

# Physiologie der Unterkühlung und bekleidungsphysiologische Aspekte (Tischvorlage) H.-V. Ulmer (Mainz)\*

## Physiologische Grundlagen

**1. Wärmebilanz** als Ergebnis von Wärmeproduktion und Wärmeabgabe. Kerntemperatur wird reguliert, Schalentemperatur ist variabel.

### **2. Wärmeproduktion:**

**In Ruhe:** ca. 100 Watt, würde einen Anstieg der Kerntemperatur von ca. 1°/h bewirken, wenn keine Abgabe stattfände.

**Bei Muskelarbeit:** Wirkungsgrad bestenfalls 25 %, d. h. der größte Teil der gestiegenen Energiebereitstellung geht als Wärme verloren. Bei 100 Watt Ergometrie-Leistung also 300 W Wärme bzw. 400 W Gesamtumsatz.

*Hubarbeit ist Schwerarbeit!* 100 kp in 1 h um 300 m höher ≈ 82 Watt. Bei 25 % Wirkungsgrad ≈ 250 Watt Wärmeproduktion

### **3. Wärmeaustausch zwischen Mensch und Umgebung**

in beiden Richtungen durch 1) Leitung (Kontakt), 2) Strahlung (Infrarotstrahlung),

3) nur in einer Richtung: *Wärmeabgabe* durch Verdunstung. Insgesamt begünstigt durch

4). Konvektion (Grenzschichteffekt), Konvektion begünstigt Leitung und Verdunstung.

### **4. Grenzschicht = an die Haut grenzende Schicht: Isoliereffekt!**

*Kleidung und Wärmeaustausch:* Kleidung reduziert die freie Hautfläche, isoliert den Körper gegenüber Hitze und Kälte, verstärkt die Grenzschicht (Isoliereffekt, besonders bei Luft und wenn nicht durchgeschwitzt).

**5. Betrag der Wärmeabgabe:** Die abgegebene Wärmemenge ist u. a. um so größer, je größer die freie Hautfläche ist, je größer die Temperaturdifferenz zwischen Haut und Umgebung (Leitung) oder Haut und festen Körpern (Infrarotstrahlung) ist, je höher die Windgeschwindigkeit ist, je dünner die Kleidung ist, je dünner die Grenzschicht ist, je feuchter die freie Hautfläche ist und je größer die Kontaktfläche zu Medien wie Schnee oder Eis ist (bessere Leitung und größere Wärmekapazität).

## Pathophysiologie des Wärmehaushalts im Winter

**1. Örtlicher Kälteschaden:** Betrifft bevorzugt die Akren. Sinkt bei Kältebelastung die periphere Durchblutung, so wird unterhalb von + 4°C eine Grenze erreicht, bei der Ernährungsstörungen auftreten, die Nekrosen bei einer Verbrennung ähneln. Typisch ist Schmerzfreiheit wegen der gleichzeitigen Kälteanaesthetie. Wichtiges Symptom: Käseweiße Haut, die meist nur von Kameraden beobachtbar ist (Nase, Ohrmuscheln).

*Erste Hilfe:* Immobilisieren (Finger, Füße), Schutz suchen. Dann schnell erwärmen, keine Massage, keine Einreibungen mit Schnee. Ggf. Alkohol (Grog, „Skiwasser“), aber nur, wenn keine gleichzeitige Allgemeine Unterkühlung! Bei stärkeren Ausprägungen: Steril, gut gepolstert für den Transport einpacken.

*Anschluß-Therapie* (Medikamente): Ilomedin (iloprost-prostaglandin) i.v., Heparin, Pentillin, Dextran-Infusionen, Aspirin, evtl. Antibiotika. Hyperbare Oxygenation ist nützlich. Abwarten, bis eindeutige Demarkation eintritt.

**2. Allgemeine Unterkühlung:** Betrifft den Körperkern, Kennzeichen: Zentralisation des Kreislaufs mit Absinken der Kerntemperatur, was zunehmend zu ZNS-Störungen führt: u.a. Euphorie, Fehlhandlungen, Benommenheit und ab ca. 30 °C Bewußtlosigkeit. Ab 28 °C erhebliches Risiko tödlichen Kammerflimmerns.

*Erste Hilfe:* Schutz suchen, dann schonend, passiv erwärmen, keine Massagen, kein Alkohol. Wenn noch bei Bewußtsein: Nicht Warmlaufen lassen! Alles vermeiden, was Schalenblut (kalt und voll schädlicher Metabolite) zu schnell in den zentralen Kreislauf bringt: Cave Kammerflimmern. Optimal: *Zunächst* 1) falls überhaupt möglich: *Warme Hibler-Packung*, 2) in reflektierende „Rettungsdecke“ (Folie, 60 Gramm!) einpacken („Silberseite“ im Winter nach innen): Vorteil: 1. dicke, ruhende und damit isolierende Grenzschicht Luft, 2. Infrarotstrahlen werden auf den Körper reflektiert. 3. Kalte Umgebungsluft und Nässe werden ferngehalten. *Dann* passiv abtransportieren, in einem warmen Raum langsam aufwärmen.

### **3. Vorsorgemaßnahmen:**

Gegen lokalen Kälteschaden: Schutz von Ohrmuscheln, Nase, Finger und Zehen. Abends Schuhe ausziehen und Zehenfarbe und -sensibilität prüfen. Warnhinweise geben („Haut käseweiß“) und gegebene Warnhinweise anderer ernstnehmen.

Gegen allgemeine Unterkühlung: Angepaßte Kleidung, Regennässe von der Kleidung abhalten, Durchschwitzen von innen vermeiden (saugfähige Unterwäsche), Wind abhalten.

Im Unglücksfall: Rettungsdecke, Windschatten, Kauerstellung und Zusammenrücken verzögern den Wärmeverlust.

## Bekleidungsphysiologische Aspekte

### 1. Grenzschicht und *Mikroklima* unter der Kleidung

1) Die Grenzschicht „Luft“ wird durch Verdunstung (*perspiratio sensibilis* und *insensibilis*) angefeuchtet, dies hemmt die Wärmeabgabe durch *Verdunstung* – *Perspiratio insensibilis*  
= meistens extraglanduläre Feuchtigkeitsabgabe durch Diffusion

2) Naßwerden der Grenzschicht a) von innen durch Schwitzen – Hinweis: Funktionsunterwäsche, b) von außen bei Regen, ungenügendem Nässeschutz und falscher Bekleidung. Nasse Kleidung = Idealer Verdunster, erzeugt Kälte, die wegen der nassen Grenzschicht schnell nach innen durchgeleitet wird. Dadurch massive Wärmeverluste, besonders im Sturm!

Vorteil moderner Textilstoffe: Wasser wird von außen abgehalten, Schweißfeuchtigkeit (Dampf) von innen rausgelassen. Gilt auch für Handschuhe und Schuhe!

2) Die Grenzschicht wird durch Leitung angewärmt: Hemmt die Wärmeabgabe durch *Leitung*.

3) Die Grenzschicht wird durch Kleidung stabilisiert: Hemmt die *Konvektion* und somit die Wärmeabgabe durch Leitung und Verdunstung.

4) Die Die Grenzschicht kann mit dem „Zwiebelschalenprinzip“ variiert werden.

### 2. Grenzschicht und Rucksack:

Ein Rucksack komprimiert die Kleidung (Grenzschicht wird dünner). Er hemmt die Verdunstung, Rückenbekleidung wird naß. Spezialrucksäcke berücksichtigen dies, z.B. mit Tragegestell und Netz. Nach Berichten von Spezialisten kann die Durchnässung mit Auskühlung des Rückens damit deutlich verzögert, aber nicht immer verhindert werden.

### 3. Kleidung und Wärmehaushalt:

Kleidung als Kälte- und Nässeschutz, hemmt die Wärmeabgabe.

4. Kleidung und UV.-Schutz: Kleidung schützt auch vor UV.-Strahlen: 1. Akut gegen Sonnenbrand. 2. Chronisch gegen vorzeitige Alterung (Seemanns- oder Landmannshaut) sowie 3. Gegen Hautmalignome.

Je größere Höhen erreicht werden, desto intensiver sind Infrarot- und UV-Strahlung, erst recht beim Gehen über Schneefelder bzw. Gletscher: Die Strahlung wird großflächig-diffus reflektiert und entfaltet somit eine viel intensivere Wirkung.

## Fazit

Das Wissen um physiologische Grundlagen, Pathophysiologie und Bekleidungsphysiologie gehört zu den Grundlagen einer präventiven Sportmedizin, wenn es um Aufenthalte in der Höhe geht.

Dies gilt nicht nur im Winter: Vorsicht vor Wetterstürzen in den Bergen, auch im Sommer!

\* Prof. i. R. Dr. H.-V. Ulmer, Facharzt für Physiologie. Inst. für Sportwissenschaft, FB 02, Johannes Gutenberg-Universität, 55099 MAINZ,  
[ulmer@uni-mainz.de](mailto:ulmer@uni-mainz.de) , <http://www.uni-mainz.de/FB/Sport/physio/>

Vortrag anlässlich der Sportärztfortbildung in Berchtesgaden, 27.2.2009

*Dank an Herrn Dr. J. Gorjanc (Ljubljana) für wertvolle Hinweise zu Therapie und Bergrettung*

## Literaturhinweise:

DEUTSCHER ALPENVEREIN E.V. (Hrsg): Erste Hilfe für Bergsportler [http://cms.alpenverein.de/download\\_file.php?getit=1&session\\_id=kqc4da7n289t78k2el031pqnk98i16bn&showfile=1](http://cms.alpenverein.de/download_file.php?getit=1&session_id=kqc4da7n289t78k2el031pqnk98i16bn&showfile=1) (Eingang 2.3.09)

GORJANC, J., MEKJAVIC, I., JAKI MEKJAVIC, P., F. BAJROVIC, F. M. MILCINSKI, M.: Hyperbaric Oxygen as an Adjunct Treatment of Freezing Cold Injury  
[http://www.uni-graz.at/alpinmedizin/Watzmann/Watzmann-HBOT\\_in\\_Frostbite.pdf](http://www.uni-graz.at/alpinmedizin/Watzmann/Watzmann-HBOT_in_Frostbite.pdf) (Eingang 2.3.2009)

HETTINGER, Th. (1989): Klimawirkungen auf den Menschen, Kap. III – 4.3, S. 1 – 16. In: KONIETZKO, J. u. H. DUPUIS (Hrsg.): Handbuch der Arbeitsmedizin. Landsberg – München – Zürich: ecomed

RUPPE, K. (1995): Arbeitsmedizin systematisch. Lorch: Uni-med

SPITZER, H., Th. HETTINGER u. G. KAMINSKY (1982): Tafeln für den Energieumsatz bei körperlicher Arbeit. Berlin – Köln: Beuth

WENZEL, H. G. u. K. PIEKARSKI (1982<sup>2</sup>): Klima und Arbeit. Bayerisches Staatsministerium für Arbeit und Sozialordnung (Hrsg.), Druck: Schick, München