

Warmlaufen oder Kaltstart?

Sportliche Höchstleistung durch Kälte / Von Kurt Brück



Abb. 1a: Wer hat die größeren Siegchancen: der Kaltstarter oder der Läufer mit vorgewärmten Muskeln? (Foto: G. Neumann)

Während sich der Mensch mit der Entwicklung von Kraftmaschinen mehr und mehr von körperlicher Arbeit befreit hat, wurden mit der enormen Entwicklung des Leistungssports und seiner Verbreitung in allen Bevölkerungskreisen dem Körper in zunehmendem Maße Höchstleistungen abgefordert, und es ist noch kein sportlicher Rekordwert mit Sicherheit als der absolute Bestwert erkennbar. Es wächst damit das Interesse an der Frage, auf welchen physiologischen Mechanismen die Optimierung von körperlichen Leistungen beruht. Aus der Kenntnis der Zusammenhänge lassen sich, so hofft man, Regeln für die weitere Verbesserung der Leistungsfähigkeit und vor allem für die Vermeidung von Schäden ableiten. Die leistungsphysiologischen Daten und Erkenntnisse decken sich nicht immer mit tradierten Ratschlägen und Empfehlungen, an denen in Sport- und Trainerkreisen noch vielfach festgehalten wird. So hat der durch die Entwicklung von Trainingsprogrammen zunächst für Astronauten, später für Manager bekannte amerikanische Leistungsphysiologe Morehouse in seinem Buch „Fitness für Faule“ (Rohwolt, 1977) die „15 Lügen über Fitness“ zusammengestellt. Das sind weitverbreitete Regeln und Empfehlungen („Ammenmärchen“), deren Befolgung nicht hilft, oder schlimmer, Nachteile mit sich bringt.

So hat z. B. die Empfehlung, bei Ausdauerleistungen sich möglichst große Zurückhaltung in der Flüssigkeitszufuhr aufzuerlegen, schon vielfach zu fatalen Dehydrationszuständen geführt. Die „Lüge“ von der nützlichen Wirkung einer Wasserkarenz ist wohl weithin als solche erkannt worden. Eine andere, die uns hier beschäftigen soll, findet jedoch noch weithin Gläubige. Es ist die Rede vom „Warmlaufen“ oder „warming up“. Wenn man die Begriffe wörtlich nimmt, dann heißt das ja, daß die Erhöhung der Körpertemperatur eine leistungsbegünstigende Wirkung zeitige. Eine Zeitlang schien die Warmlaufpraxis durch physiologische Befunde und Konzepte gestützt zu werden. Das jedoch hat sich in den letzten Jahren geändert. Es soll deshalb im folgenden versucht werden, die neuen Gesichtspunkte zu der Bedeutung der Körpertemperatur für sportliche Höchstleistungen in der gebotenen Kürze zu erörtern.

Körpertemperaturen

Der Konstanz der Körpertemperatur liegt bei allen homeothermen Lebewesen, so auch dem Menschen, ein System mit negativer Rückkopplung zugrunde. Meßfühler in Gestalt von Thermorezeptoren der Haut und des Körperinneren messen fortlaufend die Temperaturen an der Körperoberfläche und im Körperinneren; die Temperaturinformation erreicht über Nervenbahnen ein neuronales Netzwerk im Bereich des Zwischenhirns und unteren Hirnstamms. Hier erfolgt Verrechnung der Eingangssignale und eine entsprechende Aktivierung von Effektoraktionen („Stell-Reaktionen“), womit einer Abweichung der Körpertemperatur von einem „Sollwert“ entgegengewirkt werden kann. Als Effektoren oder Stellglieder dienen das periphere Durchblutungssystem, die Schweißdrüsen und die Skelettmuskeln, in denen durch unwillkürli-

ches Zittern oder durch aktive Bewegung Wärme zur Konstanthaltung der Körpertemperatur produziert werden kann. Diesen autonomen Stellreaktionen wird die Einstellung der Körpertemperatur durch Verhaltensmaßnahmen (Wärmeschutz durch Bekleidung und Behausung) gegenübergestellt. Obgleich geregelt, zeigt die Temperatur, auch die in der Körpertiefe gemessene Kerntemperatur (z. B. Temperatur im Mastdarm, in der Speiseröhre), erhebliche Schwankungen; so sinkt die Kerntemperatur als Ausdruck eines Tag-Nacht-Rhythmus am frühen Morgen auf Werte um bis zu 1 °C unter die am Nachmittag gemessenen ab. Auch im Verlauf des Menstruationszyklus gibt es Temperaturschwankungen der Größenordnung von 0,5 °C. Bei Infektionskrankheiten kann die Körpertemperatur leicht auf 39–40 °C in selteneren Fällen auf 41–42 °C ansteigen. Für die vorliegende Betrachtung von besonderem Interesse sind die Temperaturveränderungen, die sich im Verlaufe körperlicher Arbeit finden.

Körpertemperatur bei Arbeit

Bei körperlicher Arbeit steigt die Körpertemperatur auf Werte an, die denen bei höherem Fieber entsprechen, worüber Laien, wenn sie zufällig einmal die Körpertemperatur bei einer solchen Belastung oder bei Kindern nach stärkerem Toben messen, erschrocken sind. Die Höhe dieser sogenannten Arbeitshyperthermie hängt nicht von der absoluten Leistung ab, sondern von der auf die maximale Leistungsfähigkeit bezogenen prozentualen Leistung einer Person. Die Maximalleistung eines Individuums ist durch seine Sauerstoffaufnahmekapazität bestimmt, die ihrerseits von der Körpergröße, Konstitution, Kondition (Trainingszustand) abhängig ist.

Einige Zahlen zur Verdeutlichung: Bei einem ruhenden Erwachsenen beträgt die O₂-Aufnahme (VO₂) 0,2–0,3 Liter/min. Schlecht trainierte junge sowie ältere Menschen können ihre VO₂ bestenfalls auf 1,5–2 Liter pro Minute steigern, hochtrainierte Ausdauersportler dagegen bringen es auf 5–6 Liter/min. Sie können demgemäß, grob gerechnet, eine dreimal größere Leistung als der Untrainierte vollbringen. Auf dem Fahrradergometer läßt sich die erbrachte Leistung in Watt (W) messen. Man findet demgemäß beim Untrainierten Leistungen in der Größenordnung von 150 W, bei Hochleistungssportlern von 450 W. Die Körpertemperatur der Hochleistungssportler wird demgemäß bei 300 W (= 65% der maximalen Leistung) auf denselben Wert ansteigen, den der Untrainierte bei nur 100 W erreicht. Da der Beginn des Schwitzens von der Körpertemperatur bestimmt wird, muß der Untrainierte bei viel niedri-

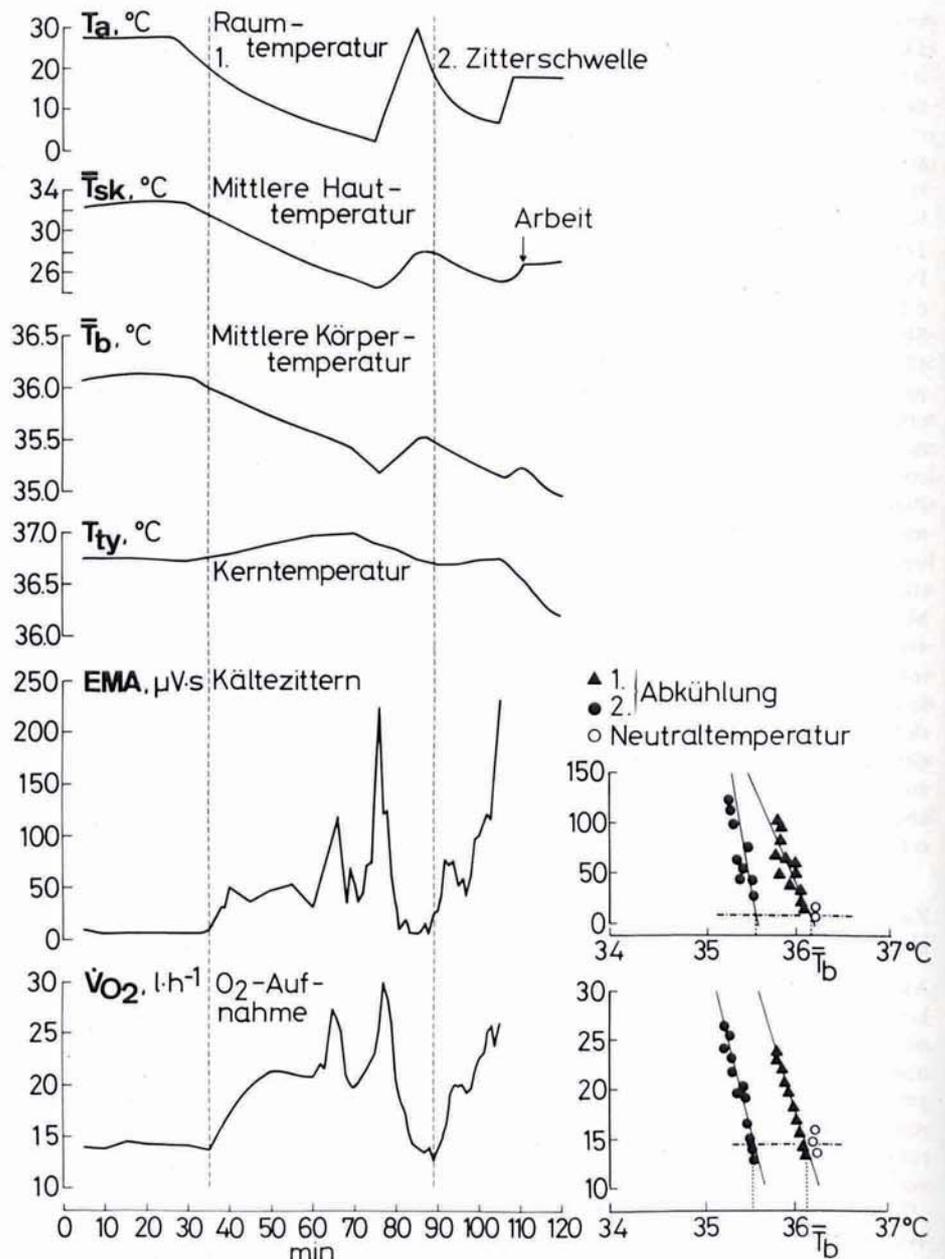


Abb. 1: Vorkühlungsversuch zur Senkung der Körpertemperatur vor Beginn der Arbeit („Kaltstart“). Es wird die Raumtemperatur zweimal hintereinander kurzfristig auf 5–10 °C abgesenkt. Die rechten Einsatzdiagramme zeigen, daß bei der zweiten Abkühlung die Kälteabwehrreaktion erst bei tieferen mittleren Körpertemperaturen – „Kurzzeitadaptation“ – auftrat. Man beachte, daß die stärkste Kerntempertursenkung nach Beginn der Arbeit erfolgt. EMA, elektrische Muskelaktivität.

geren Belastungen schwitzen als der Trainierte. Bei submaximaler Arbeit bis zu ca. 60% der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) ist die Körpertemperatur, die sich im Verlauf einer einstündigen Arbeit einstellt, innerhalb eines weiten Bereiches (15–30 °C) weitgehend unabhängig von der Umgebungstemperatur, sofern die mit dem Schweiß verlorengelassene Flüssigkeit laufend ersetzt wird. Bei höheren Leistungen und höheren Umgebungstemperaturen allerdings steigt die Kerntemperatur im Verlauf länger dauernder Leistungsforderungen

gen auf Werte über 39 °C an. So wurden bei Weltklasse-Marathonläufern nach dem Zieldurchgang Rektaltemperaturen von 40–41 °C, in Einzelfällen bis zu 42 °C gemessen.

Interpretation des Anstiegs der Körpertemperatur

Ist die Arbeitshyperthermie Folge einer Überbeanspruchung der Thermoregulation durch die mit der Arbeit zwangsläufig verbundene Wärmebildung? Oder wie sonst ist

der Anstieg der Körpertemperatur in einem geregelten System zu erklären? Bei einer Überforderung des Thermoregulationssystems müßte die Körpertemperatursteigerung mit zunehmender Umgebungstemperatur anwachsen. Das ist aber – wie oben gezeigt wurde – gerade nicht der Fall. Dieser Befund, der immer wieder reproduziert werden konnte, veranlaßte Marius Niessen (1938) vielmehr anzunehmen, daß die Arbeitshyperthermie als Ausdruck einer Verstellung des Regulationssystems auf ein höheres Temperaturniveau – in der Regeltechnik wird dieser Vorgang als Sollwertverstellung bezeichnet – aufzufassen sei. Alle chemischen Grundprozesse haben einen positiven Temperaturkoeffizienten, d.h. die Reaktionsgeschwindigkeiten nehmen mit zunehmender Temperatur zu. Auch die Enzymaktivitäten haben gewisse Temperaturoptima. Aufgrund dieser Gegebenheiten konnte man vermuten, daß die Temperaturerhöhung von einem Organismus angestrebt wird, um eine erhöhte Leistungsfähigkeit zu erreichen. Damit schien es für viele Jahre eine wissenschaftliche Begründung für das Konzept des Warmlaufens gegeben.

Doch diese Vorstellung ließ sich nicht halten. Das Konzept der Sollwertverstellung war auf einer unzureichenden Kenntnis des thermoregulatorischen Systems begründet. Wie schon oben ausgeführt, besitzt der Körper Temperaturmeßelemente nicht nur im Körperkern, sondern auch in der Haut. Die bei der Arbeit anfallende überschüssige Wärme steigert zwar die Kerntemperatur, doch die Hauttemperatur kann mit einsetzendem Schwitzen infolge der Verdunstungskälte sogar absinken. Da die thermoregulatorischen Abwehrvorgänge, hier also das Schwitzen, von Kern- und Hautrezeptoren gesteuert werden, muß die Senkung der Hauttemperatur eine hemmende Wirkung auf die Schweißsekretion haben. Der Anstieg der Kerntemperatur ist somit als das besondere Charakteristikum eines Proportionalreglers mit multiplen Eingängen anzusehen. Verstärkt wird allerdings die Divergenz zwischen Kern- und Hauttemperatur durch eine Verengung der Hautgefäße, die als Kompensation für die bei Arbeit einsetzende Erweiterung der Muskelgefäße auftritt und im Dienste der Blutdruckregulation steht. So ist die Höhe der Kerntemperatur das Ergebnis eines Kompromisses, der aus dem Wettstreit der Regulationssysteme resultiert. Zweifel an der Vorstellung, daß eine Steigerung der Körpertemperatur vom Körper zur Leistungsbegünstigung angestrebt werde, ergab sich auch aus dem Studium langzeitiger thermischer Anpassungsvorgänge.

Thermische Adaptation (Akklimatisation)

Bei wiederholter Hitzebelastung, sei es durch extrem hohe Umgebungstemperatur

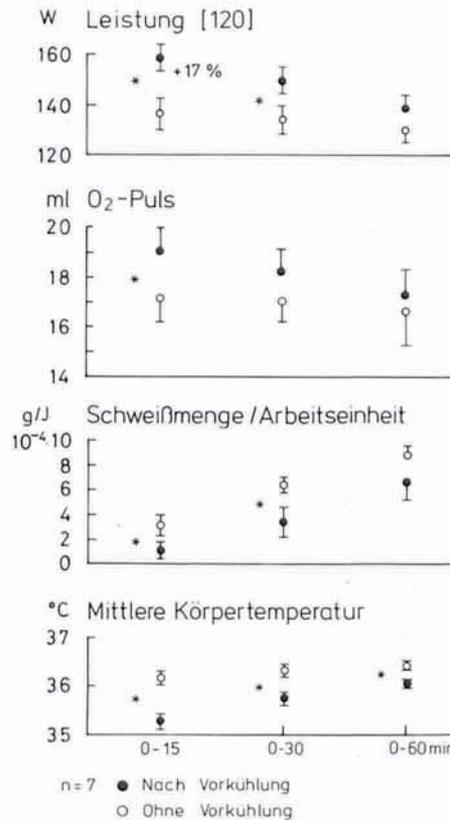


Abb. 2: Leistungssteigerung nach Vorkühlung bei vorgegebener Herzfrequenz von 120/min. Mittelwerte über die ersten 15, die ersten 30 min und die ganze Stunde des Tests. * Differenzen statistisch signifikant, $p < 0,05$.

ren wie in der Sauna oder durch intensive, mit Schwitzen verbundene körperliche Aktivität, verschiebt sich die Schwelle, bei der Schwitzen ausgelöst wird, zu einer tieferen Körpertemperatur. Gleichzeitig wird die Kapazität der Schweißproduktion erhöht, die maximale Schweißsekretionsrate steigt von etwa 500 ml auf 1000 ml pro Stunde an, was natürlich auch eine entsprechend erhöhte Flüssigkeitszufuhr fordert. Auch die Schwellentemperaturen für die Kälteabwehr – Kältezittern und Verengung der Hautblutgefäße – werden bei Hitzeadaptierten erniedrigt gefunden. Der Hitzeadaptierte stellt deshalb schon unter Ruhebedingungen eine leicht erniedrigte Körpertemperatur ein; durch den frühen Einsatz der Schweißsekretion und der gleichzeitigen Öffnung der Hautblutgefäße wird die Wärmeabgabe begünstigt und der arbeitsbedingte Anstieg der Körperkerntemperatur hinausgezögert. Die höhere maximale Schweißrate erlaubt es dem Akklimatisierten, auch mit dem erhöhten Wärmeanfall, der Folge seiner trainingsbedingten Leistungszunahme ist, bei maximaler Leistungsforderung fertig zu werden. Diese Veränderungen sind ganz und gar nicht mit dem Konzept einer Leistungsbegünstigung

durch ansteigende Körpertemperatur in Einklang zu bringen. Man ist nach diesen Befunden eher versucht, den Spieß umzudrehen und zu schließen, daß möglicherweise schon kleine Verminderungen des Körpertemperaturanstieges leistungsbegünstigend sind. Dies war der Ausgangspunkt für eine Serie von Untersuchungen, die wir im hiesigen Physiologischen Institut unter dem Kenn- und Schlagwort „Kaltstart“ durchführten.

Kaltstartexperimente

Wir haben als Alternative zum Warmlaufen den Effekt von leicht unter die normalen Ausgangswerte gesenkten Körpertemperaturen untersucht. Die Versuchspersonen, die sich zu unseren Versuchen meldeten, arbeiteten nach Erklärungen der gesamten Versuchsanordnung auf einem in einer Klimakammer aufgestellten Fahrradergometer bei einer Umgebungstemperatur von 18 °C. In zufälliger Reihenfolge ging den verschiedenen Belastungen entweder eine Ruhepause bei thermischer Indifferenz (28 °C Umgebungstemperatur) voraus oder ein Vorkühlmanöver, das zu einer Absenkung der mittleren Körpertemperatur (berechnet aus Körperkerntemperatur und mittlerer Hauttemperatur) um 0,5–1 °C führte. Es wurde hierzu die Umgebungstemperatur zweimal hintereinander von 28 auf 5–10 °C gesenkt (Abb. 1). Die zweimalige Abkühlung hat sich aufgrund eines bei dieser Gelegenheit bemerkten Kurzzeitadaptationseffektes als günstig erwiesen. Es zeigte sich nämlich, daß bei einer zweiten Abkühlung die Schwelle für das Kältezittern zu einer tieferen Körpertemperatur verschoben war, d.h. die Kälteabwehr setzte erst bei tieferer Temperatur ein. Den Effekt dieser Kurzzeitadaptation werden die meisten Leser schon an sich selbst beobachtet haben: Beim zweiten Sprung in ein kaltes Schwimmbecken empfindet man meist einen geringeren Kälteschauer als beim ersten Mal.

In einer ersten Versuchsserie wurden die Versuchspersonen gebeten, für eine Stunde bei einer Herzfrequenz von genau 120 Schlägen pro Minute auf dem Fahrradergometer zu arbeiten. Die Versuchspersonen konnten ihre Herzfrequenz an einem an der Lenkstange angebrachten Meßinstrument fortlaufend ablesen; außerdem konnten sie den Zeitablauf an einer großen vor ihnen stehenden Stoppuhr verfolgen. Nach Vorkühlung erreichten die Versuchspersonen in der ersten Viertelstunde („0–15 min“, Abb. 2), durchschnittlich eine um 17% höhere Leistung, während ihre Körpertemperatur deutlich abgesenkt war. Auch bei Betrachtung der ersten halben Stunde („0–30 min“) zeigt sich noch ein deutlicher Leistungsvorteil durch die Vorkühlung. Im

Verlauf der zweiten halben Stunde näherten sich die Temperaturen an, und der Leistungsunterschied verschwand bei Mittelung über die ganze Stunde. In der Abb. 2 ist neben der Herzfrequenz und der Leistung der sogenannte O_2 -Puls angegeben; diese Größe zeigt die Menge O_2 an, die pro Herzschlag der Körperperipherie zugeführt werden kann. In den späteren Serien konnten wir zeigen, daß die Erhöhung des O_2 -Pulses im Kaltstart auf einer Vergrößerung des Herzschlagvolumens und einer vergrößerten Ausnutzung des Sauerstoffgehaltes des Blutes (Vergrößerung der arteriovenösen O_2 -Differenz) beruht. Diese Veränderungen sind als temperaturbedingte Ökonomisierung der Kreislauffunktion anzusehen. Wie die Abb. 2 weiter zeigt, wurde nach Kaltstart weniger geschwitzt, d. h. die thermoregulatorische Belastung war nach Kaltstart geringer.

Ein günstiger Effekt der Vorkühlung ließ sich auch in einem andersartigen Leistungstest nachweisen. Die Versuchspersonen (alles guttrainierte junge Ruderer) wurden gebeten, innerhalb genau einer Stunde so hart wie möglich zu arbeiten. Die Variationsmöglichkeit der Leistung bestand in der Änderung der Pedalumdrehungszahl, die allerdings zwischen 60 und 100 pro Minute gehalten wurde, indem der Versuchsleiter – unbemerkt für die Probanden – die Last (Drehmoment) des Fahrradergometers anpaßte. Die Ausgangslast wurde individuell so eingestellt, daß 50% der vorher bestimmten VO_{2max} der Versuchspersonen erreicht wurde. Die Versuchspersonen arbeiteten typischerweise zunächst mit 50–60% ihrer maximalen Leistungsfähigkeit; in einem Endspurt steigerten sie die Leistung in der Regel bis auf 90–100% der VO_{2max} . Wie die Abb. 3 zeigt, waren die Leistungen nach dem Kaltstart während der ganzen Stunde erhöht; im Mittel betrug die Steigerung 6,8%. Die Unterschiede waren gemäß Varianzanalyse statistisch signifikant. Die erreichten Herzfrequenzen waren in beiden Versuchsbedingungen annähernd gleich (kein signifikanter Unterschied; Abb. 3). Das heißt, daß die Versuchspersonen nach Vorkühlung offenbar eine Arbeitsbelastung wählten, die die gleiche kardiale Leistung erforderte wie im Kontrollversuch; dabei war jedoch ihre Leistung erhöht.

Weitere Versuchsreihen

In einer dritten Versuchsreihe wurde bei Hochleistungsruderern die maximale O_2 -Aufnahme in einem Stufentest (Steigerung der Belastung alle vier Minuten um 40–60 Watt) gemessen. Es ergab sich dabei keine Verminderung nach Kaltstart. In Einzelfällen fand sich sogar eine leichte Steigerung der maximalen Leistungsfähigkeit nach Vorkühlung.

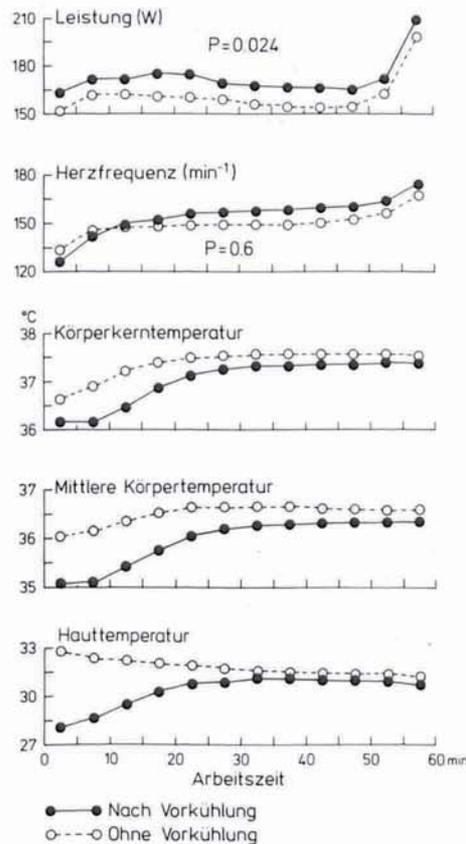


Abb. 3: Ein-Stunden-Leistungstest. Mittelwerte von sieben jungen Ruderern mit und ohne Vorkühlung. Man beachte durchgehend höhere Leistung nach Vorkühlung bei gleicher kardialer Belastung (Herzfrequenz).

In einem vierten Test schließlich wurden die Versuchspersonen nach stufenweiser Belastungssteigerung gebeten, bei 80% ihrer maximalen Leistungsfähigkeit solange zu arbeiten, wie sie konnten. Das Fahrradergometer war dabei auf konstante Leistung eingestellt, d. h. bei zunehmender Drehzahl wurde die Last automatisch verringert und umgekehrt. Dabei ergab sich nach Kaltstart eine statistisch signifikante Verlängerung der Durchhaltezeit von 18,5 auf 20,8 min, d. h. eine Steigerung um 12%. Wie in den vorausgegangenen Serien ergab sich wiederum aus den Meßdaten, daß nach Vorkühlung die thermoregulatorische und cardiovasculäre Belastung geringer war. Diese Versuchsreihe brachte noch einen überraschenden Nebenbefund, der wahrscheinlich für die physiologische Interpretation der Befunde von Bedeutung sein wird: Nach Kaltstart wählten die Versuchspersonen eine signifikant niedrigere Pedalumdrehungszahl als in den Kontrollversuchen (71 vs. 78 Umdrehungen pro Minute, $p < 0,05$). Es ist daraus zu schließen, daß im Kaltstart offenbar die Aufbringung einer größeren Muskelkraft leichter fällt als im Warmstart. Auch kann die geringere Zunahme der Pe-

dalumdrehungszahl als ein Zeichen weniger starker Ermüdung im Kaltstartversuch angesehen werden.

Aufgrund von Literaturdaten kann man vermuten, daß im kühlen Muskel vorzugsweise sogenannte langsame rote, auf Ausdauerbelastung spezialisierte Muskelfasern aktiviert werden. Die roten Muskelfasern sind in der Lage, Milchsäure, die bei starker körperlicher Arbeit anfällt und durch Übersäuerung des Körpers zu einem arbeitslimitierenden Faktor wird, abzubauen, während die schnellen hellen Muskelfasern, deren Aktivierung rasch kurzdauernde Bewegungen ermöglicht, ihre Energie rein anaerob gewinnen und damit zur Steigerung der Milchsäure im Körper beitragen. Es leitet sich daraus die Hypothese ab, daß das neural gesteuerte Rekrutierungsverhältnis der unterschiedlichen Muskelfasern durch die Körpertemperatur beeinflusst wird. Weitere laufende Untersuchungen am Physiologischen Institut sollen zur Klärung der mit dieser Hypothese verknüpften Fragen beitragen. Besonders betont sei am Ende, daß eine günstige Wirkung von "warming up" im Sinne von Geschmeidigmachen der Muskulatur und der Gelenke vor *kurzdauernden* Leistungen, die maximale Kraft – Musterbeispiel: Sprint – und feinste Muskelkoordination fordern, keinesfalls bestritten werden soll, soweit damit nicht erhebliche Körpertemperatursteigerungen verbunden sind.

Zusammenfassung

Neue experimentelle Untersuchungen zur Thermoregulation und -adaptation sowie spezielle leistungsphysiologische Untersuchungen haben gezeigt, daß die Vorstellung, Ausdauerleistungen könnten durch Anhebung der Körpertemperatur (Aufwärmen im wörtlichen Sinn, warming up) gesteigert werden, nicht begründet ist. Vielmehr ließ sich mit verschiedenen Versuchsansätzen zeigen, daß Ausdauerleistung durch niedrigere Körpertemperaturen, sogar bei Absenkung unter die normalen Ruhewerte, begünstigt wird. Diese überraschende Tatsache beruht auf der temperaturabhängigkeit mehrerer physiologischer Regulationsvorgänge, deren Beanspruchung mit steigender Temperatur zu einem zunehmenden Diskomfort führt, der dem Antrieb zum Durchhalten der Leistung entgegenwirkt.

An den experimentellen Arbeiten, die diesem Überblick zugrunde liegen, waren folgende Mitarbeiter, z. T. als Doktoranden und Examenskandidaten (Sportwissenschaften), beteiligt: Dr. rer. nat. Ewald Bahner, Dr. med. Erika Baum, Dr. med. Volker Hessemer, Dr. med. Brigitte Krannig, Dietmar Langusch, Dr. med. Renate Lechner-Becker, Günther Neumann, Dr. med. Horst Olschewski, Dr. med. dent. Volker Schmidt, Dr. med. Heinz-Peter Schwennicke, Dr. med. Angelika Zeh.