

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

TEIL A

PHYSIKALISCHE UND MESSTECHNISCHE GRUNDLAGEN	1
1. ALLGEMEINE GRUNDLAGEN	3
1.1 Internes und externes Klima	3
1.2 Wärmetransportmechanismen	6
1.2.1 Wärmeleitung	6
1.2.2 Wärmeströmung	9
1.2.3 Konduktiver und konvektiver Wärmeübergang ..	10
1.2.4 Wärmeübergang durch Strahlung	11
1.2.5 Wärmeabgabe durch Verdunstung	12
1.3 Störgrößen des internen Klimas	13
1.4 Das Prinzip der Regelung	14
1.5 Grundschema der Temperaturregulation	16
1.5.1 Meßgrößen - Regelgrößen	16
1.5.2 Autonome Regulation - Verhaltensregulation.	18
1.6 Externe Klimabereiche	20
1.7 Interne Temperaturbereiche	22
1.7.1 Komfortbereich	22
1.7.2 Regelungsgrenzen	23
2. KLIMAMESSTECHNIK	24
2.1 Lufttemperaturmessung	24
2.1.1 Ausdehnungsthermometer	24
2.1.2 Widerstandsthermometer/Thermistoren	24
2.1.3 Thermoelemente	25
2.2 Feuchtemessung	29
2.2.1 Haarhygrometer	29
2.2.2 Lithiumchlorid - Taupunktthygrometer	29
2.2.3 Psychrometer nach Assmann	30
2.2.4 Kapazitive Feuchtemessung	31

2.3 Strahlungsmessung	33
2.3.1 Strahlungspyrometer	33
2.3.2 Globethermometer	33
2.4 Luftgeschwindigkeitsmessung	35
2.4.1 Prandtl'sches Staurohr	35
2.4.2 Flügelrad-Anemometer	35
2.4.3 Hitzdraht-Anemometer	35
2.5 Luftdruckmessung	36
2.5.1 Flüssigkeits- und Federmanometer	36
2.5.2 Elektrische Manometer	36
 3. THERMOPHYSIOLOGISCHE MESSTECHNIK	37
3.1 Körpertemperaturen	37
3.2 Wärmeproduktion, Atemgasanalyse	39
3.3 Schweißproduktion, Verdunstung	43
3.4 Durchblutung	46
3.5 EKG, EMG, EEG	48
3.6 Einzelzellableitungen	52
 4. DATENVERARBEITUNG IN DER KLIMAPHYSIOLOGIE	55
4.1 Datenaufnahme und Basisdatenverarbeitung	55
4.2 Signalanalyse: Korrelationstechnik	58
4.2.1 Analyse kontinuierlicher Signale	58
4.2.2 Analyse diskreter Signale, insbesondere neuronaler Impulsfolgen	63

TEIL B

 PHYSIOLOGISCHE UND PATHOPHYSIOLOGISCHE FAKTEN UND PROBLEME	67
 5. DIE SUBSYSTEME DER TEMPERATURREGULATION	69
5.1 Die Regelstrecke	69
5.1.1 Topographie des Körpers	69
5.1.2 Topographie der Temperaturen	71

5.2 Die Meßfühler	74
5.2.1 Topographie der Rezeptoren	74
5.2.2 Statische und dynamische Eigenschaften thermosensitiver Elemente	77
5.3 Die Informationsverarbeitung	81
5.3.1 Das thermoaffere System	81
5.3.1.1 Thermoresponsive Neurone	82
5.3.1.2 Binäre Eigenschaften	85
5.3.1.3 Schaltstationen	87
5.3.2 Prinzipien der Informationsübertragung ...	90
5.3.2.1 Mittlere Impulsrate	90
5.3.2.2 Burst-Entladungen zentraler Neurone	93
5.3.2.3 Periodizitäten im Entladungsverhal- ten zentraler Neurone	95
5.3.3 Regelungszentren	98
5.4 Die autonomen Effektormaßnahmen (Stellglieder) .	99
5.4.1 Wärmeproduktion	99
5.4.2 Durchblutungsänderungen (Vasomotorik)	104
5.4.3 Schweißproduktion und Verdunstung	108
5.4.4 Respiratorische (evaporative) Wärmeabgabe.	113
5.4.5 Nervale und humorale Steuerung der Effek- tormaßnahmen	113
6. ARBEIT UND TEMPERATURREGULATION	115
6.1 Wirkung auf die Körpertemperaturen und Effektor- maßnahmen	115
6.2 Sollwertverstellung oder Regelabweichung ?	118
7. LANGZEITPROZESSE	120
7.1 Cirkadianer Rhythmus	120
7.2 Menstruationszyklus	121
7.3 Jahreszeitenperiodik	121
7.4 Akklimatisation	122
7.4.1 Temperaturen und Effektormaßnahmen	123
7.4.2 Schwellenverschiebungen	124

7.4.3 Neurophysiologische Korrelate	126
7.4.4 Akklimatisation und Arbeit	128
7.5 Ontogenese	130
7.5.1 Temperaturregulation des Neugeborenen	130
7.5.2 Temperaturregulation im Alter	131
 8. PATHOPHYSIOLOGIE DES WÄRMEHAUSHALTS	132
8.1 Hyperthermie	132
8.2 Hypothermie	133
8.3 Fieber	134
8.3.1 Ursachen und Vermittler des Fiebers	134
8.3.2 Interaktion Fieber / Temperaturregulation ..	136
8.3.3 Bedeutung des Fiebers	139
 9. KLIMA UND EMPFINDUNG	141
9.1 Temperaturrempfindung	141
9.2 Klimabeurteilung	142

TEIL C

 REGELUNGSTHEORETISCHE ASPEKTE UND SYSTEMSIMULATION	147
 10. SYSTEM- UND REGELUNGSTHEORETISCHE ASPEKTE	149
10.1 Nichtlineare Regelung mit verteilten Parametern	149
10.2 Adaptives Mehrebenensystem	155
10.3 Regelungsstrategie	158
10.3.1 Steuerungskonzepte für die Effektormaß- nahmen	158
10.3.2 Die Regelgröße	162
10.3.3 Steady-State-Konzepte	164
10.3.4 Balance des regelnden und des geregelten Systems	166
10.3.5 "Sollwertverstellung" bei Fieber	170
10.3.6 Verkopplung der Kälte- und Wärmeabwehr- systeme	173
10.3.7 Zusammenhang der Steady-State-Konzepte ..	176

11. MATHEMATISCHE SYSTEMSIMULATION	179
11.1 Realisierungen auf dem Analogrechner	180
11.1.1 Kern-Schale-Modelle	180
11.1.2 Zylindermodelle	185
11.2 Realisierungen auf dem Digitalrechner	193
11.2.1 Ausgangsdaten	193
11.2.2 Modell mit konzentrierten Parametern ...	195
11.2.2.1 Die Grundgleichungen des passiven Systems	195
11.2.2.2 Die Reglergleichungen	198
11.2.2.3 Das Übergangsverhalten	201
11.2.2.4 Das Frequenzverhalten	203
11.2.3 Modell mit verteilten Parametern (Radiale Abhängigkeit)	205
11.2.3.1 Die Grundgleichungen das passiven Systems	207
11.2.3.2 Integraltransformationen	211
11.2.3.3 Rücktransformation und Green'sche Funktion der Regelstrecke	213
11.2.3.4 Der geschlossene Regelkreis ...	214
11.2.3.5 Verhalten des offenen und geschlossenen Regelkreises	219
11.2.3.6 Effektivität des Reglers	220
11.2.3.7 Stationäre Profile	221
11.2.3.8 Das Frequenzverhalten	222
11.2.3.9 Dynamik radialer Temperaturprofile	226
11.2.4 Modell mit verteilten Parametern (dreidimensionale Abhängigkeit)	229
11.2.4.1 Datenbank der Anatomie der Regelstrecke	232
11.2.4.2 Physiologische Daten	235
11.2.4.3 Abhängigkeit der Wärmetransportzahl von der Durchblutung	236
11.2.4.4 Die Systemgleichungen	244

11.3 Neuronale Modelle	250
11.3.1 Verarbeitung peripherer und zentraler Signale	250
11.3.2 Adaptationsprozesse	253
 LITERATURVERZEICHNIS	257
REGISTER	281