

Thermoregulation

der Mensch \Rightarrow ein **homiothermes (gleichwarmes)** Lebewesen

- die Erhaltung organischer Funktionen von homoithermen Organismen erfordert eine weit gehend **konstante Körpertemperatur**
- zwischen einem Körper mit definierter Temperatur und seiner Umgebung erfolgt ein steter **Wärmeaustausch über die Körperoberfläche**
- ein **Temperaturgefälle** besteht zwischen
 - **Körperkern, Körperschale** und **Umgebung**,
sofern die Umgebungstemperatur von der Körperkerntemperatur abweicht
- **Körperkern** und **Körperschale** sind als **Temperaturfeld** eines Körpers zu verstehen

Thermoregulation

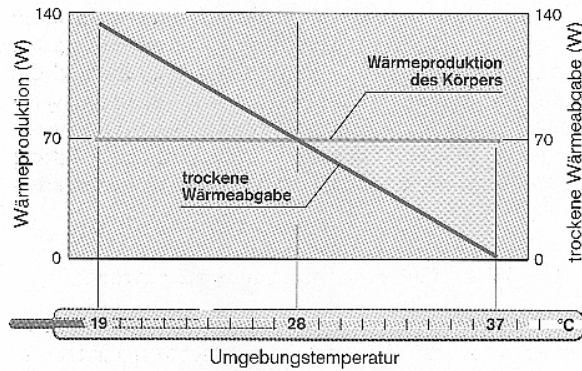
der Mensch \Rightarrow ein **homiothermes (gleichwarmes)** Lebewesen

- obere Kerntemperaturgrenze des Menschen
ab 40°C \Rightarrow 43°C (Hyperthermie)
- und
- untere Temperaturgrenze
ab 32°C (Hypothermie)
- **künstliche Hypothermie:**
Senkung der Körperkerntemperatur auf ca. **-20°C**
 - \Rightarrow von der Temperatur abhängiger Gewebestoffwechsel
 - \Rightarrow in der Chirurgie zur Herabsetzung des Gewebestoffwechsels,
um an Organen längere Zeit ohne Durchblutung,
d.h. **ohne O₂- Zufuhr** arbeiten zu können!

Körperkerntemperatur

bestimmt durch **Verhältnis** von **Wärmeproduktion** des Körpers und **Wärmeabgabe** durch **Konduktion, Konvektion, Verdunstung, Strahlung**

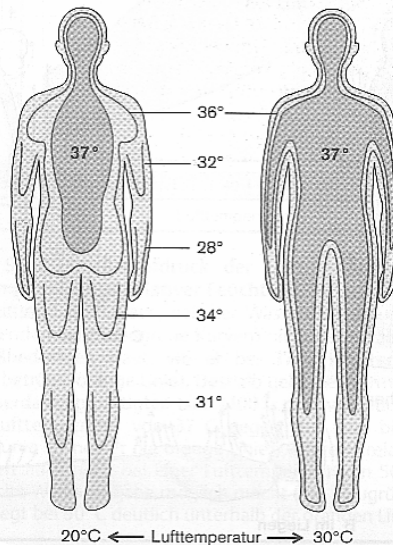
- **Wärmeabgabe** proportional der **Temperaturdifferenz**
bei einer Wärmeproduktion von 70 W erfordert die Erhaltung einer Körperkerntemperatur von 37°C
- **unter 28°C** ⇒ Produktion von mehr Wärme
- **über 28°C** ⇒ Abgabe von mehr Wärme



Thermoregulation

- Wärmebildung -

- **Körperkern** des Menschen: **Gehirn, Inneres des Rumpfes** mit stoffwechselintensiven Organen ⇒ entwickeln in Ruhe **70% der Gesamtwärme**
- **Körperkern** ⇒ **homiothermer Bereich**, Kerntemperatur bei geringen Außentemperaturschwankungen **weitgehend konstant**
- **Körperschalentemperatur** nähert sich von innen nach außen der Umgebungstemperatur
 - **Ausdehnung abhängig** von der **Umgebungstemperatur**
- **Messorte der Kerntemperatur:**
 - axillär
 - sublingual
 - oesophageal
 - rektal

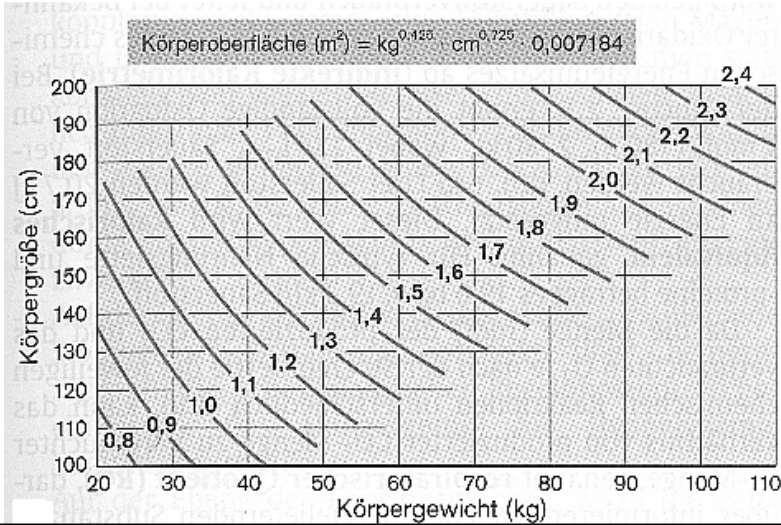


Thermoregulation

- Wärmebildung -

Wärmeproduktionsangabe in $\text{Watt/m}^2 \Rightarrow$ relativ konstante Wechselbeziehung von produzierter Wärme pro Zeiteinheit und pro m^2 -Körperoberfläche

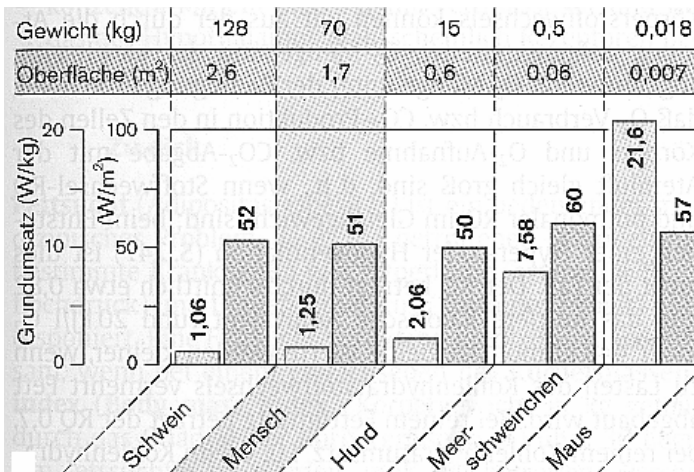
Körperoberfläche: Funktion von Körpermasse und Körpergröße



Thermoregulation, Körperoberfläche und- masse

relativ geringere Körperoberflächenabnahme als Körpermassenabnahme

\Rightarrow **Erhaltung** der Körperkerntemperatur erfordert bei **kleinen Individuen** eine pro Masseneinheit **stärkere Wärmeproduktion** wegen der relativ größeren OF



Thermoregulation

- Wärmebildung -

Richtwert unter **Ruhe(Grundumsatz)**-Bedingungen:

45 W/ m²

- Körpergewicht 80 kp,
Körperlänge 180 cm
Körperoberfläche 2 m²
GU_{absolut} ⇒ 90 W
- **Wärmeabgabe > 90 W** erfordert
⇒ **Steigerung der Wärmeproduktion**
i.d.R. durch
 - **eiweißreiche Mahlzeit**
 - **körperliche Arbeit**
⇒ Wirkungsgrad < 25%
garantiert eine dabei entwickelte Wärmemenge von mindestens 75%
 - **Kältezittern** beim Erwachsenen (rhythmische Muskelkontraktionen)
⇒ Wärmebildung durch **Muskularbeit**

Thermoregulation

- Wärmebildung -

- **zitterfreie Wärmebildung** beim Säugling
und kleinen Säugetieren
⇒ **braunes Fettgewebe** (hoher Stoffwechselumsatz)
in den schalennahen Schichten steigert unter Kältebedingungen die Wärmebildung
um bis zu 60%
 - **Ursache:**
hohe Mitochondrienzahl und
Umgehen der ATP-Produktion in der Atmungskette zu Gunsten der
Wärmebildung
 - **Bedeutung**
Wechselbeziehung von Körpergewicht und Körperoberfläche
⇒ **kleinere Lebewesen:** in **Relation** zur **Körpermasse** eine **größere**
Körperoberfläche

⇒ die **Erhaltung der Körperkerntemperatur**
erfordert in Relation zum Erwachsenen
eine **stärkere Wärmeproduktion**

Thermoregulation

- Wärmeabgabe -

Gesamtwärmeabgabe = Summe aus der **Wärmeabgabe** via **Strahlung, Konduktion, Konvektion, Verdunstung**

- **Konduktion:** Wärmeleitung entlang einem Temperaturgefälle

bei einer **proportionalen Wechselbeziehung** zur **Oberfläche** und **Temperaturdifferenz** bestimmt zusätzlich
⇒ die **Wärmeleitfähigkeit** die weiterleitbare **Wärmemenge**

- **schlechte Wärmeleiter** ⇒ Fettgewebe, Luft, Schaumstoffe
- **gute Wärmeleiter** ⇒ Wasser, Metall
- Dicke des **subcutanen Fettgewebes** bestimmt die **Weiterleitung und Wärmeabgabe** an die **Umgebung** der bis zur Haut abgeleitete Wärmemenge

inneren Wärmestrom ⇒ Vorgang der **Wärmeleitung (Konduktion)** und **Konvektion** innerhalb des Körpers

die **Konvektion** dient der **Erhaltung** resp. **Vergrößerung** des **Temperaturgefälles**

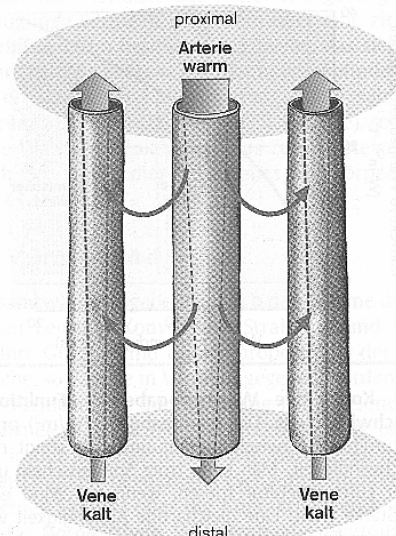
Thermoregulation

- innerer Wärmestrom -

Konvektion ⇒ **Wärmetransport** über das **Vehikelsystem** ⇒ **Blut**, in das die Wärme auf Grund eines Temperaturgefälles via **Konduktion** gelangt

verstärkter Effekt durch

- **venöser Blutrückstrom** in den **Extremitäten**
⇒ die **parallele Anordnung** von **Venen** und **Arterien** ermöglicht **im Gegenstrom** eine direkte Abgabe von Wärme aus den Arterien
- **verstärkte venöse Oberflächen-Durchblutung** unter Hitzebedingung
⇒ **Öffnung der arterio-venösen Anastomosen** ⇒ Steigerung der z.B. Hautdurchblutung an Fingern von 2 auf 1200 ml/(min kg Gewebe)



Thermoregulation

- äußerer Wärmestrom -

Konduktion (äußere)

geringer Anteil der Wärmeabgabe an die Umgebung in Folge

⇒ **geringer Wärmeleitfähigkeit der Luft**

⇒ i.d.R. **geringer Wärmeleitfähigkeit von Kleidung**

⇒ **eng anliegende Kleidung** ⇒ **Zunahme der Wärmeleitfähigkeit** wegen des geringen „Luftpolsters“

⇒ **sehr gute Wärmeleitfähigkeit von Wasser**

bei einer **Temperaturdifferenz von 1°C**

erlaubt

- **Sommerkleidung** einen Wärmedurchgang von **20 W/m²**
- **Polarkleidung** hingegen **2 W/m²**

durch

⇒ **mehrschichtiges Gewebe, Luftkammern**

Thermoregulation

- äußerer Wärmestrom -

Konvektion (äußere)

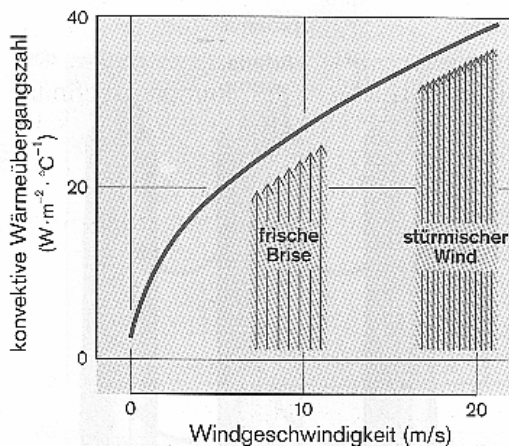
Erhaltung ggf. Verstärkung eines Temperaturgefälles

- **freie Konvektion** ⇒ Temperaturdifferenz von 1°C zwischen Haut und Luft
⇒ **3,5 W/m²**

Aufsteigen der durch Wärmezufuhr leichteren Luft

- **erzwungene Konvektion**
⇒ z.B. **Wind, Wasserströmung**

⇒ **Steigerung der Wärmeabgabe um bis zu 200-fach**



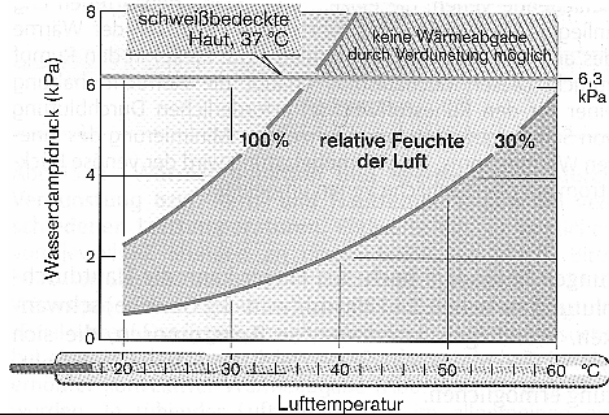
Thermoregulation

- äußerer Wärmestrom -

Verdunstung: Schweißsekretion + Perspiration insensibles (\Rightarrow Diffusion von H_2O durch die Haut/Schleimhaut)

- **Verdampfungswärme von Wasser** $\Rightarrow 2400 \text{ kJ/lH}_2\text{O}$
 - **500 ml Schweiß** können pro Stunde produziert werden $\Rightarrow 333 \text{ W/m}^2$
($1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$) \Rightarrow **7-Faches** der **Ruhwärmeproduktion**
 - **Voraussetzung**
Wasserverdampfung

\Rightarrow **Wasserdampfpartialdruckdifferenz** von Haut (**6,3 kPa bei 37°C**) und Umgebungsluft (**< 6,3 kPa**)

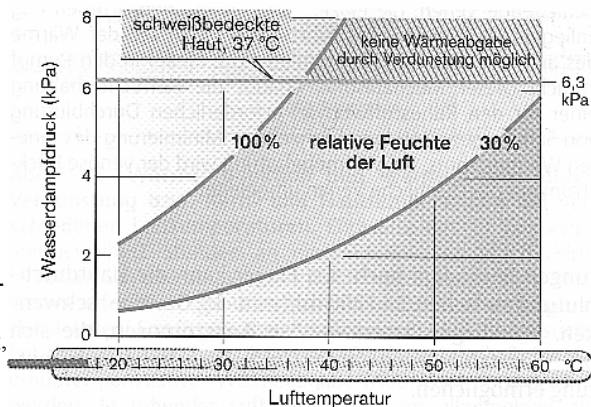


Thermoregulation

- äußerer Wärmestrom -

Verdunstung

- **Wasserdampfsättigung 100%** \Rightarrow maximal möglicher Luftanteil von H_2O in gasförmigem Zustand
- **Zunahme der Wasserdampfsättigung mit der Lufttemperatur**, der **Wasserdampfdruck** entsprechend
- **geringe Wasserdampfsättigung**
 $\Rightarrow H_2O$ -Aufnahme in gasförmigem Zustand verstärkt möglich
 $\Rightarrow H_2O$ verdampft und entzieht Wärme!
- **hohe Wasserdampfsättigung**
 $\Rightarrow H_2O$ bleibt flüssig, verdampft nicht



Thermoregulation

- äußerer Wärmestrom -

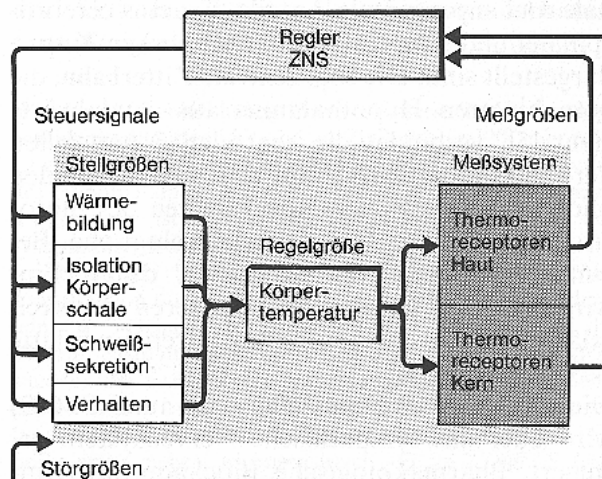
Strahlung ⇒ **Wärmeabgabe** in Form von **elektromagnetischen Wellen**, verstärkt im nicht sichtbaren Infrarot-Bereich: λ (Wellenlänge) $> 0,8 \mu\text{m}$

- **Zunahme der Wärmeabgabe** durch Strahlung mit der **Temperatur** des strahlenden **Körpers**
 - Wärmestrahlen werden absorbiert ⇒ durch schwarze Kleidung oder reflektiert ⇒ durch helle Kleidung
- im biologische Bereich gilt eine annähernd lineare Wechselbeziehung zur Temperaturdifferenz zwischen dem biologischen System und dem umgebenden ebenfalls strahlenden Körper: Heizungskörper, Wand, ...Sonne
 - mögliche Wärmeabgabe durch Strahlung bei einer Temperaturdifferenz von 1° (Haut - Wand) ⇒ $5,4 \text{ W/m}^2$
 - mögliche Wärmeaufnahme durch Sonnenstrahlung bei klarem Himmel ⇒ bis zu 800 W/m^2

Thermoregulation

- Regelkreis -

- **Regelgröße:** Körperkerntemperatur
- **Messung** des Istwerts durch **Temperaturfühler im Kern** und in der **Schale** (Kälte-Sensoren $>$ Wärme-Sensoren)
- **Vergleich**
Istwert-Sollwert
- **Aktivierung der Stellglieder** der Wärmeabgabe, -produktion, im Falle einer Differenz
- **Regelung im**
 - **ZNS**
⇒ Hypothalamus (Zwischenhirn)

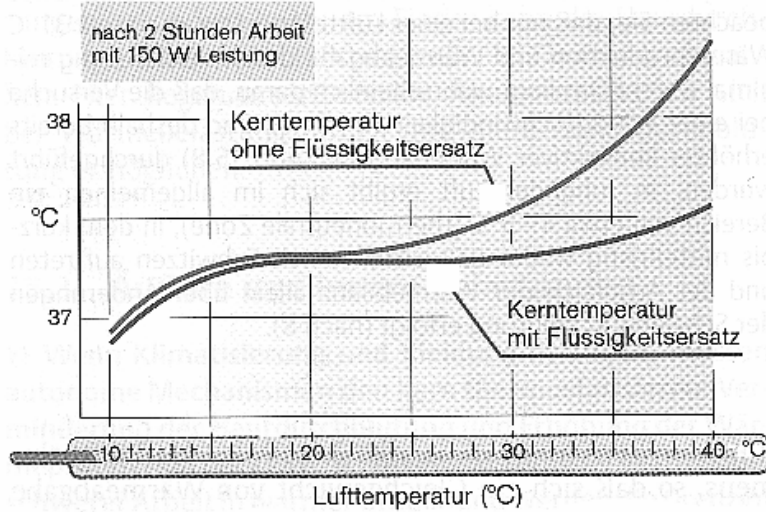


Thermoregulation

- Wärmeadaptation -

- **Körperkerntemperatur und Flüssigkeitsersatz**

- körperliche Arbeit ohne Flüssigkeitsersatz führt bei Lufttemperaturen $> 25^{\circ}\text{C}$ schneller zur Kerntemperaturzunahme



Thermoregulation

- Wärmeadaptation -

Fieber

- **Sollwertverstellung** der Kerntemperatur durch Pyrogen

- **Kältegefühl**
Schüttelfrost

⇒ Wärmebildung

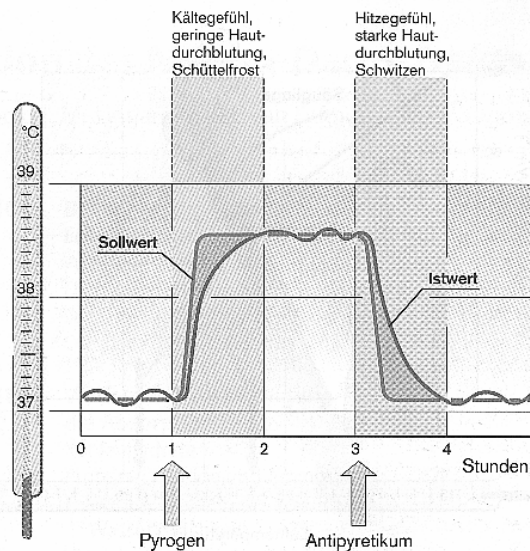
- **Sollwertrückverstellung**

⇒ Abklingen der

- Pyrogenwirkung
- u.a. Schwitzen
- Antipyretikum

- **Istwert-**

Normalisierung



Thermoregulation

- Akklimation und Training -

- **Kälte** \Rightarrow Nachlassen der Kälteempfindung
- **Wärme** \Rightarrow verstärkte Schweißsekretion durch
 1. Training der Schweißdrüsensekretion
 2. Abnahme des NaCl-Gehalts im Schweiß \Rightarrow reduzierte Wasserbindung
 3. Verschiebung der Schwitzschwelle
 4. größeres Flüssigkeitsvolumen
 5. besserer Wirkungsgrad

