

Evaluierung von Methoden zur Bestimmung der ventilatorischen Schwellen in der Spiroergometrie

Einleitung

Die Spiroergometrie (aus lat. *spirare*: atmen, griech. *ergo*: Arbeit) ist eine sportmedizinische, technische Anwendung, bei der respiratorische Daten während inkrementierter körperlicher Belastung erfasst und anschließend analysiert werden. Anhand dieser Daten können z.B. individuelle Trainingsbereiche für eine Person bestimmt werden. Die cardioscan GmbH, ein Hamburger Medizintechnik-Hersteller, hat 2017 ein Spiroergometer entwickelt, welches in Verbindung mit einer Software für dieses Verfahren genutzt werden soll. Die Software verwendet momentan einen Algorithmus, der recht sensitiv für Fehler ist und deshalb durch einen neuen ersetzt werden muss. Hierfür eignen sich Methoden zur Bestimmung der ventilatorischen Schwellen VT1 und VT2, die von der AG Spiroergometrie wissenschaftlich empfohlen werden [1]. Es wurden im Rahmen dieser Arbeit insgesamt vier Methoden ausgewählt, die in Folge an eine Spiroergometrie mit dem neuen

Gerät des Unternehmens zur Schwellenbestimmung verwendet werden. 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 oxidativ resynthetisiert werden [2]. Reicht ab einer bestimmten Belastung die Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$) nicht mehr aus, fehlen dem Körper gewisse Enzyme, sodass in den Muskeln Laktat akkumuliert und es allmählich zur metabolischen Azidose (Übersäuerung) kommt. Der Körper versucht, dies durch Puffer-

Reaktionen zu kompensieren, wodurch überschüssiges Kohlenstoffdioxid (CO_2) anfällt, welches abgeatmet wird und respiratorisch gemessen werden kann.

Anschließend werden bestimmte Atemparameter grafisch verglichen, um ventilatorische Reaktionen auf metabolische 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 ($\dot{V}E$) mit der Kohlenstoffdioxidabgabe ($\dot{V}CO_2$) eignen sich zur Bestimmung der VT2.

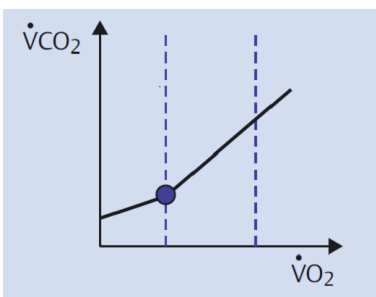


Abb. 1: V-Slope

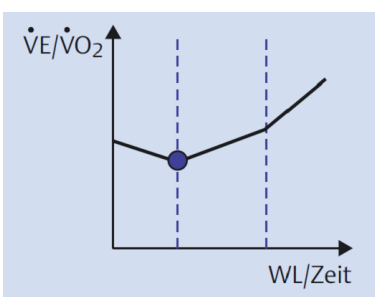


Abb. 2: EQO₂

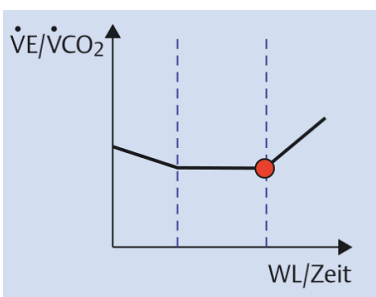


Abb. 3: EQCO₂

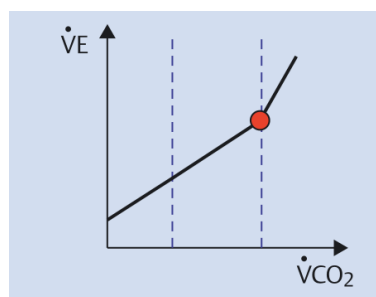


Abb. 4: V̇E/V̇CO₂

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 und durch ein MATLAB-Programm weiterverarbeitet und grafisch in Form von „6-Felder-Grafiken“ visualisiert. In diesen sind die Plots für alle vier Methoden enthalten. 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.

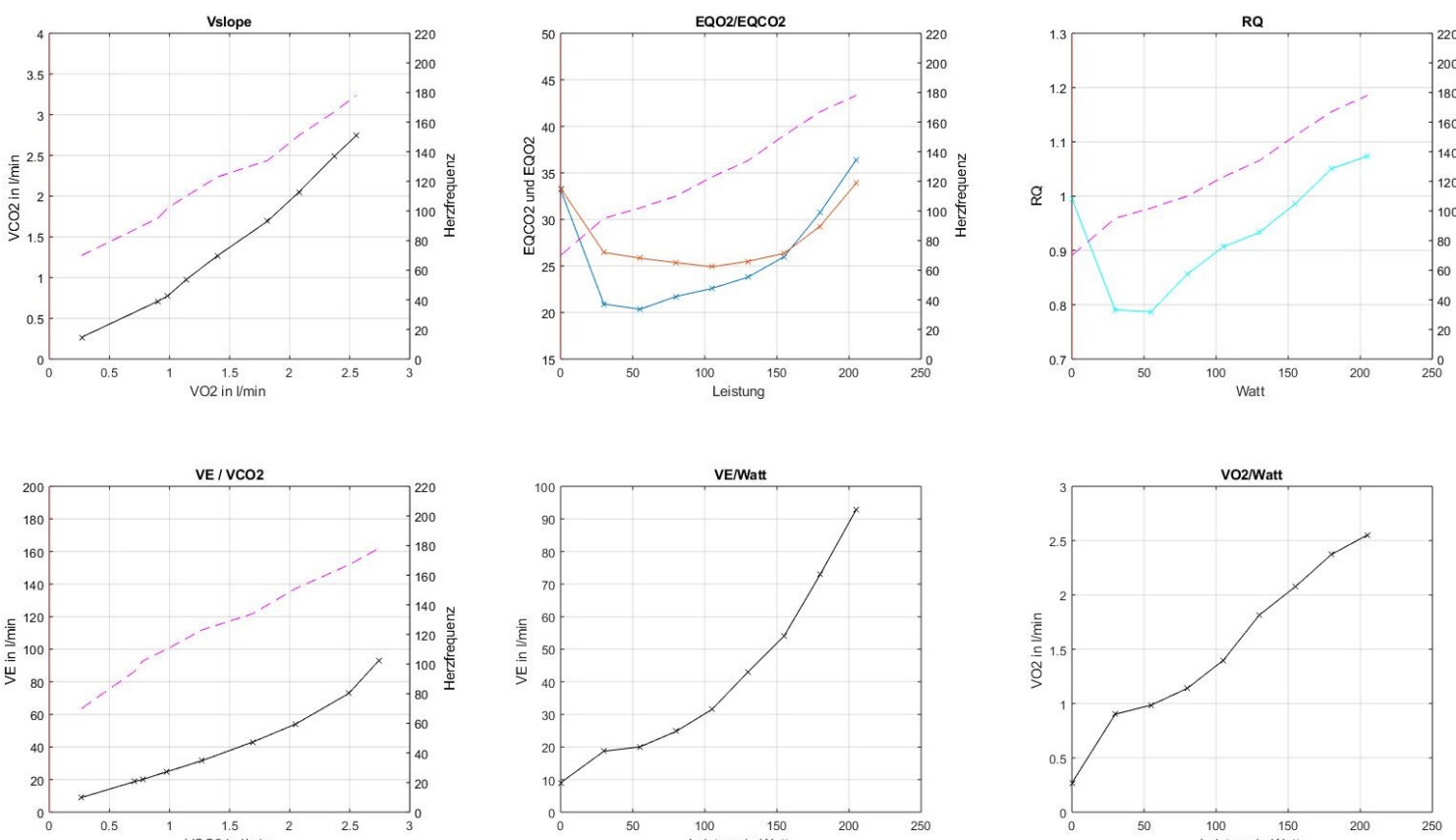


Abb. 5: Beispiel einer 6-Felder-Grafik

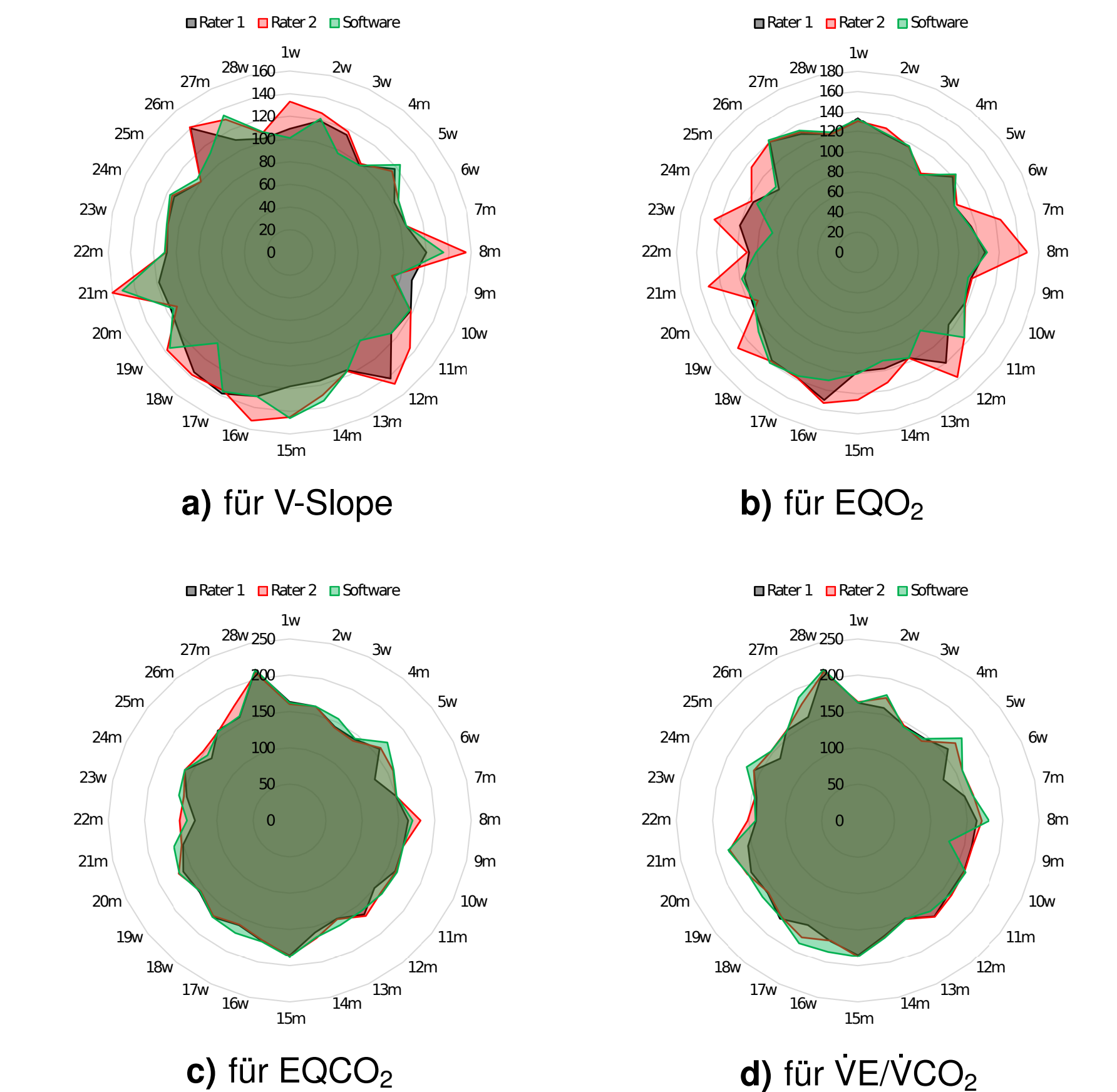


Abb. 6: Verteilung der Ergebnisse für die Schwellen

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

Diskussion

Es ist in Abb. 7 zu erkennen, dass die Ergebnisse der EQCO₂-Methode die geringsten Differenzen zwischen den Ratern und der Software aufweisen und diese Methode dementsprechend am eindeutigsten ist. Der Korrelationskoeffizient für diese Methode beträgt $r = 0,912$. Damit ist diese Methode genauer als die ursprüngliche 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 auf Laufbandergometern durchgeführt 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 EQCO₂-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. 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.

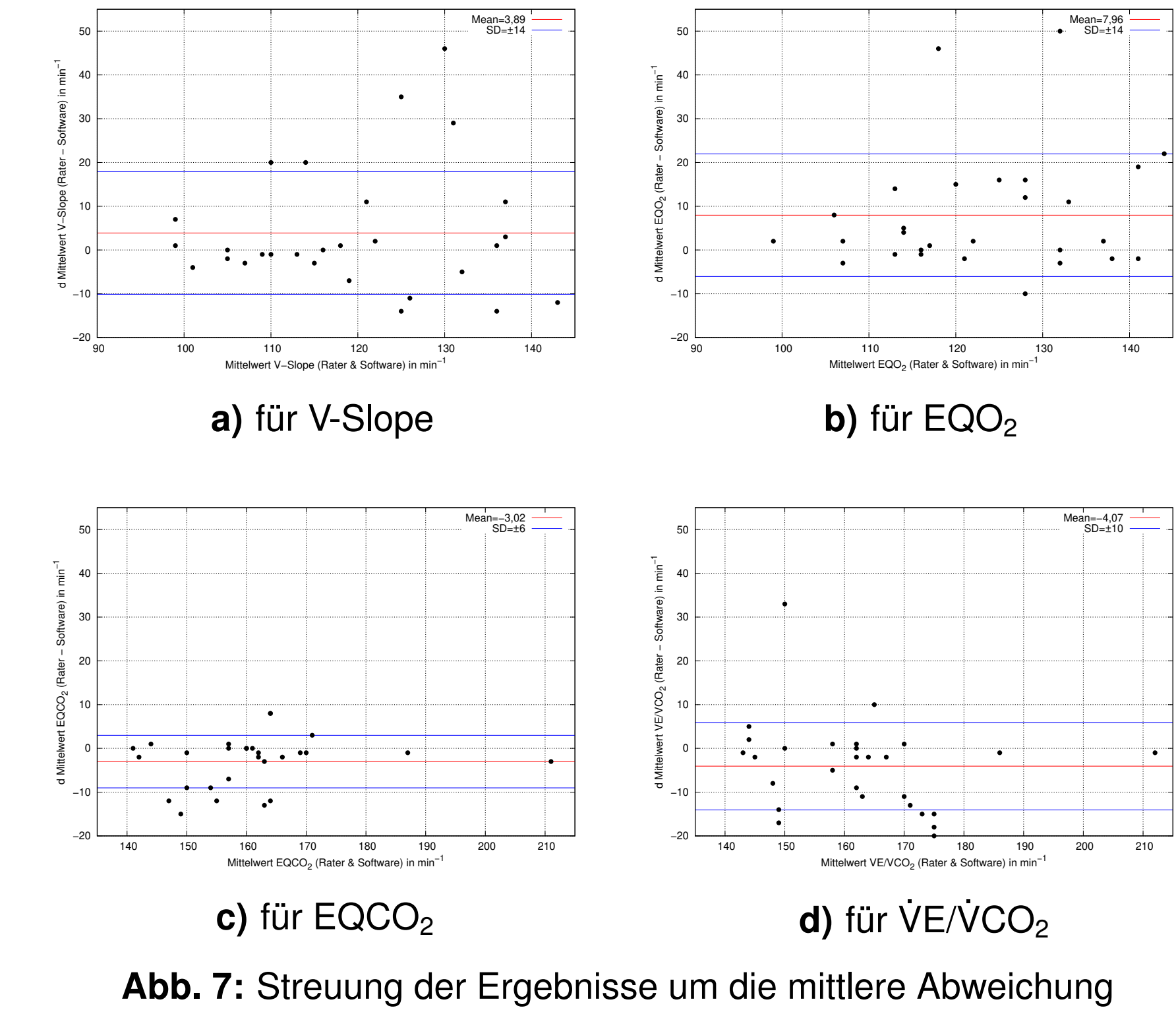


Abb. 7: Streuung der Ergebnisse um die mittlere Abweichung

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