

sportsCARE 02/2008 - Die neue Hottenrott-Formel

Frauen und Männer benötigen unterschiedliche Vorgaben bei der Pulsfrequenz

Herzfrequenzformeln können Frauen ganz schön frustrieren. Trotz Wohlfühltempo klettert der Puls beim Laufen schnell über das vorgegebene Maximum. Der Grund: Die Berechnung orientierte sich bislang am männlichen Geschlecht. Frauenherzen sind aber kleiner und schlagen schneller vor allem bei leichter körperlicher Aktivität. Die Unterschiede betragen 10 bis 15 Schläge beim Grundlagenausdauertraining. Das stellte Prof. Hottenrott in einer Untersuchung mit Marathonläuferinnen und –läufern fest. Aus seinen Untersuchungsergebnissen entwickelte er eine neue Pulsformel für Frauen und Männer.

Von Prof. Dr. Kuno Hottenrott

Unterschiede der Geschlechter in punkto Puls

Zwischen Männern und Frauen bestehen eine Vielzahl Unterschiede, sowohl was die Körperstruktur angeht als auch die biochemischen Vorgänge innerhalb des Stoffwechsels. Diese Unterschiede beeinflussen auch die Leistungsfähigkeit. So haben Frauen beispielsweise eine kleinere Muskelmasse, geringere Körpermaße, ein geringeres Blutvolumen und damit auch eine verminderte Fähigkeit, den so wichtigen Sauerstoff im Blut zu transportieren, sowie eine geringere Testosteronproduktion als der Mann.

Unterschiede zwischen Frauen und Männer zeigen sich auch bei der Herzfrequenz. Frauen haben meist eine höhere Ruhe-Herzfrequenz als Männer. Dies erklärt sich durch das von vorneherein kleinere Herz der Frau. Das bedingt nämlich auch ein geringeres Schlagvolumen des Herzmuskels als beim Mann. Um das gleiche Herzminutenvolumen zu erreichen, muss folglich das Herz der Frau schneller schlagen, ähnlich wie das kleinere Kinderherz im Vergleich zum größeren Herz des Erwachsenen. Nimmt das Herz durch Ausdauertraining an Volumen zu und es bildet sich ein Sportherz heraus, sinkt in der Folge die Herzfrequenz in Ruhe. Israel (1979) konnte zeigen, dass es bei Frauen bei einer Herzvergrößerung um 100 ml zu einer Abnahme der Ruheherzfrequenz um 4,4 Schläge/min kommt, bei Männern sind es hingegen nur 3,2 Schläge/min weniger. Aber nicht nur die Herzgröße bestimmt die Höhe der Herzfrequenz, sondern auch genetische Anlagen, Einflüsse des Stoffwechsels, die Zähflüssigkeit des Blutes, das Gesamtblutvolumen, die Blutzusammensetzung und viele weitere Faktoren machen sich bemerkbar. Sportler, die regelmäßig ihre Ausdauer trainieren, haben so ein größeres Blutvolumen als Untrainierte.

Das menschliche Blut besteht aus einem flüssigen Anteil, dem so genannten Plasma, und den Blutzellen, dem Hämoglobin, das wiederum die tolle Fähigkeit besitzt, den wichtigen Sauerstoff an sich zu binden. Ausdauersportler, deren Blutmenge größer ist als bei Untrainierten, erreichen das dadurch, dass sie mehr Blutflüssigkeit (also Plasma) gebildet haben. Das wiederum hat die Folge, dass im Verhältnis zur Blutflüssigkeit der Anteil an Blutzellen eher niedriger ist. Ausdauer-Trainierte haben also, wie die Fachleute sagen, eine Tendenz zu niedrigeren Hämoglobinkonzentrationen. Das Verhältnis von Blutflüssigkeit zu Blutzellen wird mit einem Wert gemessen, den man Hämatokrit nennt. Frauen haben demnach einen geringeren Hämatokritwert, weil ihr Blut von vorneherein dünnflüssiger ist als das der Männer. Daraus freilich lässt sich folgern, dass eine geringere Herzkraft notwendig und die Blutgeschwindigkeit erhöht ist.

Die Zusammensetzung des Blutes ist bei der Frau anders als beim Mann: Während sich beim Mann etwa 5 Millionen rote Blutkörperchen, so genannte Erythrozyten, finden, werden bei der Frau nur 4,5 Millionen pro mm³ gezählt. Die sich daraus ergebende geringere Menge an Blutzellen hat bei den Frauen eine verminderte Sauerstoffbindungsfähigkeit und somit eine geringere Sauerstofftransportkapazität des Blutes zur Folge. Empirisch lassen sich Geschlechtsunterschiede in der Ruhe-Herzfrequenz bei Leistungssportlern und Hochtrainierten aufzeigen (Tab. 1).

Tab. 1: Durchschnittliche Ruheherzfrequenz und Herzgröße bei Männern und Frauen mit unterschiedlicher Leistungsfähigkeit (nach Neumann, Pützner & Hottenrott, 2000)

Herzgröße (ml)	Herzfrequenz (Schläge/min)			
	Fitnesssportler		Hochleistungssportler	
	Männer	Frauen	Männer	Frauen
600-700	68	72	-	-
700-800	65	68	-	50
800-900	62	65	50	45
900-1000	55	60	45	40
1000-1100	50	-	40	38
über 1100	-	-	36	-

Bisherige Herzfrequenzformeln

In allen bisher entwickelten Herzfrequenz-Formeln wurden die geschlechtsspezifischen Unterschiede im Pulsverhalten von Frauen und Männern nicht berücksichtigt. Gemeinsam ist fast allen Pulsformeln, dass das Lebensalter die bestimmende Einflussgröße zur Berechnung der Trainingsherzfrequenz ist. Mit zunehmendem Lebensalter sinkt die Trainingsintensität meist um einen Herzschlag pro Lebensjahr. Die optimale Herzfrequenz wird nach dem Erfinder der Karvonen-Formel, Martti J. Karvonen, wie folgt berechnet: Neben dem Lebensalter wird zusätzlich der Ruhepuls zur Bestimmung der Trainings-Herzfrequenz zugrunde gelegt, d. h. es wird der Unterschied von maximaler Herzfrequenz und Ruhe-Herzfrequenz bestimmt, die so genannte Herzfrequenzreserve.

Diese Formel, die Karvonen im Jahr 1957 veröffentlicht hat, ist nach wie vor eine gute Methode zur Festlegung individueller Trainingsherzfrequenzen insbesondere für Herzpatienten mit eingeschränkter Belastbarkeit. Wichtig bei der Anwendung dieser Formel ist, dass die maximale Herzfrequenz nicht aus der Formel 220-Lebensalter (LA) bestimmt, sondern durch einen Belastungstest ermittelt wird. Aber auch diese Formel unterscheidet nicht zwischen Frauen und Männern und zwischen Trainierten und Untrainierten, wie es beispielsweise das American College of Sportmedizin (ACSM) vorschlägt.

In der Formel von Straußenberg (1990) kommt ein weiterer Aspekt zum Ausdruck, nämlich dass die Trainingsherzfrequenz zusätzlich vom Trainingsziel bestimmt wird. Ein regeneratives Training wird mit geringerer Intensität durchgeführt als ein Grundlagenausdauertraining. Heute weiß man, dass ein wirksames Ausdauertraining exakt definierte Belastungs- oder Trainingsbereiche erfordert, um optimale Leistungsfortschritte zu erzielen. Ziel einer eigenen Untersuchung war es nun, eine Formel zu entwickeln, die möglichst viele Einflussfaktoren auf die Trainingsherzfrequenz berücksichtigt, insbesondere die Unterschiede zwischen Frauen

und Männer.

Tab. 2: Bisherige Formeln zur Berechnung der Trainingsherzfrequenz (LA: Lebensalter)

Autoren	Trainingsherzfrequenz
Karvonen (1957)	$(Hf_{max}^* - Ruhe\ Hf) \times \% \text{ Trainingsintensität} + Ruhe\ Hf$
Mellerowicz (1975)	170 - LA 170-LA bei biologisch jüngeren und trainierten Sportlern
Israel (1982)	180 - LA plus fünf Herzschläge/Lebensjahrzent ab dritter Dekade
Hollmann (1983)	180 - LA
Strauzenberg (1990)	160-LA: regeneratives Training 180-LA: Grundlagenausdauertraining
American College of Sportsmedizin (ACSM)	Untrainiert: 60-70% der Hf_{max}^* Trainiert: 70-85% der Hf_{max}^* * maximale Herzfrequenz

Untersuchungen zum Pulsverhalten von Frauen und Männern

Um zu prüfen, ob Frauen und Männer aus wissenschaftlicher Sicht unterschiedliche Pulsvorgaben für das Training benötigen, wurden 38 Frauen und 53 Männer mittleren Alters, die sich auf den 1. E.ON Mitte Kassel Marathon vorbereiteten, umfassend getestet (Neumann & Hottenrott 2007, Hottenrott, 2008) Im Abstand von zwölf Wochen nahmen die Teilnehmer jeweils an einem Lauffeld-Stufentest mit Laktatbestimmung und fortwährender Herzfrequenzmessung teil. Die Tests wurden ausgewertet mit dem Programm WinLactat 2.5 (mesics GmbH). Bestimmt wurde bei Laktat 2, 3, 4, 5 mmol/l die Herzfrequenz und Laufgeschwindigkeit getrennt für Frauen und Männer. Die Ergebnisse wurden in Diagrammen dargestellt und statistisch geprüft.

Während der dreimonatigen Marathonvorbereitung verbesserte sich die Leistungsfähigkeit der Frauen und Männer hochsignifikant (so wird eine statistisch gesicherte Abweichung bezeichnet). Dieses Ergebnis war nicht überraschend, denn die Teilnehmer wurden in kleinen Trainingsgruppen intensiv betreut und waren keine Spitzensportler. Analysiert man jedoch das Verhalten der Herzfrequenz (HF) der Frauen und Männer, so konnten bezogen auf die Stoffwechselbeanspruchung signifikante Unterschiede festgestellt werden. Laut Statistik ist ein Unterschied dann signifikant, wenn die Wahrscheinlichkeit gering ist, dass er durch Zufall entstanden ist. Die HF der Frauen bei 2, 3, 4 und 5 mmol/l Laktat war signifikant höher als die der Männer gleichen Alters. Mit zunehmender Belastungsintensität nahm die HF-Differenz

zwischen den Geschlechtern ab. Im Test 1 betrug die Differenz bei 2 mmol/l Laktat 10,2 Schläge/min (bzw. 7 %) und bei 5 mmol/l Laktat 2,9 Schläge/min (bzw. 2 %). Die maximale HF war im Vergleich zwischen Männern und Frauen in beiden Tests vergleichbar. In Test 2 kam es zu einer Rechtsverschiebung der Laktat-Geschwindigkeits-Kurve und einer signifikanten Erhöhung der HF bei Männern und Frauen im unteren Intensitätsbereich (Laktat 2-3 mmol/l).

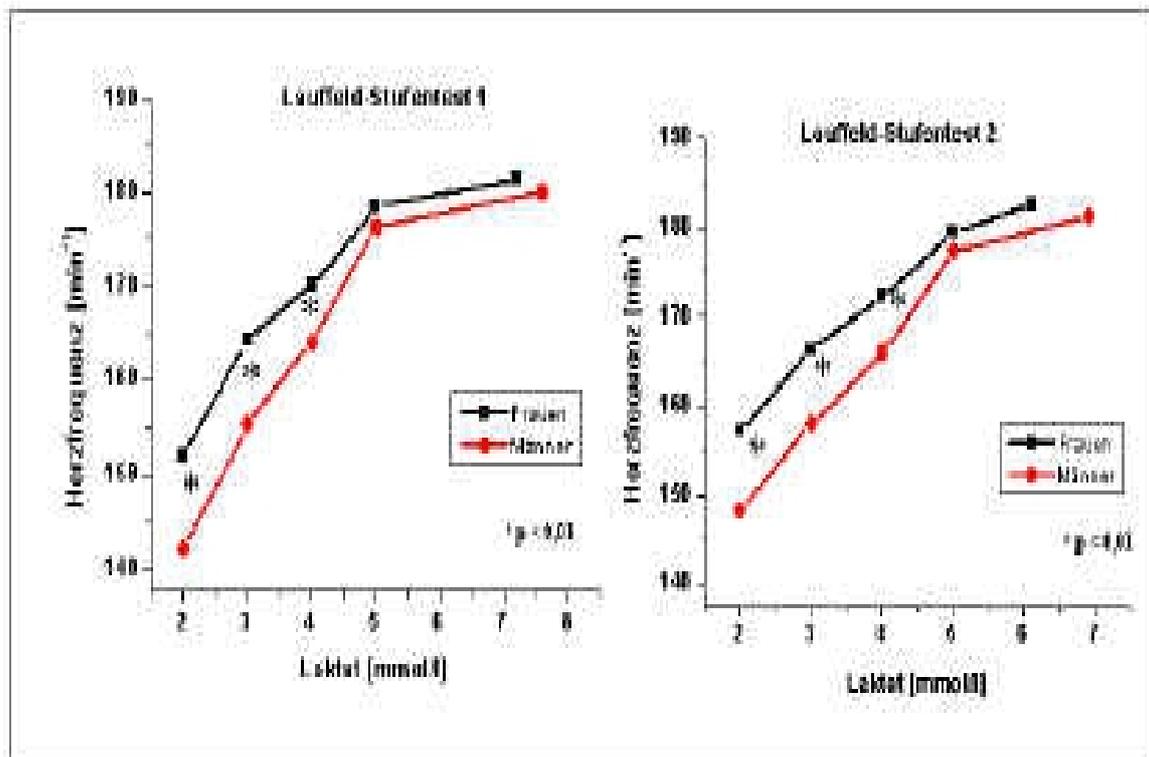


Abb. 1: Herzfrequenz-Laktat-Kurve der Frauen und Männer vom Lauffeld-Stufentest 1 und 2 (Hottenrott, 2008).

Entwicklung einer neuen Herzfrequenzformel

Wie aus dem grafischen Verlauf der Herzfrequenz-Laktat-Kurven zu erkennen, ergeben sich die größten Unterschiede zwischen Männer und Frauen im unteren Intensitätsbereich. Bei höherer Intensität verringert sich der Unterschied und in der maximalen Ausbelastung erreichen die untersuchten Frauen und Männer die gleichen Pulswerte. Diese Unterschiede werden in bisherigen Herzfrequenzformeln nicht berücksichtigt. Eine Korrektur für die prozentuale Berechnung der von der HFmax abgeleiteten Trainingsherzfrequenzen ist folglich erforderlich. Aus den Untersuchungsergebnissen wurde folgende Herzfrequenzformel für das Ausdauertraining hergeleitet:

Herzfrequenzformel nach Hottenrott

$$\underline{\underline{THF = HFmax \times 0,70 \times LFi \times TZi \times GFi \times SPi \text{ ©}}}$$

THF: Trainings-Herzfrequenz;

HFmax: = 208 - 0,7 x Lebensalter für Erwachsene bzw.

HFmax: = 220 - Lebensalter für Kinder und Jugendliche. Die Formeln sollten nur zur Anwendung kommen, wenn die maximale Herzfrequenz durch einen sportartspezifischen Test nicht bestimmt werden kann.

LFi: Leistungsfaktoren (i1=1,0 Einsteiger; i2=1,03 Fitnesssportler; i3=1,06 Leistungssportler)
TZi: Trainingszielfaktoren (i1=1,0 Grundlagenausdauertraining 1; i2= 1,1 GA 1-2-Training, i3= 1,2 GA 2-Training)
GFi: Geschlechtsfaktoren (Frauen: i1=1,10 niedrige; i2=1,06 mittlere; i3=1,03 hohe Intensität; Männer: i4=1,0)
SPi: Sportartfaktoren (i1=1 Laufen).

Nach der Formel ergibt sich die Trainings-Herzfrequenz (THF) aus dem Produkt mehrerer Faktoren. Dabei wird die maximale HF mit einem konstanten Faktor 0,7 und vier weiteren variablen Faktoren multipliziert. Da die maximale HF nicht immer mit einem sportartspezifischen Test bestimmt werden kann, können Erwachsene die HFmax nach der Formel „ $HF_{max} = 208 - 0,7 \times \text{Lebensalter}$ “ und Heranwachsende nach der Formel „ $HF_{max} = 220 - \text{Lebensalter}$ “ ermitteln. Der HFmax-Wert wird mit 0,7 multipliziert. Das Ergebnis wird dann nacheinander multipliziert mit den Leistungs-, Trainingsziel-, Geschlechts- und Sportartenfaktoren. Die Leistungsfaktoren (LF) berücksichtigen die Veränderung der Herzfrequenz in Abhängigkeit der Ausdauerleistungsfähigkeit. Einsteiger nehmen den Faktor 1,0, Fitnesssportler den Faktor 1,03 und Leistungssportler den Faktor 1,06. Die Trainingszielfaktoren (TZ) bestimmen die Herzfrequenz für drei typische Belastungsbereiche nämlich für das Fettstoffwechsel- bzw. Grundlagenausdauertraining 1 (LF1 = 1,0), für das Herzkreislauf- bzw. Grundlagenausdauertraining 1-2 (LF2 = 1,1) und für das Grundlagenausdauertraining 2 bzw. intensive Ausdauertraining (LF3= 1,2). Die Geschlechtsfaktoren(GF) tragen intensitätsabhängig zu einer geschlechtsspezifischen HF-Korrektur bei. Frauen geben bei niedriger Intensität (Fettstoffwechseltraining) den Faktor 1,10 ein, bei mittlerer Intensität den Faktor 1,06 und bei hoher Intensität den Faktor 1,03. Für Männer beträgt der Faktor 1,0, d.h. den Geschlechtssfaktor müssen Männer bei der Berechnung der Trainingsherzfrequenz nicht berücksichtigen. Der Sportfaktor (SP) passt die Trainings-Herzfrequenz an die unterschiedlichen sportartspezifischen Anforderungen bezüglich des Herz-Kreislauf- und Stoffwechsel-Systems an. Faktor 1 gilt für die Sportart Laufen. Die Sportartenfaktoren für Rad fahren, Inline Skating, Skilanglauf, Nordic Walking werden derzeit durch aktuelle Untersuchungen ermittelt.

Beispielwerte für eine Frau bzw. einen Mann mit einer maximalen Herzfrequenz von 180 Schlägen/min:

Fettstoffwechseltraining (GA 1)		
Einsteiger:	Fitnesssportler	Leistungssportler
Frauen: 139	Frauen: 143	Frauen: 147
Männer: 126	Männer: 130	Männer: 134

Herzkreislauftraining (GA 1-2)		
Einsteiger:	Fitnesssportler	Leistungssportler
Frauen: 147	Frauen: 151	Frauen: 156
Männer: 139	Männer: 143	Männer: 147

Intensives Ausdauertraining (GA 2)		
Einsteiger:	Fitnesssportler	Leistungssportler
Frauen: 154	Frauen: 160	Frauen: 165
Männer: 151	Männer: 156	Männer: 160

Wer nicht den Taschenrechner zur Ermittlung der Herzfrequenzbereiche nutzen möchte, sondern einen komfortablen Herzfrequenz-Rechner, kann hierfür ein entsprechendes Programm kostenlos auf der Internetseite www.hottenrott.info downloaden.

Autor:

Prof. Dr. Kuno Hottenrott

Direktor: Insitut für Leistungsdiagnostik und Gesundheitsförderung
an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

(www.ilug-halle.de)

E-Mail: kuno.hottenrott@sport.uni-halle.de