

Einleitung

Die Spiroergometrie (aus lat. *spirare*: atmen, griech. *ergo*: Arbeit) ist eine sportmedizinisch-technische Anwendung, bei der respiratorische Daten während inkrementierter körperlicher Belastung erfasst und anschließend analysiert werden. Anhand dieser Daten können z.B. individuelle Trainingsbereiche bestimmt werden. Der Hamburger Medizintechnik-Hersteller cardioscan GmbH hat 2017 ein Spiroergometer entwickelt, welches in Verbindung mit einer Software zur spiroergometrischen Bestimmung der ventilatorischen Schwellen VT1 und VT2 genutzt werden soll. Die Software verwendet momentan einen VT2-Algorithmus, der recht sensitiv für Fehler ist und deshalb durch einen neuen ersetzt werden muss.

Es wurden nach der Literaturrecherche insgesamt vier wissenschaftlich empfohlene Methoden ausgewählt [1], die in Folge an eine Spiroergometrie mit dem neuen Gerät des Unternehmens zur Schwellenbestimmung verwendet wurden. Zu überprüfen war,

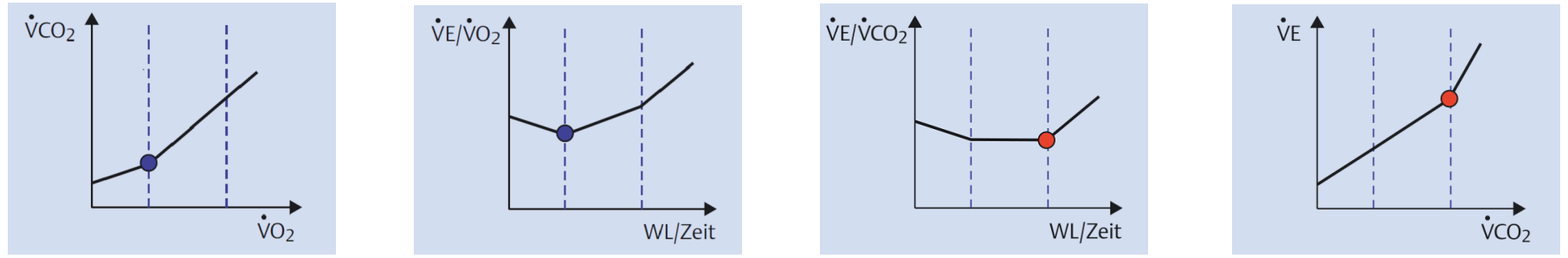
ob das Gerät generell für diese Anwendung nutzbar ist, welche der vier Methoden zum Erreichen der Firmenziele optimal ist und ob die Methoden genauere Ergebnisse liefern können, als der ursprüngliche Algorithmus.

Grundlagen

Das ventilatorische Schwellenkonzept basiert auf der physiologischen Reaktion des Körpers auf die zunehmende Belastung bei einer Spiroergometrie. Da der Muskelgehalt des körpereigenen Energiestoffs ATP zur Muskelkontraktion nur für eine kurze Zeit ausreicht, muss dieser für andauernde Arbeit durch Glykolyse resynthetisiert werden [2]. Reicht ab einer bestimmten Belastung die Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$) nicht mehr aus, funktionieren gewisse, für die Glykolyse notwendige Coenzyme nicht mehr, sodass in den Muskeln Laktat akkumuliert und es allmählich zur metabolischen Azidose (Übersäuerung) kommt. Der Körper kompensiert dies durch Puffer-Reaktionen, wodurch überschüssiges

Kohlenstoffdioxid (CO_2) anfällt, welches abgeatmet wird und respiratorisch gemessen werden kann.

Nach einer Spiroergometrie werden Atemparameter grafisch verglichen, um ventilatorische Reaktionen auf biochemische Prozesse zu detektieren. Die ventilatorischen Schwellen stellen Stoffwechselübergänge dar, anhand derer mit verschiedenen Modellen Trainingsbereiche bestimmbar sind. Sie werden für üblich als Herzfrequenz in min^{-1} angegeben. Die VT1 wird mittels der V-Slope-Methode oder anhand des Sauerstoff-Äquivalents (EQO_2) grafisch identifiziert. Das Kohlenstoffdioxid-Äquivalent ($EQCO_2$) oder der Vergleich der Ventilation ($\dot{V}E$) zur Kohlenstoffdioxidabgabe ($\dot{V}CO_2$) eignen sich zur Bestimmung der VT2.



a): V-Slope

b) EQO_2

c) $EQCO_2$

d) $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$

Abb. 1: Methoden zur Schwellenbestimmung: VT1: blau; VT2: orange

Methode

In einem firmeninternen Projekt wurden mit 28 unterschiedlichen Probanden spiroergometrische Tests auf einem Fahrradergometer absolviert, bei der die Herzfrequenz zusätzlich über einen Pulsgurt erfasst wurde. Die Durchführung folgte einem gleichbleibenden festgelegten Prozedere mit jedoch individuellen Belastungsprotokollen gemäß des Trainingszustands einer Person.

Die Sensor-Rohdaten des Spiroergometers, die Herzfrequenz sowie die Leistungswerte des Ergometers wurden durch die Software gespeichert, durch ein MATLAB-Programm weiterverarbeitet und grafisch in Form von „6-Felder-Grafiken“ visualisiert. In diesen sind die Plots für alle vier Methoden enthalten. Als VT2-Referenzmethode diente außerdem der ursprüngliche Algorithmus. Die Grafiken wurden subjektiv von zwei Ratern sowie mathematisch durch einen Algorithmus analysiert. Anschließend wurden die Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden statistisch miteinander verglichen und Differenzen bzw. Übereinstimmungen bei den identifizierten Schwellen untersucht. Die Ergebnisse wurden außerdem mit den Erkenntnissen der HUNT 3 Studie aus dem Jahre 2014 verglichen, um zu diskutieren, ob die gemessenen Werte realistisch waren.

Resultate

Bei den Testmessungen traten keinerlei Gerätefehler oder Störungen auf, sodass für alle 28 Probanden Ergebnisse in Form von Graphen erstellt werden konnten. Abb. 2 zeigt ein Beispiel einer 6-Felder-Grafik, in der die angewandten Methoden in mehreren Feldern aufgetragen sind. Zum Ablesen der ventilatorischen Schwellen ist die entsprechend gemessene Herzfrequenz in Form einer rosafarbenen Linie in die Plots integriert. Einige der Graphen waren jedoch nicht-differenzierbar und daher nur erschwert optisch auszuwerten.

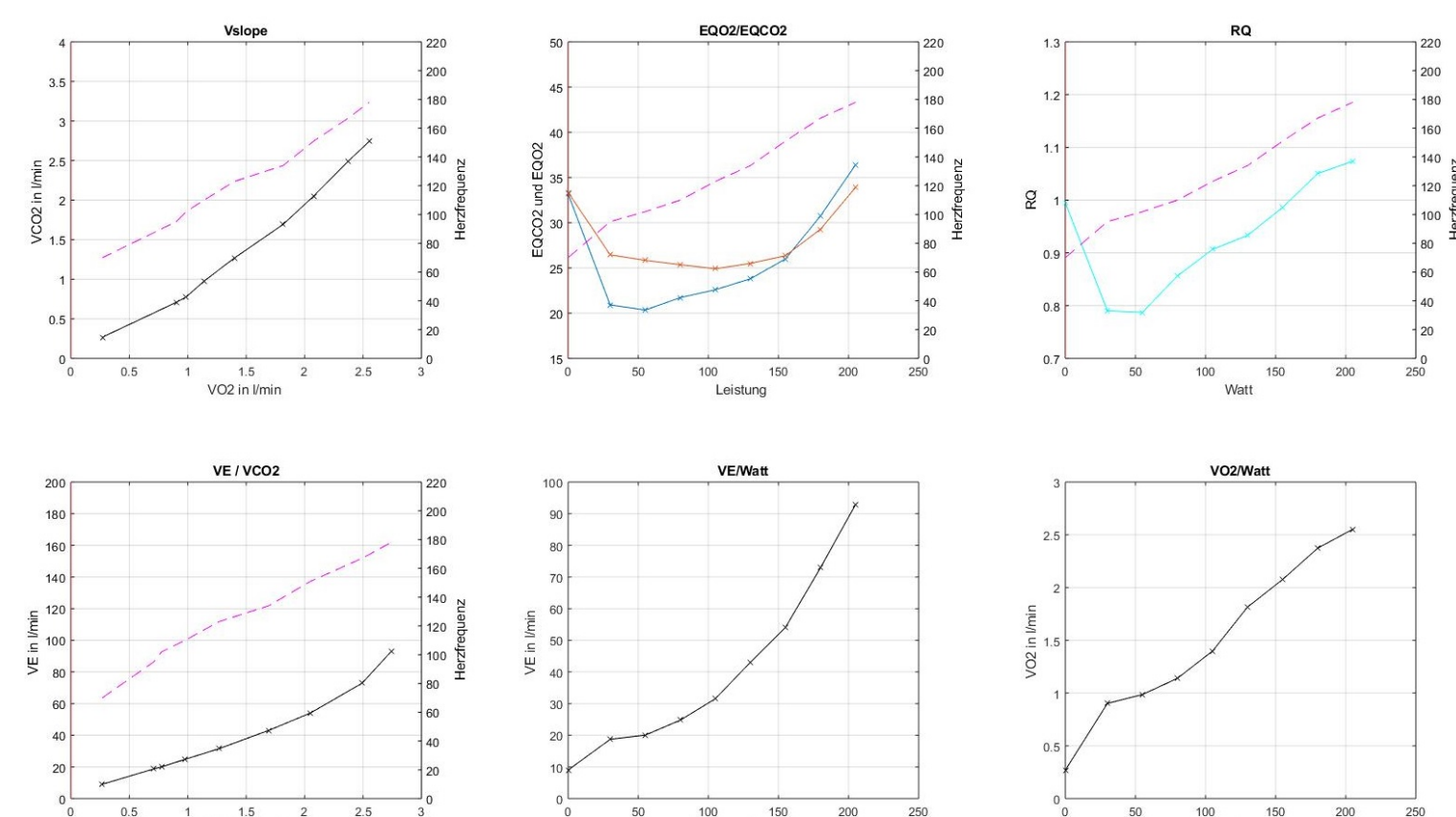
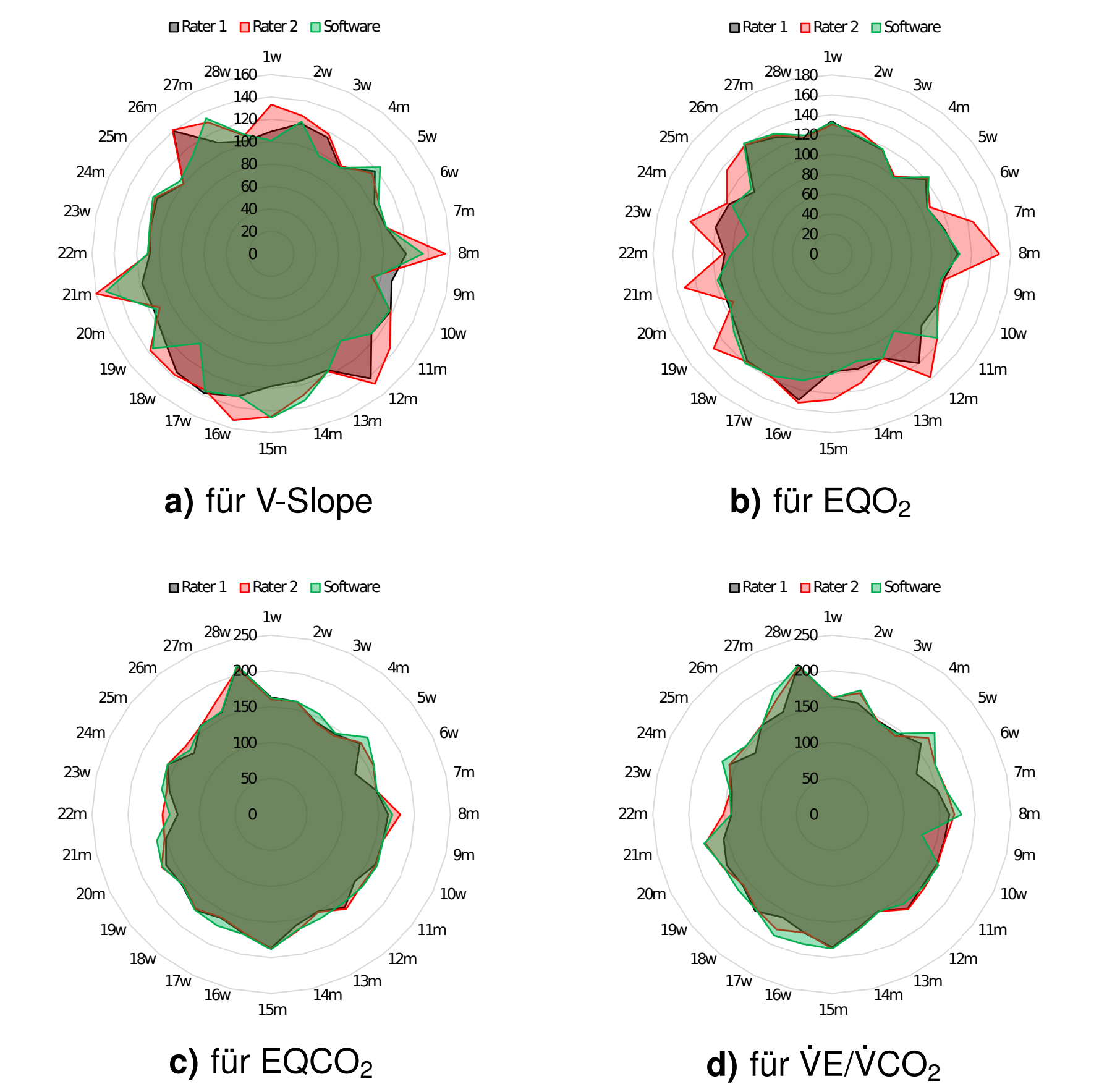


Abb. 2: Beispiel einer 6-Felder-Grafik



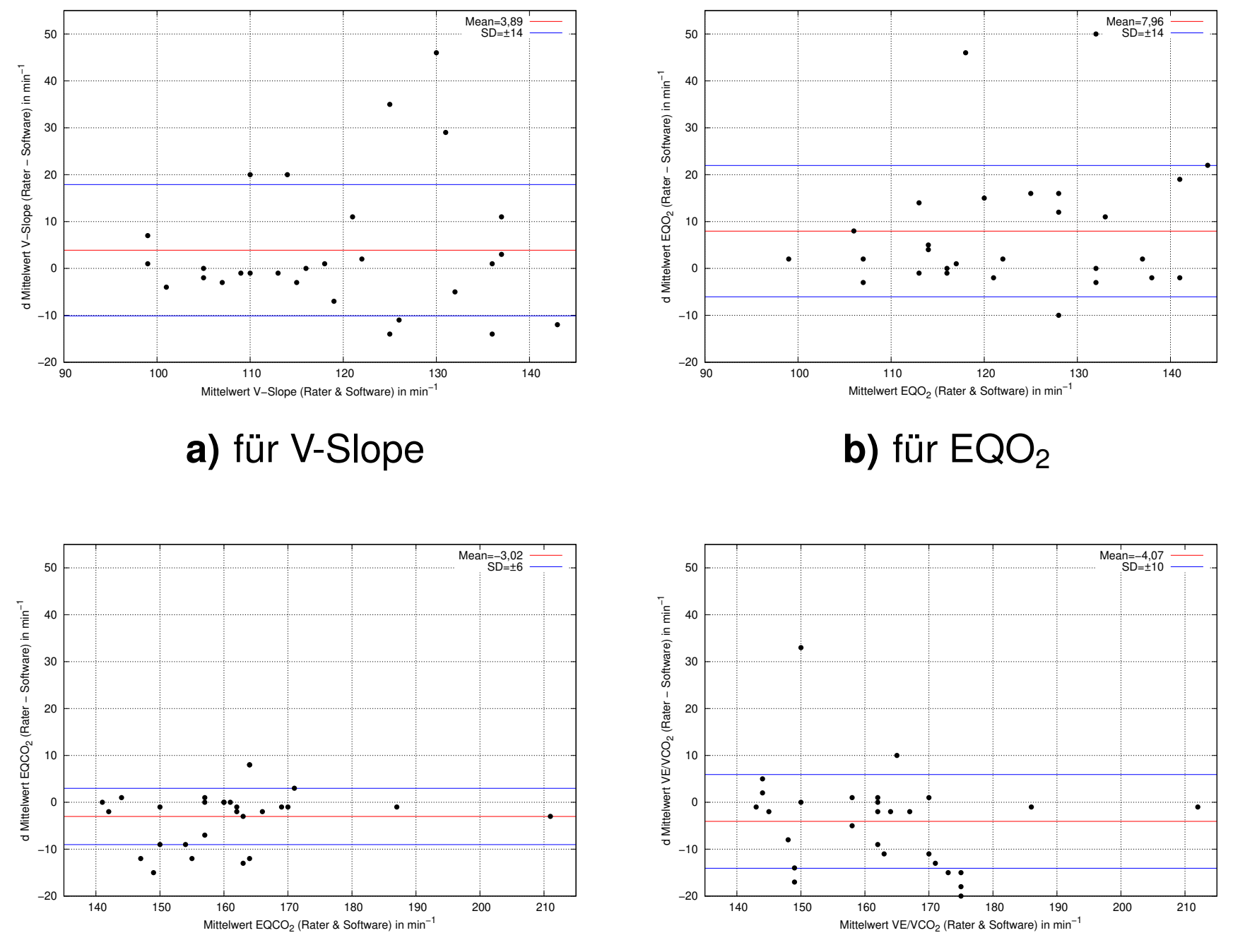
a) für V-Slope

b) für EQO_2

c) für $EQCO_2$

d) für $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$

Abb. 3: Verteilung der Ergebnisse für die Schwellen



a) für V-Slope

b) für EQO_2

c) für $EQCO_2$

d) für $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$

Abb. 4: Streuung der Ergebnisse um die mittlere Abweichung

Die Abb. 4 stellt zu diesen Ergebnissen die methodenspezifische Streuung der Schwellenbestimmungen um die mittlere Abweichung zzgl. der entsprechenden Standardabweichung (SD) dar.

Diskussion

Abb. 3 und 4 visualisieren, dass die Schwellen mit den beiden VT1-Methoden häufig sehr stark streuen und die Software diese im Schnitt früher bestimmte als die Rater, die aufgrund der häufigen Artefakte Schwierigkeiten bei der Auswertung hatten. Die $EQCO_2$ -Methode für die VT2 weist insgesamt die geringsten Differenzen auf und der Korrelationskoeffizient für diese Methode beträgt $r = 0,912$. Zudem ist diese Methode genauer und zuverlässiger als die ursprüngliche Methode, mit der 9 von 28 Grafiken gar nicht auswertbar waren.

Über die Hälfte der erhobenen Messwerte sind vergleichbar mit den geschlechts- und altersspezifischen Referenzdaten der HUNT 3 Studie [3]. Von den restlichen Personen lagen, bis auf einer, leicht unter dem Durchschnitt, was aufgrund des höheren Muskelwirkungsgrades auf dem Laufband logisch ist. Den Erkenntnissen des Projektes folgend, wird angenommen, dass das Gerät des Unternehmens für die Spiroergometrie generell genutzt werden kann. Außerdem können mit der durch die $EQCO_2$ -Methode erhobenen VT2 nach einem Modell von Wilfried Kinder-

mann Trainingszonen gemäß der Ziele des Unternehmens definiert werden [4]. Die Methode wurde in Form eines speziellen Algorithmus in die Software implementiert.

Literatur

- WESTHOFF, M. et al. *Positionspapier der AG-Spiroergometrie zu ventilatorischen und Laktatschwellen*. 2012. Auch verfügbar unter: https://www.mesics.de/fileadmin/user/literature/Spiroergometrie/AG-Spiroergometrie_Positionspapier-Schwellen.pdf. zuletzt abgerufen am 25.04.2018.
- KROIDL, R. F. et al. *Kursbuch Spiroergometrie - Technik und Befundung verständlich gemacht*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 2015.
- LOE, H.; STEINSHAMN, S.; WISLÖFF, U. Cardio-Respiratory Reference Data in 4631 Healthy Men and Women 20-90 Years: The HUNT 3 Fitness Study. *PLoS One*. 2014, Jg. 9, Nr. 11.
- KINDERMANN, W. Anaerobe Schwelle. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*. 2004, Jg. 55, Nr. 6, S. 161–162.

■ Bachelorand: Julian-Marvin Lütten, Betreuer: Prof. Dr. Dipl.-Ing. Ullrich Wenkebach, Studiengang: Biomedizintechnik, 2018