberflächentemperaturen an den Punkten 3 und 4 wurde die darüberliegende Kleidung kurz angehoben. Die Messungen wurden jeweils morgens (zwischen 9 und 11 Uhr) und abends (ca. 19 Uhr) in etwa zur selben Tageszeit in einem Raum der Georg-von-Neumayer-Station vorgenommen. Die Lufttemperatur im Meßraum betrug während des ganzen Jahres ca. 20 °C mit nur geringen Schwankungen. Die mittlere Oberflächentemperatur der Wände lag um ca. 1K niedriger als die Lufttemperatur. Die relative Luftfeuchtigkeit im Meßraum lag bei 25—30%. Die jeweilige Bekleidung während der Messungen wurde nach 3 Klassen bezüglich der Wärmeisolationwirkung klassifiziert und festgehalten. Bis auf wenige Ausnahmen bestand sie aus Unterwäsche, Socken, langer Hose, langärmeligem Hemd und Schuhen (Klasse 1) oder noch zusätzlich aus einem Pullover (Klasse 2). Neben den Messungen der Oberflächentemperaturen der beschriebenen Hautpartien wurden die Probanden nach der Einschätzung ihres thermischen Befindens nach der psycho-physikalischen ASHRAE Skala befragt.

## ERGEBNISSE

Zuerst wurde untersucht, ob sich die mittleren Hauttemperaturen der 2 Probanden bei verschiedener Tageszeit, verschiedener Bekleidung oder untereinander signifikant unterscheiden. Für die mittlere Hauttemperatur  $T_{sk}$ , die als arithmetisches Mittel der 4 gemessenen Temperaturen definiert ist, ergab sich für Person 1 am Abend eine etwas geringere mittlere Hauttemperatur als am Morgen (bei dünner Kleidung  $p < 0,01$ , bei dickerer Kleidung  $p < 0,05$ ;  $p$  ist hier die Irrtumswahrscheinlichkeit). Für Person 2 ergaben sich am Abend bei dicker Kleidung im Mittel höhere Werte als am Morgen ( $p < 0,01$ ). Diese Unterschiede wirken sich jedoch bei Person 1 und dicker Bekleidung auf das thermische Befinden aus, das abends leicht in Richtung „kühl“ verschoben ist. Im Mittel über alle Messungen liegt die Behaglichkeit bei „neutral“.

Untersucht man analog die mittleren Oberflächentemperaturen der von Kleidung bedeckten Hautpartien  $T_{Be}$  (Rücken, Bauch) und der unbedeckten  $T_{Un}$  (Stirn, Hand) getrennt, so zeigt sich, daß die Tagesschwankung bei Person 1 vor allem auf die unbedeckten Hautpartien und bei Person 2 vor allem auf die bedeckten Oberflächen zurückzuführen sind.

Prüft man die Unterschiede der mittleren Hauttemperaturen  $T_{sk}$  von Person 1 und Person 2, so ergeben sich nur am Morgen mit dünner Bekleidung ( $p < 0,01$ ) und am Abend mit dicker Bekleidung ( $p < 0,01$ ) signifikante Unterschiede.

Bei Mittelung der Hauttemperaturen  $T_{sk}$  über alle Kleidungstypen und Tageszeiten ergibt sich kein signi-

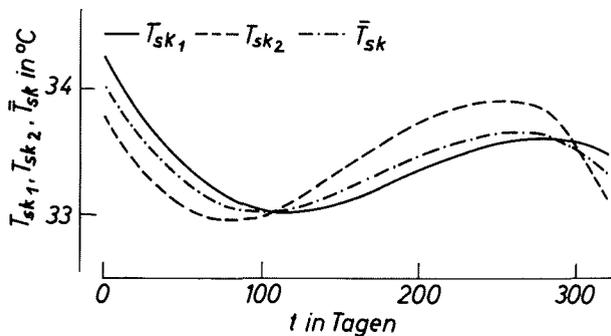


Abb. 1: Mittlere Hautoberflächentemperaturen von Person 1  $T_{sk1}$ , Person 2  $T_{sk2}$  und im Mittel über beide Personen in Abhängigkeit von der Anzahl der Tage des Aufenthaltes in der Antarktisstation.

Fig. 1: Mean skin temperatures of subject 1  $T_{sk1}$ , subject 2  $T_{sk2}$  and the average of both related to the duration of their stay (in days) in the Antarctica.

fikanter Unterschied zwischen beiden Personen. Die erhaltene mittlere Hauttemperatur  $T_{sk}$  beträgt  $33,4^\circ$  C. In der Literatur wird gewöhnlich der Bereich der mittleren Hauttemperatur zwischen  $33^\circ$  und  $34^\circ$  C als Komfortbereich bezeichnet. Eine direkte Zuordnung der experimentell gefundenen mittleren Hauttemperatur  $T_{sk}$  zu dem angegebenen Komfortbereich ist nicht exakt möglich, da die Bestimmung einer wirklichen mittleren Oberflächentemperatur der gesamten Hautoberfläche auf mehr Meßpunkten (nach HARDY et al. 1970, 9 Meßpunkte) basieren muß.

Um Wirkungen der Kälteakklimatisation aufzuzeigen, wurden die Verläufe der mittleren Hauttemperaturen  $T_{sk}$  der 2 Personen während der ersten 11 Monate des Aufenthaltes in der Antarktis untersucht. Dazu wurden Regressionsrechnungen mit der Anzahl der Tage des Aufenthaltes als unabhängiger Variablen und der mittleren Hauttemperatur  $T_{sk}$  als abhängiger Variablen durchgeführt. Die Regressionskurven 3. Grades sind für Person 1 und Person 2 und für das Mittel aus beiden mit  $p < 0,01$  signifikant mit den beobachteten Werten korreliert. Sie sind in der Abb. 1 dargestellt. Aus ihr geht hervor, daß die mittleren Hauttemperaturen  $T_{sk}$  beider Personen zuerst absinken, dann ansteigen und am Ende des Beobachtungszeitraumes erneut absinken. Bei der Person 2 liegen die Extrema zeitlich früher als bei der Person 1. Der Anstieg beginnt bei Person 2 am Anfang des 3. Monats, bei Person 1 ca. 1 Monat später. Das erneute Absinken der mittleren Hauttemperaturen beginnt bei beiden Personen am Anfang des 9. Monats. Die Graphen für Person 1 und das Mittel beider Personen erinnern an eine gedämpfte Schwingung, wie sie auch bei kurzzeitigen thermoregulatorischen Prozessen beobachtet werden kann.

Eine Differenzierung der Verläufe der Hautoberflächentemperaturen in bekleidete  $T_{Be}$  und unbekleidete Anteile  $T_{Un}$  ist in Abb. 2 dargestellt. Darin sind wiederum die Regressionskurven 3. Grades der über die 2 Personen gemittelten Hauttemperaturen  $T_{Be}$  ( $p < 0,01$ ) und  $T_{Un}$  ( $p < 0,01$ ) im Meßzeitraum aufgetragen.

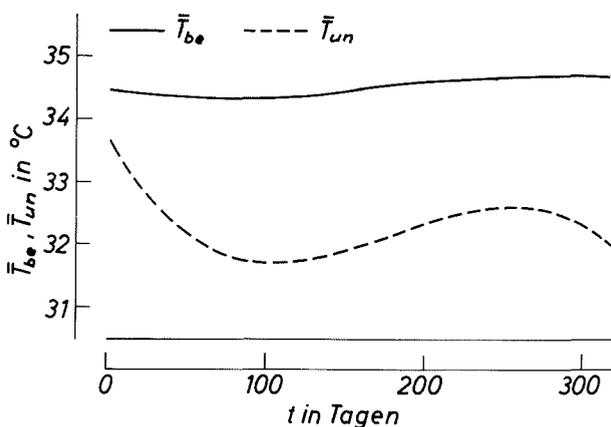


Abb. 2: Mittlere Hautoberflächentemperaturen der bekleideten  $T_{Be}$  und der unbekleideten Hautpartien  $T_{Un}$  in Abhängigkeit von der Anzahl der Tage des Aufenthaltes in der Antarktisstation.

Fig. 2: Mean skin temperatures of the clothed  $T_{Be}$  and unclothed  $T_{Un}$  portions of the skin related to the duration of the stay (in days) in the Antarctica.

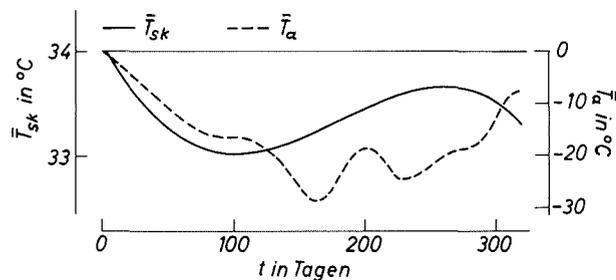


Abb. 3: Mittlere Hautoberflächentemperaturen  $T_{sk}$  und Tagesmittel der Lufttemperaturen  $T_a$  in Abhängigkeit von der Anzahl der Tage des Aufenthaltes in der Antarktisstation.

Fig. 3: Mean skin temperatures  $T_{sk}$  and mean daily air temperatures  $T_a$  related to the duration of the stay (in days) in the Antarctica.

Daraus geht hervor, daß die Schwankungen der mittleren Hauttemperatur  $T_{sk}$  vor allem auf Schwankungen der Hautoberflächentemperatur der unbedeckten Hautpartien  $T_{Un}$  zurückzuführen sind. Die Schwankungen der Hauttemperatur  $T_{Be}$  der von Kleidung bedeckten Haut sind verglichen damit sehr gering.

## DISKUSSION

Die in den Abb. 1 und 2 dargestellten Ergebnisse sprechen für eine Beeinflussung der Hauttemperaturen durch die Akklimatisation an Kälte. Ein rein saisonaler Einfluß, der nach AULICIEMS (1981) auch zu Adaptationsprozessen führen könnte, ist hier unwahrscheinlich, da der Gang der Lufttemperatur (Monatsmittel) in dieser Klimazone nicht nur stark phasenverschoben ist, sondern auch eine andere Frequenz aufweist. In Abb. 3 sind die Verläufe der mittleren Hauttemperaturen  $T_{sk}$  und der an der Georg-von-Neumayer-Station gemessenen Lufttemperatur (Monatsmittel) dargestellt.

Interessant erscheint das Ergebnis, daß vor allem die Oberflächentemperaturen der peripheren Körperteile den Schwankungen unterworfen sind. Dies bestätigt die These (BODEY 1978, LEBLANC 1956), daß der Körper durch Senkung der Temperaturen der peripheren Oberflächen einen hohen Energieverlust zu vermeiden versucht. Dies ist die schnellste und effektivste Art und Weise den Energiehaushalt bei Kältebelastung zu balancieren (HÖPPE 1984).

Eine längere Zeit in Anspruch nehmende Steuerreaktion wird nach BODEY (1973) und DAVIS (1974) durch den Aufbau von „brown adipose tissue“ in Verbindung mit hormonellen Veränderungen, die zur Steigerung des Metabolismus führen, gebildet. Dieses Gewebe ist vor allem bei Kleinkindern zu finden, die dadurch in der Lage sind, bei Kältebelastung ihren Metabolismus ohne zu Zittern zu steigern.

Das Absinken der Hauttemperaturen gegen Ende der Meßphase könnte durch eine Gegenregulation, wie sie in der Physiologie nach einer übersteuernden Reaktion häufig zu finden ist, zu erklären sein. Interessant wäre sicher gewesen, ob sich die Temperaturen auf einen mittleren Wert wie bei einer gedämpften Schwingung eingependelt hätten, und wie lange dieser Vorgang gedauert hätte. Wegen des alljährlichen Personalwechsels in der Antarktisstation konnte die Meßphase jedoch nicht verlängert werden.

## Literatur

- Andersen, K. L., Hart, J. S., Hammel, H. T. & H. B. Sabeau (1963): Metabolic and thermal response of Eskimos during muscular exertion in the cold. — *J. Appl. Physiol.* 18: 613—618.
- Auliciems, A. (1981): Psycho-physiological criteria for global zones of building design. — *Proc. 9th Int. Congr. Biometeor.*, Osnabrück.
- Bodey, A. S. (1973): The role of catecholamines in human acclimatization to cold. — In: O. G. Edholm & E. K. E. Gunderson, Eds., *Polar human biology*, 141—149, London.
- Bodey, A. S. (1978): Changing cold acclimatization patterns of men living in Antarctica. — *Int. J. Biometeor.* 22 (3): 163—176.
- Davis, T. R. A. (1974): Effects of cold on animals and man. — In: S. W. Tromp, Ed., *Progress in biometeorology*, vol. 1, IA: 215—227, Amsterdam.
- Hardy, J. D. (1970): Dependence of thermal comfort on skin temperature. — Springfield, Ill.

- H ö p p e , P. (1984): Die Energiebilanz des Menschen. — Wiss. Mitt. Meteor. Inst. Univ. München 49, München.
- I r v i n g , L., A n d e r s e n , K. L., B o l s t a d , A., E l s n e r , R., H i l d e s , J. A., L o y n i n g , Y., N e l m s , J. D., P e y t o n , L. J. & R. D. W h a l l y (1960): Metabolism and temperatures of arctic Indian men during a cold night. — J. Appl. Physiol. 15: 635—644.
- L e B l a n c , J. A. (1956): Evidence and meaning of acclimatization to cold in Man. — J. Appl. Physiol. 9: 395—398.
- M e e h a n , J. P. (1955): Body heat production and surface temperatures in response to a cold stimulus. — J. Appl. Physiol. 7: 537—541.
- R o b e r t s , D. F. (1952): Basal metabolism, race and climate. — J. Roy. Anthropol. Inst. 82: 169—183.