

# Genauigkeit der Steuerung der Laktatkonzentration im Blut von Pferden nach Belastungen mit Geschwindigkeiten, die durch Ergebnisse eines Belastungstests vorgegeben waren. Teil 2: Beziehung zwischen Herzfrequenz während Belastung und Laktatkonzentration im Blut nach Belastung

A. Lindner<sup>1)</sup>, M. Sobotta<sup>1)</sup> und H.H.L. Sasse<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Arbeitsgruppe Pferd, Essen und <sup>2)</sup>Medizinische und Gerichtliche Veterinärklinik, Professur für Innere Krankheiten der Pferde der Justus-Liebig-Universität, Gießen

## Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde die Beziehung zwischen der Herzfrequenz während Belastung und der Laktatkonzentration im Blut nach Belastung untersucht. Zusätzlich wurde geprüft, wie genau die Herzfrequenz während Belastung durch Ergebnisse eines vorgeschalteten Belastungstests vorhergesagt werden kann. Dafür wurden sechs Pferde der Rasse Englisches Vollblut mit sechs verschiedenen Belastungen in sechs Trainingsperioden auf einem Laufband gearbeitet. Die Belastungen unterschieden sich in ihrer Laufgeschwindigkeit und -dauer voneinander. Vor jeder Trainingsperiode fand ein Mehrstufentest statt (Steigung 6%, Stufendauer 5 min, Geschwindigkeit in der ersten Stufe 6,0 m/s, Steigerung der Geschwindigkeit je Stufe um 0,5 m/s, Stufenzahl abhängig von der Laktatkonzentration im Blut). Aus der im Belastungstest erstellten Laktat-Laufgeschwindigkeit-Beziehung wurden die Kennwerte  $v_{2,5}$  und  $v_4$  berechnet. Bei den Geschwindigkeiten, bei denen die Pferde im vorausgegangenen Mehrstufentest rechnerisch die Laktatkonzentration im Blut von 2,5 oder 4,0 mmol/l erzielt hatten ( $v_{2,5}$  und  $v_4$ ), liefen sie dann elfmal innerhalb von 3 Wochen jeden zweiten Tag jeweils 5, 15 oder 25 Minuten lang. Zudem wurden die Herzfrequenzen berechnet, bei denen die Pferde im Belastungstest Laktatkonzentrationen im Blut von 2,5 und 4 mmol/l hatten ( $HF_{2,5}$  und  $HF_4$ ). In der ersten Minute nach jeder Belastung wurde eine Blutprobe genommen und daraus die Laktatkonzentration gemessen. Die Herzfrequenzmessung fand während der gesamten Belastung statt. Der Median der Herzfrequenz während Belastung betrug für die Belastungen bei  $v_{2,5}$  über 5, 15 und 25 Minuten 159 Schläge/min, 157 Schläge/min und 160 Schläge/min respektive. Für die Belastungen bei  $v_4$  über 5, 15 und 25 Minuten war er 163 Schläge/min, 166 Schläge/min und 164 Schläge/min respektive. Die Herzfrequenzen während Belastungen gleicher Dauer bei  $v_{2,5}$  lagen unter denen bei  $v_4$  ( $p < 0,01$  bis  $p < 0,001$ ). Der Einfluss der Belastungsdauer auf die Herzfrequenz während Belastung war gering. Stattdessen bestand ein großer individueller Unterschied im Herzfrequenzniveau der einzelnen Pferde für die gleichen laktatgesteuerten Belastungen. Nur für drei von sechs Belastungsinhalten bestanden zwischen der Herzfrequenz während Belastung und der Laktatkonzentration nach Belastung signifikante Beziehungen. Sie waren aber sowohl positiv als auch negativ und nicht eng. Deshalb ist es nicht sinnvoll, Herzfrequenzen während Belastung vorzugeben und zu erwarten dadurch bestimmte Laktatkonzentrationen im Blut nach Belastung zu erreichen, um Stoffwechselabläufe gezielt zu trainieren.

Der Median der Abweichung der Herzfrequenz während Belastung von der im vorgeschalteten Belastungstest berechneten Herzfrequenz betrug für die Belastungen bei  $v_{2,5}$  über 5, 15 und 25 Minuten +1 Schlag/min, -2 Schläge/min und -2 Schläge/min respektive. Für die Belastungen bei  $v_4$  über 5, 15 und 25 Minuten war er -7 Schläge/min, -2 Schläge/min und -3 Schläge/min respektive. Eine Herzfrequenzbasierte Steuerung der Belastungen erscheint also möglich, wenn man bereit ist eine bestimmte Höhe der Abweichung gemessener Werte von vorgegebenen Werten zu akzeptieren. Der Nutzen davon muss aber noch untersucht werden.

**Schlüsselwörter:** Pferd, Laktat, Herzfrequenz, Belastung, Steuerung

## Predictability of blood lactate concentration after exercise in horses working at speeds that were guided by results of an exercise stress test. Part 2: Relation between heart rate during exercise and blood lactate concentration after exercise.

The relation between heart rate during exercise and blood lactate concentration after exercise in horses was examined. Furthermore, the predictability of the heart rate during exercise derived from the results of a standardized exercise test performed by the horses before conditioning was studied. Six thoroughbred horses were submitted to a total of six different types of exercise: 5, 15 or 25 minutes' duration at their individual  $v_{2,5}$  or  $v_4$ . Each exercise type was run by a horse 11 times within a conditioning period of three weeks. All workouts were on a treadmill. The speed of exercise was determined with a multiple step exercise test before each conditioning period. The multiple step exercise test consisted of several steps of five minutes duration each with one minute rest between steps to take blood samples. The speed in the first step was 6.0 m/s, and each consecutive step speed was increased by 0.5 m/s. Slope of treadmill was set at 6%. A test was discontinued when blood lactate concentration of a horse was above 4 mmol/l. Immediately after finishing an exercise bout blood was taken for lactate analysis. Heart rate was monitored continuously during exercise. From the blood lactate-running speed relation  $v_{2,5}$  and  $v_4$  were calculated by exponential regression. Exponential regression analysis was used to determine  $HR_{2,5}$  and  $HR_4$  also ( $HR_{2,5}$  and  $HR_4$  = Heart rates at which mathematically horses running at the defined conditions had a blood lactate concentration of 2.5 and 4 mmol/l).

The median heart rates during exercise at  $v_{2,5}$  for 5, 15 and 25 minutes were 159 beats/min, 157 beats/min and 160 beats/min respectively.

After exercise at  $v_4$  for 5, 15 and 25 minutes they were 163 beats/min, 166 beats/min and 164 beats/min respectively. The heart rate during exercise of the same duration was always higher after exercise at  $v_4$  than at  $v_{2.5}$  ( $p < 0.01$  to  $p < 0.001$ ). The effect of exercise duration on heart rate during exercise was very small. Between and within horses there were large variations of the heart rate during exercise. The blood lactate concentration after exercise and the heart rate during exercise related in three out of six exercise types only. The relations were not very close and in one case it was positive and in the other two negative. Thus it does not make sense to guide exercise intensity by a defined heart rate during exercise if it is aimed to condition a specific energetic pathway.

To evaluate the predictability of heart rate during exercise the difference was calculated between the measured and the expected values  $HR_{2.5}$  or  $HR_4$ . The median of the difference between measured and expected heart rate during exercise was for exercise at  $v_{2.5}$  for 5, 15 and 25 minutes +1 beat/min, -2 beat/min und -2 beat/min respectively, for exercise at  $v_4$  for 5, 15 and 25 minutes it was -7 beats/min, -2 beats/min und -3 beats/min respectively.

Despite the large day by day and interindividual variations of the heart rate during exercise guidance of exercise intensity by means of heart rate derived from exercise tests may be reasonable. However, studies to demonstrate whether this approach is effective and better than other methods await to be done.

**Keywords:** horse, lactate, heart rate, exercise, guidance

## Einleitung

Die Leistungsfähigkeit und damit die Aussicht auf sportlichen Erfolg wird von einer Kombination physikalischer, physiologischer, biochemischer, biomechanischer und psychologischer Eigenschaften bestimmt (Shepard 1993). Durch optimale Trainingsreize wird die sportliche Leistungsfähigkeit verbessert. Das Ziel des Trainings soll es sein, mit den Belastungen auf dem schmalen Grat zwischen Über- und Unterforderung zu bleiben. Dieses Training muss also in zweierlei Richtung kontrolliert werden: 1) inwieweit finden die Belastungen in dem geplanten Bereich statt; 2) wurde damit die beabsichtigte Wirkung auf die Leistungsfähigkeit des Sportlers erzielt.

Im Spitzensport hat sich die Laktatmessung im Blut zur Steuerung der Trainingsintensität beim Menschen durchgesetzt (Kleinmann 1996). Beim Pferd hingegen ist dies in der Praxis noch selten der Fall. Vor allem im Breitensport beim Menschen wird die Herzfrequenz zur Steuerung von Belastungen eingesetzt (McArdle et al. 1991). Beim Pferd wird der Einsatz der Herzfrequenzsteuerung immer wieder erwähnt, bisher allerdings ohne den Beweis zu führen, dass dies effektiv und vorteilhaft gegenüber anderen Steuerungsmaßnahmen ist (Straub 1988; Swann 1988; Springorum 1990; Engelhardt 1997). Um mit der Herzfrequenz Belastungen zu steuern, muss bekannt sein, wie genau man damit die Beanspruchung durch eine Belastung vorhersagen kann. In der vorliegenden Arbeit wurde deshalb geprüft, ob die Laktatkonzentration nach Belastung im Blut auch durch die in einem Belastungstest gemessene Herzfrequenz vorhergesagt werden kann, und wie gut die Herzfrequenz während Belastung auch anhand der Herzfrequenzen im Belastungstest vorhergesagt werden kann.

## Material und Methoden

### Pferde

Die Untersuchung wurde an sechs Pferden der Rasse Englisches Vollblut durchgeführt, von denen zu Beginn der Untersuchung vier Pferde zweijährig und zwei Pferde dreijährig waren. Bei einem Dreijährigen handelte es sich um einen Wallach, alle anderen Pferde waren Stuten. Fütterung und Haltung der Pferde sind eingehend bei Sobotta et al. (2001) beschrieben.

### Versuchsdurchführung

Die Versuchsdurchführung wurde bei Sobotta et al. (2001) dargestellt.

### Belastungstest

Ein Mehrstufentest wurde eingesetzt. Er bestand aus Stufen von je fünf Minuten Dauer. Zwischen zwei Stufen wurde immer eine Minute Pause gemacht, um die Blutprobe zur Messung der Laktatkonzentration zu entnehmen. In der ersten Stufe liefen die Pferde bei 6,0 m/s. In jeder weiteren Stufe wurde die Geschwindigkeit des Bandes um 0,5 m/s erhöht. Der Belastungstest wurde beendet, wenn die Laktatkonzentration im Blut 4 mmol/l überstieg (Messung der Laktatkonzentration aus 20  $\mu$ l Blut unmittelbar am Laufband mittels Accusport®, Boehringer Mannheim; Lindner 1996 a). Die Blutproben wurden nach dem Aufwärmen zu Beginn des Tests, und jeweils sofort nach Ende jeder Stufe entnommen. Die zwei Belastungsintensitäten  $v_{2.5}$  und  $v_4$  wurden aus den Ergebnissen des Belastungstests mittels der von Galloux (1991) publizierten Regressionsgleichung berechnet. Die Kennwerte der Laktat-Herzfrequenz-Beziehung  $HF_{2.5}$  und  $HF_4$  wurden durch exponentieller Regression berechnet.

### Blutentnahme und Analyse

Die Blutproben für die Messung der Laktatkonzentration wurden aus der Brusthaut an der Oberfläche des Musculus cutaneus colli dorsal der pars clavicularis des Musculus pectoralis superficiales entnommen (Lindner und Birks 1994). Die detaillierte Beschreibung der Blutprobenbehandlung fand bei Sobotta et al. (2001) statt.

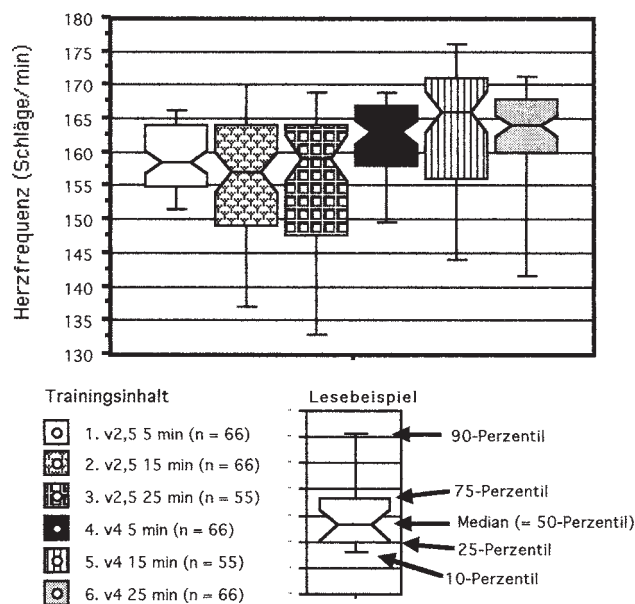
### Herzfrequenzmessung

Die Herzfrequenz wurde während allen Trainings- und Testbelastungen von jedem Pferd mit dem „Polar Sport Tester“ (Polar Electro GmbH) gemessen. Die Auswertung wurde mit der von der gleichen Firma stammenden Software „Polar Heart Rate Analysis Version 3.20“ durchgeführt. Dazu wurde am Pferd ein Gurt mit zwei Elektroden so befestigt, dass die eine Elektrode

am Brustbein auf Sattelgurthöhe und die andere Elektrode auf der linken Brustseite unter der linken Sattellage lag. Beide Elektroden waren mit einem Transmitter verbunden, der die Herzfrequenz drahtlos auf eine Uhr übertrug, die die empfangenen Daten speicherte. Das Speicherintervall betrug 5 Sekunden. Für die Auswertung wurde die durchschnittliche Herzfrequenz während jeder Belastung verwendet.

**Auswertung**

Nach jeder Belastung wurde die Differenz zwischen gemessener Herzfrequenz und erwarteter Herzfrequenz berechnet. Von den Trainingsinhalten, in denen die Pferde 25 Minuten bei der  $v_{2,5}$  und 15 min bei der  $v_4$  belastet wurden, konnten wegen verletzungsbedingten Ausfalls eines Pferdes an einem Ruhetag jeweils nur fünf Pferde ausgewertet werden, von den anderen Trainingsinhalten immer sechs. Sowohl die absoluten Herzfrequenzwerte als auch die Differenzen waren zum Teil nicht normalverteilt. Deshalb werden die Daten mit ihrem Median, 10-, 25-, 75- und 90-Perzentilen dargestellt. Zum statistischen Vergleich aller Trainingsinhalte wurde der Kruskal-Wallis Test eingesetzt. Bei einem signifikanten Gesamtergebnis fand die paarweise Prüfung der Trainingsinhalte mit dem Wilcoxon-Test statt. Die Beziehung zwischen der Laktatkonzentration im Blut nach Belastung und der Herzfrequenz während derselben Belastung fand mit der Rang-Korrelationsanalyse nach Spearman statt.  $p < 0,05$  wurde als signifikant akzeptiert.



**Abb. 1:** Herzfrequenz von Pferden während unterschiedlicher Trainingsinhalte (Median, 10-, 25-, 75- und 90-Perzentile, siehe Lesebeispiel; 5 bis 6 Pferde)

*Heart rate of horses running different types of exercise (Median, 10, 25, 75, and 90 percentiles, see reading example in figure 1; 5 to 6 horses)*

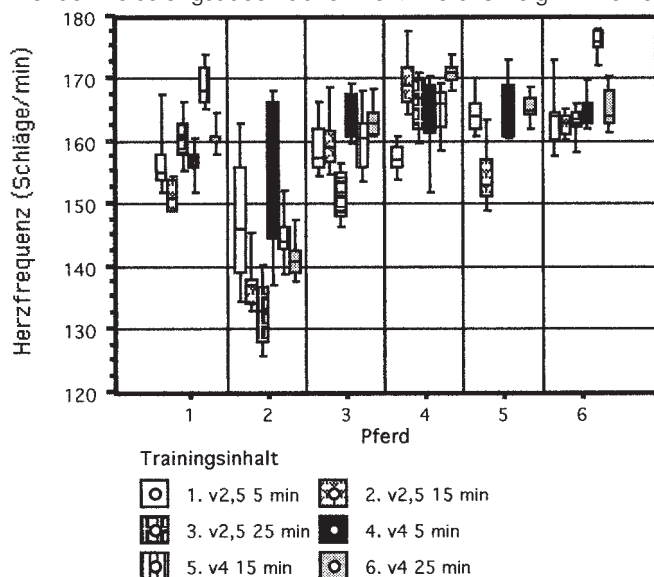
**Ergebnisse**

Bei insgesamt 355 von 374 Trainingsbelastungen konnte die Herzfrequenz gemessen und ausgewertet werden. Diese hohe Auswertungsrate wurde nur deshalb erreicht, weil mehrere Ge-

räte gleichzeitig an einem Pferd im Einsatz waren und die Geräte alle paar Wochen gewartet wurden.

Bei Belastungen mit der  $v_{2,5}$  lagen die Mediane der Herzfrequenzen bei oder knapp unter 160 Schlägen pro Minute; wurde dagegen mit der  $v_4$  belastet, so lagen sie zwischen 163 und 166 Schlägen pro Minute (Abb. 1). Die Mediane der Herzfrequenzen bei gleicher Dauer der Belastung lagen bei  $v_{2,5}$  signifikant niedriger als bei  $v_4$  ( $p < 0,01$  bis  $p < 0,001$ ). Der Einfluss der Belastungsdauer auf die Herzfrequenz während Belastung war, wenn überhaupt vorhanden, gering: Die Herzfrequenz war höher während Belastungen bei  $v_{2,5}$  über 5 Minuten als während Belastungen bei  $v_{2,5}$  über 15 Minuten; sie war niedriger während Belastungen bei  $v_4$  über 5 Minuten als während Belastungen bei  $v_4$  über 15 Minuten (beide je  $p < 0,05$ ).

Stattdessen bestand ein großer individueller Unterschied im Herzfrequenzniveau der einzelnen Pferde für die gleichen laktatgesteuerten Belastungen (Abb. 2). Bei den Pferden 2, 3 und 6 sind die Mediane der Herzfrequenzen bei gleicher Belastungsdauer immer bei der höheren Belastungsgeschwindigkeit größer als bei niedriger Intensität. Bei Pferd 1 und Pferd 4 trifft das nur in 2/3 der Fälle zu. Bei Pferd 2 fällt auf, dass bei gleicher Geschwindigkeit die Mediane der Herzfrequenzen mit zunehmender Belastungsdauer abnehmen. Pferd 6 zeigt mit einer



**Abb. 2:** Herzfrequenz jedes Pferdes während verschiedener Trainingsinhalte (Median, 10-, 25-, 75- und 90-Perzentile, Lesebeispiel siehe Abb. 1; n 8 bis 11 je Pferd)

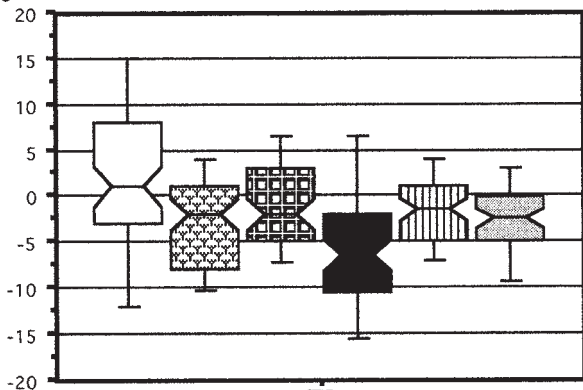
*Heart rate of each horse running different types of exercise (Median, 10, 25, 75, and 90 percentiles, see reading example in figure 1; n = 8 to 11 for each horse)*

Ausnahme ( $v_4$  über 15 min) ein sehr ausgeglichenes, beinahe von der Belastungsdauer und von der Belastungsgeschwindigkeit unabhängiges Verhalten der Herzfrequenzen bei einem relativ geringen Unterschied zwischen 90%- und 10%-Perzentile. Bei allen Pferden wird die größte Spanne zwischen 90%- und 10%-Perzentile in den fünfminütigen Belastungen gesehen.

Eine signifikante Beziehung zwischen der Laktatkonzentration im Blut nach Belastung und der Herzfrequenz während Belastung ergab sich nur bei drei Trainingsinhalten:  $v_{2,5}$  über 25 Minuten und  $v_4$  über 15 und 25 Minuten (alle  $p < 0,05$ ). Die

Rho-Werte für die Beziehungen waren jeweils 0,39, -0,51 und -0,27.

Differenz Herzfrequenz (gemessen - erwartet)  
Schläge/min



Trainingsinhalt

- 1. v2,5 5 min (n = 62)
- 2. v2,5 15 min (n = 63)
- 3. v2,5 25 min (n = 53)
- 4. v4 5 min (n = 60)
- 5. v4 15 min (n = 54)
- 6. v4 25 min (n = 62)

Lesebeispiel

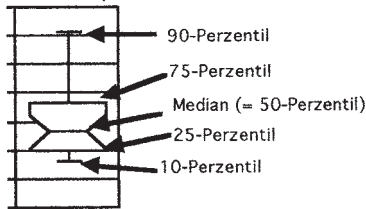


Abb. 3: Differenz zwischen gemessenen und erwarteten Herzfrequenzen von Pferden während verschiedener Trainingsinhalte (Median, 10-, 25-, 75- und 90-Perzentile, siehe Lesebeispiel; 5 bis 6 Pferde)

*Difference between measured and expected heart rates of horses running different types of exercise (Median, 10, 25, 75, and 90 percentiles, see reading example; 5 to 6 horses)*

Die Mediane der Differenzen zwischen den während Belastung gemessenen Herzfrequenzen und den aus den Ergebnissen des Belastungstests ermittelten Herzfrequenzen HF<sub>2,5</sub> bzw. HF<sub>4</sub> (HF<sub>2,5</sub> bzw. HF<sub>4</sub> = Herzfrequenzen, bei denen unter den gegebenen Testbedingungen eine Laktatkonzentration von 2,5 bzw. 4 mmol/l Blut berechnet wurde) lagen zwischen -7 und 2 Schlägen pro Minute (Abb. 3).

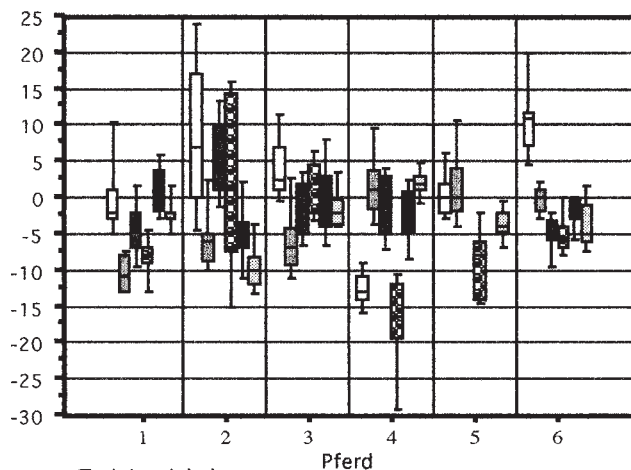
Die Mediane der Abweichung der Herzfrequenzen der Pferde 1, 2, 3 und 5 blieben in allen Trainingsinhalten im Bereich von 11 Schlägen pro Minute (Abb. 4). Bei einem Belastungsinhalt hatte das Pferd 6 und bei zwei Belastungsinhalten das Pferd 4 eine Abweichung von über 11 Schlägen pro Minute zwischen Median und Vorhersage. Die größte individuelle Abweichung von einer Vorhersage hatte Pferd 4 mit -18 Schlägen bei fünfminütiger Belastung mit der v<sub>4</sub>.

### Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Mediane der Herzfrequenzen nach Belastungen mit laktatgesteuerter Geschwindigkeit unterschiedlicher Dauer zeigten sehr große individuelle Unterschiede. Während die Intensität der Belastungen sich in der Höhe der Herzfrequenz während Belastung zum Teil gut widerspiegelte war das nicht der Fall für die Dauer der Belastung. Dieses Ergebnis bestätigt Untersu-

chungen von Lindner (1997 a + b). Mit der Herzfrequenz erfasst man also die Beanspruchung des kardiovaskulären Systems durch die Geschwindigkeit einer Belastung. Die Dauer einer Belastung hat zumindest in dem Bereich, in dem sich üblicherweise das Training von Pferden heute abspielt – wenn überhaupt – nur eine geringe Wirkung. Dagegen reflektiert sich in der Höhe der Laktatkonzentration im Blut bei Belastung die Beanspruchung sowohl durch die Geschwindigkeit als auch durch die Dauer der Belastung (Lindner 1997 a; Sobotta 1999).

Differenz Herzfrequenz (gemessen - erwartet)  
Schläge/min



Trainingsinhalt

- 1. v2,5 5 min
- 2. v2,5 15 min
- 3. v2,5 25 min
- 4. v4 5 min
- 5. v4 15 min
- 6. v4 25 min

Abb. 4: Differenz zwischen gemessenen und erwarteten Herzfrequenzen bei einzelnen Pferden während verschiedener Trainingsinhalte (Median, 10-, 25-, 75- und 90-Perzentile, Lesebeispiel siehe Abb. 1; n 8 bis 11 je Pferd)

*Difference between measured and expected heart rates of each horse running different types of exercise (Median, 10, 25, 75, and 90 percentiles, see reading example in figure 3; n = 8 to 11 for each horse)*

Dies ist wohl ein wichtiger Grund dafür, dass die Laktatkonzentration im Blut eine viel empfindlichere Variable für die Leistungsdiagnostik ist als die Herzfrequenz (Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan 1998; Lindner 1998).

Beim Menschen ist die Herzfrequenz besonders im Breitensport ein beliebtes Hilfsmittel für die Trainingssteuerung (Reindell et al. 1962; Scheumann 1990; Neumann 1994; Übersicht dazu bei Sobotta 1999). Über die Eignung der Herzfrequenz zur Trainingssteuerung gibt es allerdings unterschiedliche Meinungen. Im Bereich der individuellen anaeroben Laktat-Schwelle und auch bei Laktat von 4 mmol/l im Blut soll sie zu ungenau sein, da nur geringe Schwankungen in der Herzfrequenz zu deutlich unterschiedlichen Nachbelastungslaktatwerten führen (Heck et al. 1986; Urhausen et al. 1992). Dagegen ist eine Differenzierung der Belastungsgeschwindigkeit mittels Herzfrequenz, im flachen Bereich der Laktatleistungskurve, wo nur niedrige Laktatkonzentrationen im Blut auftreten, besser möglich (Dickhuth et al. 1991). Auch für das Pferd wird von vielen Autoren die Herzfrequenz für den Aufbau der Leistungskondition empfohlen (Straub 1988; Swann 1988; Springorum 1990; Engelhardt 1997). Zum Bei-



spiel hält es *Engelhardt (1997)* für wichtig, zur Verbesserung der aeroben Kapazität die Pferde genügend stark im anaeroben Bereich (bei etwa 160–180 Herzschlägen pro Minute) zu arbeiten. *Springorum (1990)* empfiehlt, für das Training im aerob-anaeroben Grenzbereich, eine Herzschlagfrequenz zwischen 150 und 170 Schlägen/min. Experimentelle Beweise für die Empfehlungen gibt es nicht.

Die in dieser Untersuchung gemessenen Herzfrequenzen liegen alle unterhalb der aerob/anaeroben Laktat-Schwelle nach *Mader et al. (1976; Sobotta et al. 2001)*. Diese Schlussfolgerung widerspricht vielen Angaben in der Literatur über die Höhe der Herzfrequenz für diese Schwelle. So legt *Isler (1981)* die Herzfrequenz an der aerob/anaeroben Schwelle für trainierte Vollblüter bei 210 und für untrainierte Vollblüter bei 180 Schlägen/min fest, zwei Werte, die hier kein einziges Mal in den Trainingsbelastungen erreicht wurden. Ähnlich sagt *Pollitt (1993)* bei Distanzpferden ein Ansteigen der Laktatkonzentration erst für Herzfrequenzen über 180 Schlägen pro Minute voraus. Den in dieser Arbeit gewonnenen Ergebnissen nach dürfte die Herzfrequenz an der aerob/anaeroben Schwelle eher im oder etwas oberhalb des Bereichs liegen, den *Engelhardt (1979)* angab, als er feststellte, dass die Pferde unter einer Herzfrequenz von 120/min ihre Arbeit fast ausschließlich aerob leisteten. *Persson und Ullberg (1974)* stellten ab einer mittleren Herzfrequenz von 158 Schlägen/min ein signifikantes Ansteigen des Laktatspiegels fest, einen Wert, den *Pannendorf et al. (1980)* mit 151–158 Schlägen/min für Galopprennpferde auch angeben. Die von *Lindner (1996 b)* in der Studie zur Bestimmung des maximalen Laktat-steady-state im Blut eingesetzten Pferde hatten eine mittlere Herzfrequenz von  $156 \pm 11$  Schlägen/min.

Auch wegen der festgestellten großen Streuung der Herzfrequenzen der Pferde sowohl von Tag zu Tag als auch für die gleichen Belastungen sollte man davon Abstand nehmen, eine aerob-anaerobe Schwelle mittels der Herzfrequenz zu definieren. Auf alle Fälle sind Fixwerte fehl am Platze. In der Mehrheit der Fälle wird bei Belastungen, die mit einer Herzfrequenz von bis zu 150 Schlägen/Minute einhergehen, der aerobe Stoffwechsel den wesentlichen Energiebeitrag leisten. Genauere Angaben sind aber nicht möglich.

Die fehlende Enge der Beziehung zwischen der Herzfrequenz während Belastung und der Laktatkonzentration im Blut nach Belastung ist ein weiterer Hinderungsgrund, um eine bestimmte Herzfrequenz als Kennwert für die aerob-anaerobe Laktatschwelle im Blut zu postulieren. Auch eine Steuerung der Belastung durch die Herzfrequenz, die im Test einer bestimmten Laktatkonzentration im Blut entsprach, ist durch die fehlende Übereinstimmung zwischen Herzfrequenz und Laktatkonzentration nicht empfehlenswert, außer man steuert wie von *Dickhuth et al. (1991)* empfohlen nur mit niedrigen Herzfrequenzen, also unter 150 Schlägen/min. Der Beweis der Wirksamkeit solcher Belastungen steht allerdings noch aus. Die Spannen zwischen den 10%- und 90%-Perzentilen der Herzfrequenz während Belastung sind insgesamt gerade in den niedrigeren Bereichen sehr groß. Dies weist auf den starken Einfluss der Umgebung auf die Herzfrequenz bei niedrigen Werten hin (*Ehrlein 1970; Engelhardt 1977; Persson 1983; McCann et al. 1988; Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan 1990*).

Das Ergebnis der vorliegenden Untersuchung und die Schlussfolgerung daraus stehen im Widerspruch zu den Angaben anderer Autoren. So stellten *Ehrlein (1970)* und *Ehrlein et al. (1972)* eine signifikante Korrelation zwischen der Herzfrequenz während Belastung ( $v_{HF150}$  aus Stufentest) und der Blutlaktatkonzentration nach Belastung ( $La_{600}$  nach Dauerbelastung) fest. *Persson (1983)* und *Wilson et al. (1983)* schließen aus der linearen Beziehung zwischen Herzfrequenz und Geschwindigkeit und der exponentiellen Beziehung zwischen Laktat und Geschwindigkeit auf eine exponentielle Beziehung zwischen Laktat und Herzfrequenz. Auch *Lindner (1997 b)* beschrieb eine positive, signifikante exponentielle Beziehung zwischen der Herzfrequenz während Belastung und der Laktatkonzentration nach Belastung, allerdings nur, solange der Bereich der Laktat- und der Herzfrequenzwerte sehr breit war. Dies wurde erreicht, indem die Herzfrequenz und die Laktatkonzentration im Blut sowohl bei längeren und langsameren sowie kürzeren und schnelleren Belastungen zur Berechnung der Beziehung verwendet wurden. Wurde dagegen nur die Beziehung der Laktat- und Herzfrequenzwerte gleicher Belastungen berechnet, gab es keine solche mehr. Ein ähnlicher Effekt der Datenstruktur in den Studien anderer Autoren kann zu deren statistischen irrtümlichen Schlussfolgerungen geführt haben.

Auch den Vorteil, den *Gysin et al. (1987)* und *Straub (1988)* darin sehen, Pferde bei der  $HF_{La2}$  oder  $HF_{La4}$  statt bei der  $v_2$  oder  $v_4$  zu trainieren, ist anhand der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit nicht nachvollziehbar. Die Autoren behaupten, dass durch die Vorgabe einer Trainingsherzfrequenz bei schlechter Tagesform, beziehungsweise bei schlechteren äußeren Bedingungen Überbeanspruchungen wesentlich verringert werden könnten, ebenso wie zu niedrige Trainingsbeanspruchungen bei guter Tagesform vermieden würden. Für diese Theorie wäre eine positive Korrelation zwischen der Herzfrequenz während Belastung und der Laktatkonzentration nach Belastung eine Grundvoraussetzung, die hier aber nicht festgestellt werden konnte.

Die Mediane der Differenz zwischen gemessener und erwarteter Herzfrequenz sind mit Ausnahme der fünfminütigen Belastung bei  $v_4$  unter 3 Schlägen/Minute, was bei einer Durchschnittsherzfrequenz von 160 weniger als 2% bedeutet. Auch die 90%-Perzentile sind mit einer Ausnahme ( $v_{2,5}$  über 5 Minuten lang) unter 10 Schlägen/Minute. Grundsätzlich ist also eine Steuerung der Belastung im Training über der in Belastungstests errechneten Herzfrequenz denkbar. Allerdings kann man damit, wenn überhaupt, nur sehr grob bestimmte Energiestoffwechselabläufe gezielt trainieren. Von diesem Ansatz sollte man daher Abstand nehmen. Dies bedeutet aber nicht, dass herzfrequenzgesteuertes Training nicht wirkungsvoller als andere Trainingsmethoden sein könnte. Entsprechende Studien dazu müssen aber erst noch durchgeführt werden.

## Literaturverzeichnis

*Dickhuth, H.H., M. Huonker, T. Münzel, H. Drexler, A. Berg und J. Keul (1991)*: Determination of the individual anaerobic threshold for performance evaluation in competitive athletes and patients with left ventricular dysfunction. In: *Bachl, M., Graham, G.F. und Löllgen, H.* (eds.): "Advances in Ergometry", Springer Verlag 1991

- Ehrlein, H.-J. (1970): Untersuchungen über die Herzschlagfrequenz als Maß für die Leistungsfähigkeit von Pferden. Habilitation med. vet. Hannover
- Ehrlein H.-J., H. Hörnicke, W. von Engelhardt und G. Tolkmitt (1972): Die Herzschlagfrequenz während standardisierter Belastung als Maß für die Leistungsfähigkeit von Pferden. *Zbl. Vet. Med. A* 20, 188–208
- Engelhardt von, W. (1977): Cardiovascular Effects of Exercise and Training in Horses. *Adv. Vet. Sci. Comp. Med.* 21, 173–205
- Engelhardt von, W. (1979): Die Wirkung von Arbeit und Training auf Herz und Kreislauf des Pferdes. *Dtsch. tierärztl. Wschr.* 86, 2–7
- Engelhardt von, W. (1997): Leistungsphysiologie des Sportpferdes. In: *Handbuch Pferd*, 5. Auflage, BLV-Verlagsgesellschaft, München; ISBN 3-405-14753-0, 711–727
- Galloux, P. (1991): Contribution à l'élaboration d'une planification de la préparation énergétique du cheval de concours complet suivi de l'entraînement par la mesure de la fréquence cardiaque et le dosage de la lactatémie. Université Poitiers, Faculté de Sciences Fondamentales et Appliquées, Dipl. Nat.
- Gysin, J., R. Isler und R. Straub (1987): Beurteilung der Leistungskapazität und Festlegung der Trainingsintensität bei Sportpferden mittels Pulsfrequenzaufzeichnungen und Plasmalaktatbestimmungen. *Pferdeheilkde* 3, 193–200
- Heck, H., A. Mader, R. Müller und W. Hollmann (1986): Laktatschwellen und Trainingssteuerung. *Dtsch. Z. Sportmed.* 37, Sonderheft, 72–78
- Isler, R. (1981): Hippocard-Broschüre. Bioengineering, Dahliastraße 16, CH-8034 Zürich
- Isler R., R. Straub, Th. Appenzeller und J. Gysin (1982): Beurteilung der aktuellen Leistungsfähigkeit zur Festlegung der optimalen Belastungsintensität für Intervalltraining bei Warmblutpferden. *Schw. Arch. Tierheilk.* 123, 603–612, 1982
- Kleinmann, H. (1996): Laufen: Sportmedizinische Grundlagen, Trainingslehre und Risikoprävention; für Mediziner, Sportlehrer und Trainer, Physiotherapeuten und anspruchsvolle Läufer. Schattauer-Verlag; ISBN 3-7945-1623-0
- Lindner, A. (1996 a): Measurement of plasma lactate concentration with Accusport. *Equine vet. J.* 28, 403–405
- Lindner, A. (1996 b): Determination of maximal lactate steady state in the blood of horses. In: *Proc. 42nd annual convention Am. Assoc. Equine Pract.*, 326–327
- Lindner A. (1997 a): Laktat und Leistung beim Pferd. *Arbeitsgruppe Pferd*. ISBN 3-00-001346-6, 39–48
- Lindner A. (1997 b): Advantages and disadvantages of heart rate and blood lactate concentration for performance diagnosis. In: *Proc. 36th British Equine Vet. Assoc. Congress*, 146–147
- Lindner, A. (1998):  $v_4$  allows to distinguish better the performance level of Standardbred horses than  $v_{200}$ . In: *Proc. Conf. Equine Sports Med. Sci.* Lindner, A. (ed.), Wageningen Pers, Wageningen, 251–253
- Lindner, A. and E.K. Birks (1994): Collection of venous blood samples from competition horses: a new approach. *Equine vet. J.*, 26, 503–505
- Mader, A., H. Liesen, H. Heck, H. Philippi, R. Rost, P. Schürch und W. Hollmann (1976): Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. *Sportarzt u. Sportmed.* 1976; 4, 80–88 und 5, 109–113
- McArdle, W.D., F.I. Katch and V.L. Katch (1991): *Exercise Physiology*. 3rd Edition. Lea & Febiger, Philadelphia/London, ISBN 0-8121-1351-9
- McCann, J.S., J.C. Heird, R.W. Bell and L.O. Lutherer (1988): Normal and more Highly Reactive Horses. I. Heart rate, respiration rate and behavioural observations. *Appl. Animal Behavior Sci.* 19, 201–214
- Neumann, G. (1994): Sportmedizinische Standpunkte zur Wettkampfvorbereitung in Ausdauersportarten. *Leistungssport* 24, 49–52
- Pannendorf, H., J. Schneider, B. Möhring und G. Werner (1980): Zum Verhalten der Milchsäurekonzentration im Blut beim Training von Galopprennpferden. *Mh. Vet. Med.* 35, 734–739
- Persson, S.G.B. (1983): Evaluation of exercise tolerance and fitness in the performance horse. In: *Snow D.H., Persson. S.G.B., Rose, R.J. (eds.): Equine Exercise Physiology*, Granta Editions, Cambridge, 441–457
- Persson, S.G.B. und L.E.Ullberg (1974): Blood volume in relation to exercise tolerance in trotters. *J. S. Afr. Vet. Ass.* 45, 293–299
- Pollit, C. (1993): Monitoring the heart rate of endurance horses, Part 1. *The Equine Athlete* 6, 6–9
- Reindell, H., H. Roskamm und W. Gerschler (1962): *Das Intervalltraining*. Joh. Ambrosius Barth Verlag, München 1962
- Scheumann, H. (1990): Zu einigen Aspekten der Trainingsplanung aus der Sicht der Ausdauersportarten. *Leistungssport* 2, 5–10
- Shepard, R.J. (1993): Sprachliche und inhaltliche Definitionen. In: *Shepard, R.J. and Astrand, P.O. (Hrsg.): Ausdauer im Sport*. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln, ISBN 3-7691-0274-6, 17–21
- Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan, M.M. (1990): Heart Rate and Blood Lactate in exercising horses. CIP-Gegevens Koninklijke Bibliotheek Den Haag, ISBN 90-90036113
- Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan, M.M. (1990): Appropriate blood variables helpful in diagnosing (sub)clinical disease in the horse. In: *Proc. Conf. Equine Sports Med. Sci.* Lindner, A. (ed.), Wageningen Pers, Wageningen, 14–33
- Sobotta, M. (1999): Laktatkonzentration im Blut und Herzfrequenz von Pferden bei laktatgesteuerten Geschwindigkeiten. *Diss. med. vet. Giessen*
- Sobotta, M., A. Lindner und H.H.L. Sasse (2001): Genauigkeit der Steuerung der Laktatkonzentration im Blut von Pferden nach Belastungen mit Geschwindigkeiten, die durch Ergebnissen eines Belastungstests vorgegeben waren. Teil 1: Laktatgesteuerte Geschwindigkeiten. *Pferdeheilkde* 17, 42–46
- Springorum, B. (1990): Hinweise zum Konditionstraining der Militarypferde. ISBN 3-88542-167-4; FN-Verlag Warendorf; 2. Auflage 1990
- Straub, R. (1988): Training mit Hilfe von Leistungsparametern. *Der praktische Tierarzt* 12, 28–35
- Swann, P. (1988): *Racehorse – Training & Sports Medicine*. Racehorse Sportsmedicine and Scientific Conditioning. ISBN 0-9590433-2-2
- Urhausen, A., B. Weiler und W. Kindermann (1992): Sympathische Aktivität und Herzfrequenzverhalten bei Ausdauerbelastungen unterschiedlicher Intensität. *Dtsch. Z. Sportmed.* 43, 446–448
- Werkmann, J., A. Lindner und H.H.L. Sasse (1996): Conditioning effects in horses of exercise of 5, 15 or 25 minutes duration at two blood lactate concentrations. *Pferdeheilkde* 12, 474–479
- Wilson, R.G., R.B. Isler and J.R. Thornton (1983): Heart rate, lactic acid production and speed during a standardized exercise test in Standardbred horses. In: *Snow D.H., Persson S.G.B. and Rose R.J. (Eds.): Equine Exercise Physiology* 1. Granta Editions, Cambridge, 487–496

#### Danksagung

Diese Arbeit wurde möglich durch die Zusammenarbeit mit Herrn Dr. Hans Lauk und Herrn Dr. Frank Bidlingmaier (Institut für Klinische Biochemie, Universität Bonn), die finanzielle Unterstützung durch den Verein zur Förderung der Forschung im Pferdesport e.V., Höveler Spezialfutterwerke sowie Science Consult und Herrn Horst Dieter Beyer, der die Pferde zur Verfügung stellte.

#### Arbeitsgruppe Pferd

c/o Arno Lindner  
Laurahöhe 14  
D-45289 Essen

[www.agpferd.de](http://www.agpferd.de)