

Einleitung

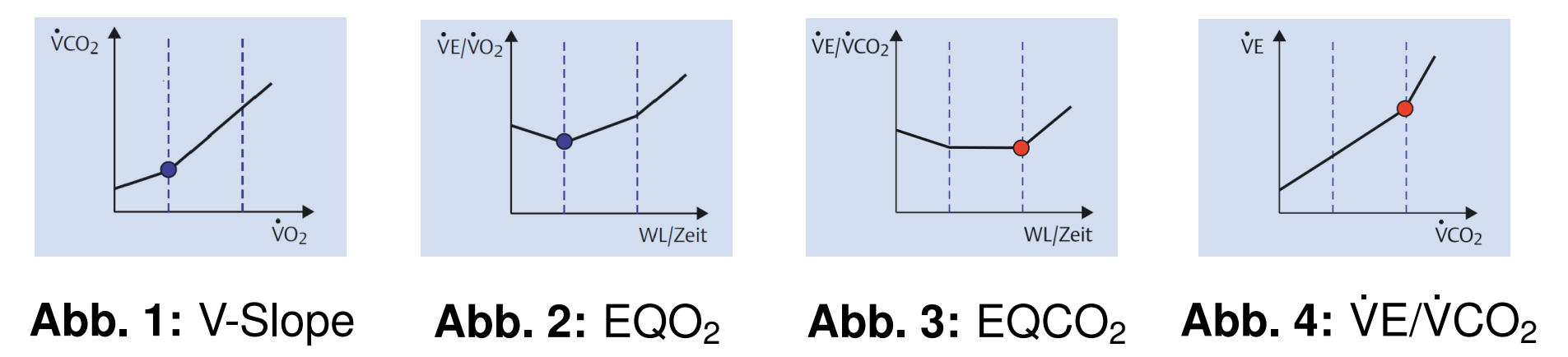
Die Spiroergometrie (aus lat. *spirare*: atmen, griech. *ergo*: Arbeit) ist eine sportmedizinisch-technische Anwendung, bei der respiratorische Daten während inkrementierter körperlicher Belastung erfasst und anschließend analysiert werden. Anhand dieser Daten können z.B. individuelle Trainingsbereiche 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 bestimmte Atemparameter grafisch verglichen, um ventilatorische Reaktionen auf die biochemischen metabolischen Prozesse zu detektieren. Die sogenannten ventilatorischen Schwellen stellen Stoffwechselübergänge dar, anhand derer mit verschiedenen Modellen Trainingsbereiche bestimmbar sind. Die VT1 kann mittels der V-Slope-Methode oder anhand des Sauerstoff-Äquivalents ( $EQO_2$ ) grafisch identifiziert werden. 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.



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. 5 zeigt ein Beispiel einer 6-Felder-Grafik, in der die respiratorischen Parameter in verschiedenen Farben aufgetragen sind. Zum Ablesen der ventilatorischen Schwellen ist die entsprechend gemessene Herzfrequenz in Form einer rosafarbenen Linie in die Plots integriert.

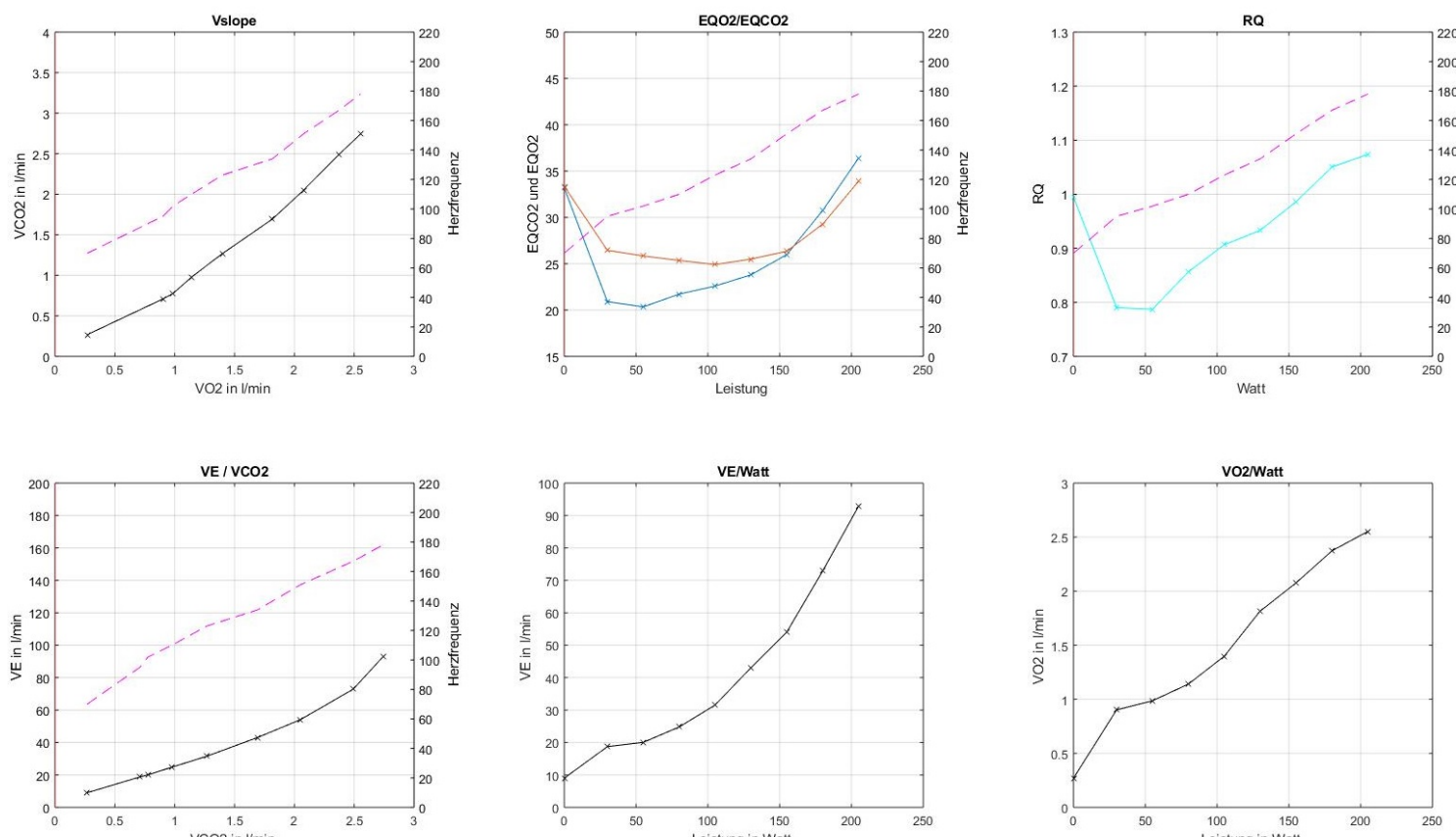


Abb. 5: Beispiel einer 6-Felder-Grafik

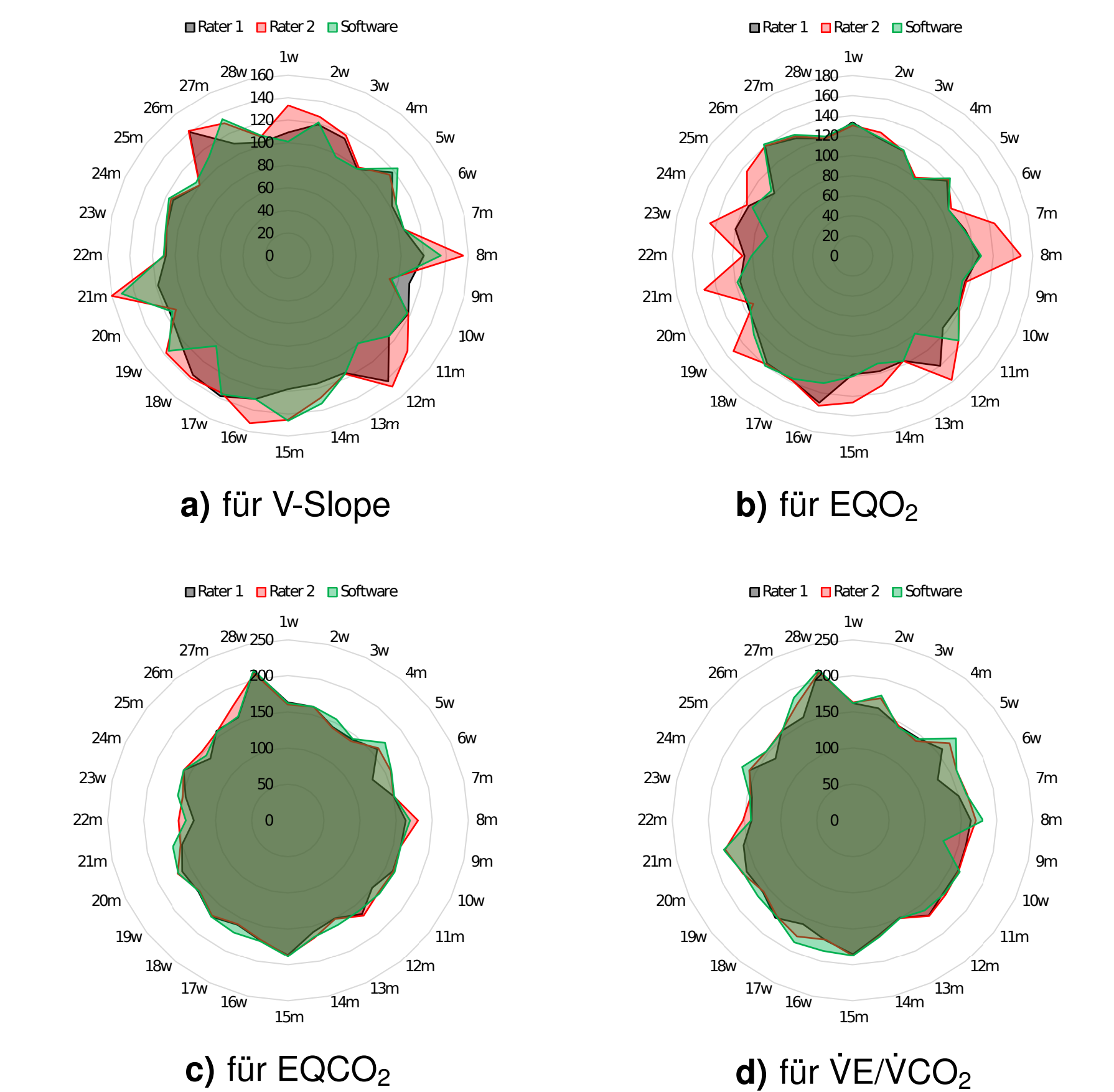


Abb. 6: Verteilung der Ergebnisse für die Schwellen

Abb. 6 zeigt die unterschiedlichen Ergebnisse der Schwellenbestimmung der Rater und Software für die Probanden anhand der vier Methoden in Form von Netzdiagrammen.

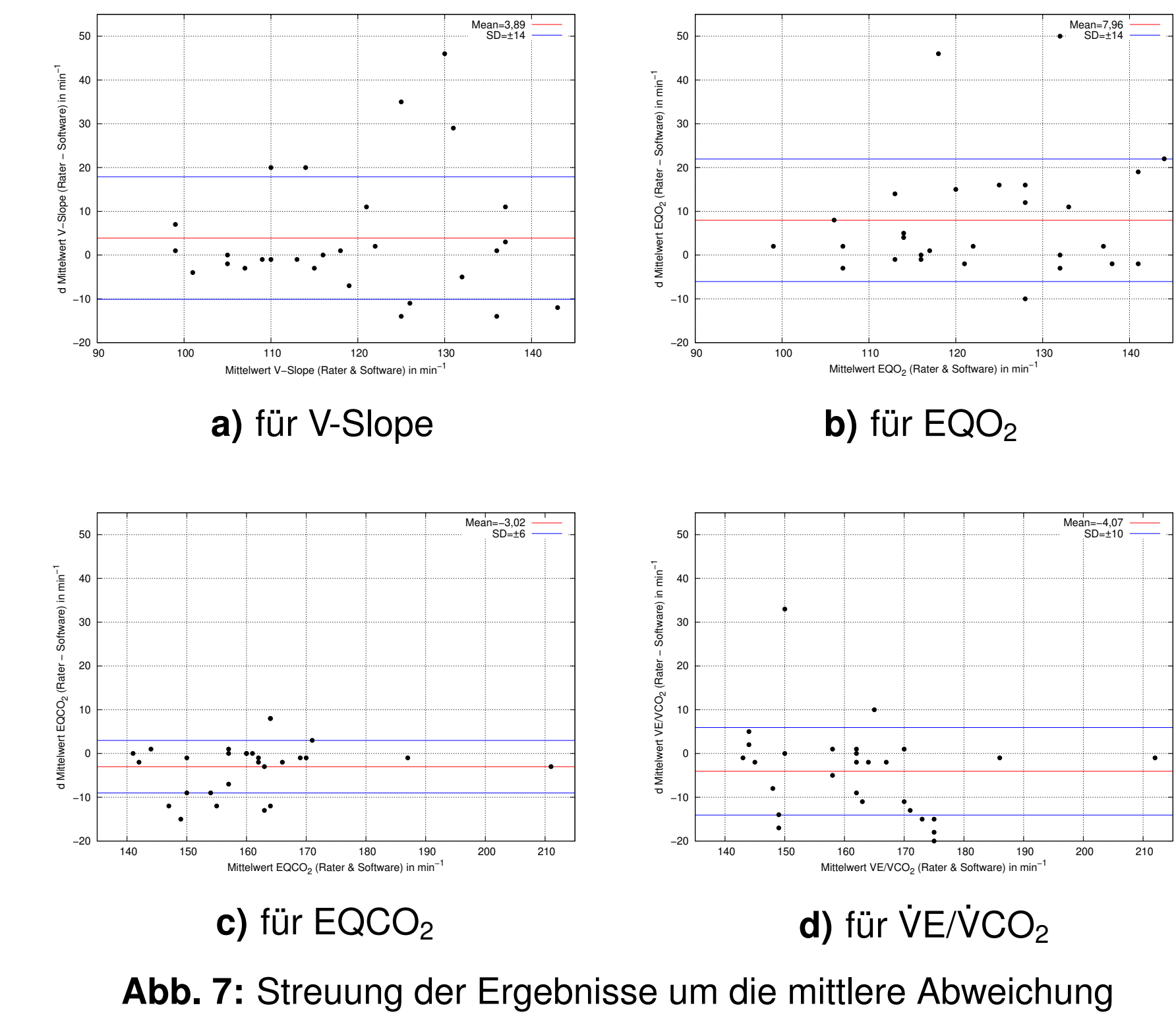


Abb. 7: Streuung der Ergebnisse um die mittlere Abweichung

Die Abb. 7 stellt zu diesen Ergebnissen die methodenspezifische Streuung der Schwellenbestimmungen um die mittlere Abweichung zzgl. der entsprechenden Standardabweichung (SD) dar.

Diskussion

Abb. 6 visualisiert, dass die Ergebnisse für die beiden VT1-Methoden häufig sehr stark streuen und für die VT2 wesentlich einheitlicher waren. In Abb. 7 ist zu erkennen, dass die  $EQCO_2$ -Methode die insgesamt geringsten Differenzen zwischen den Ratern und der Software aufweist und dementsprechend am eindeutigsten ist. Der Korrelationskoeffizient für diese Methode beträgt  $r = 0,912$ . Zudem ist diese Methode genauer und zuverlässiger als die veraltete Methode und wurde darum in die Software implementiert. Über die Hälfte der erhobenen Messwerte sind vergleichbar mit den Referenzdaten der HUNT 3 Studie [3], obwohl diese mit Laufbandergometern erhoben wurden. 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 Kindermann Trainingszonen gemäß der Ziele des Unternehmens definiert werden [4].

Künftige Verbesserungen am Algorithmus, z.B. im Hinblick auf ein besseres Mittelungs-Verfahren für die Mittelwerte einer Belastungsstufe, könnten die Ergebnisse noch weiter optimieren.

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](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.