

Individuelle Trainingszonen- und Regenerationsanalyse

Stufentest — Warum wir eine ansteigende Belastung durchführen

Automatische Protokollempfehlung – Wann und warum VarioLab® ein anderes Protokoll vorschlägt.

Fa. Ostarek · Bochum



Der Stufentest ist das Herzstück der VarioLab-Diagnostik. Statt einer einzelnen Momentaufnahme in Ruhe wird die Belastung in klar definierten Stufen gesteigert — ein Prinzip, das die Sportwissenschaft seit Jahrzehnten nutzt, um Leistungsschwellen zu bestimmen. Klassisch geschieht das über Blutabnahmen und Milchsäure-Messung (Laktatstufentest); VarioLab erreicht dasselbe Ziel ohne Blutabnahme, allein über die Analyse des Herzrhythmus.

Der Stufentest im Detail

Die Wattzahl steigt alle drei Minuten um eine feste Stufe. Diese Zeitspanne ist kein Zufall: Drei Minuten sind die Mindestzeit, die der Herzrhythmus benötigt, um sich auf eine neue Belastungsstufe einzupendeln und stabile, auswertbare Messwerte zu liefern. Eine kürzere Stufendauer würde noch Übergangseffekte der vorherigen Stufe mit abbilden und die Auswertung verfälschen.

Die Trittfrequenz wird während des gesamten Tests konstant bei 60 Umdrehungen pro Minute gehalten — eine bewusst gewählte Kontrollvariable. Unterschiedliche Trittfrequenzen erzeugen bei identischer Wattleistung unterschiedliche Muskelrekrutierungsmuster und damit unterschiedliche Herzkreislaufantworten. Ohne diese Vorgabe wären zwei Tests derselben Person nicht mehr sauber miteinander vergleichbar.

3 Minuten pro Stufe · konstant 60 U/min · fünf Stufen bis zur individuellen Ausbelastung

Warum eine ansteigende Belastung objektiv wertvoll ist

Eine einzelne Messung — egal ob in Ruhe oder bei einer einzigen Wattzahl — kann niemals eine Schwelle zeigen. Eine Schwelle ist per Definition ein Übergang: der Punkt, an dem sich der Stoffwechsel von überwiegend aerober zu zunehmend anaerober Energiegewinnung verschiebt. Um diesen Übergang zu erfassen, muss der Körper durch verschiedene Belastungsintensitäten hindurch beobachtet werden — genau das leistet der Stufentest.

Klassische Laktatstufentests (etabliert unter anderem durch Mader und Heck in den 1970er- und 1980er-Jahren, mit der bekannten 4-mmol/l-Schwelle als Orientierungswert) folgen demselben Grundprinzip: schrittweise Belastungssteigerung, Messung bei jeder Stufe, Bestimmung des Übergangspunkts aus dem Kurvenverlauf. VarioLab überträgt dieses bewährte Prinzip auf eine unblutige Messgröße.

- Ohne Belastungssteigerung kein Übergangspunkt erkennbar — eine Schwelle braucht einen Verlauf, keinen Einzelwert
- Fünf Stufen liefern genug Datenpunkte für eine belastbare Kurve und eine präzise Interpolation der Schwellen-Wattzahl
- Dasselbe methodische Grundprinzip wie beim klassischen Laktatstufentest — nur ohne Nadel

Warum DFA $\alpha 1$ statt Blutabnahme

Die Detrended Fluctuation Analysis (DFA) untersucht, wie geordnet oder chaotisch die Schwankungen zwischen aufeinanderfolgenden Herzschlägen sind. Bei niedriger Belastung ist dieses Muster komplex und fein strukturiert (hoher DFA- $\alpha 1$ -Wert). Mit steigender Belastung wird das Muster zunehmend einfacher und regelmäßiger — der Wert fällt. Forschungsarbeiten von Rogers, Gronwald und Kollegen (u. a. veröffentlicht in *Frontiers in Physiology*) konnten zeigen, dass dieser Abfall sehr eng mit den klassischen, laktatbasierten Schwellen übereinstimmt: ein DFA- $\alpha 1$ -Wert von etwa 0,75 markiert die aerobe Schwelle, ein Wert von etwa 0,50 die anaerobe Schwelle. Der entscheidende Vorteil:

Diese Information steckt bereits im Herzrhythmus selbst. Es ist keine Blutentnahme, kein Labor und keine Wartezeit auf ein Ergebnis nötig — die Auswertung erfolgt unmittelbar nach dem Test, direkt aus den Daten des Brustgurts.

Die vier Protokolle: individuell passend

Damit die Schwelle im Testverlauf weder zu früh noch zu spät erreicht wird — beides würde die Genauigkeit der Auswertung verringern — bietet VarioLab vier Wattbereiche an, passend zum jeweiligen Leistungsniveau.

Protokoll	Wattbereich	Zielgruppe
A	50 – 150 W	Einsteiger, Freizeitsportler
B	75 – 175 W	Trainierte Freizeitsportler
C	100 – 200 W	Gut trainierte
T	100 - ~	Leistungssportler

VarioLab wertet nach jedem Test automatisch aus, ob die gefundene Schwelle zu nah am oberen Rand des gewählten Protokolls lag, und empfiehlt bei Bedarf für den nächsten Test das nächsthöhere Protokoll — damit die Schwelle beim Folgetest wieder mittig im Testbereich liegt und die Interpolation präzise bleibt.

Der Stufentest und die VarioLab-Auswertung

Aus den fünf Messpunkten (Watt und DFA $\alpha 1$ je Stufe) berechnet VarioLab per Interpolation die exakte Wattzahl, bei der die Kurve die Werte 0,75 und 0,50 kreuzt — die individuelle aerobe und anaerobe Schwelle. Aus diesen beiden Ankerpunkten leiten sich anschließend automatisch die vier persönlichen Trainingszonen (Z1 bis Z4) sowie die Trainingsempfehlungen im Bericht ab. Stufen mit auffälligen oder statistisch unsicheren Werten werden dabei automatisch erkannt und von der Berechnung ausgeschlossen, damit ein einzelner unruhiger Messwert nicht die gesamte Auswertung verzerrt.

Praktische Anwendung

- Sicherheit hat Vorrang: Die Herzfrequenz wird fortlaufend gegen individuelle, alters- und geschlechtsabhängige Grenzwerte überwacht (Warnung ab 85 %, automatischer Abbruch ab 92–95 % der geschätzten Maximalherzfrequenz)
- Ein Abbruch auf Wunsch des Sportlers ist jederzeit möglich — das Ergebnis basiert dann auf den bis dahin abgeschlossenen Stufen
- Gleichmäßige Trittfrequenz und ruhiges Atmen während der Fahrt verbessern die Datenqualität spürbar
- Das subjektive Belastungsempfinden (Borg-Skala) wird nach jeder Stufe ergänzend erfragt — ein zweiter, unabhängiger Blick auf dieselbe Belastung

Merksatz: Eine Schwelle lässt sich nicht in Ruhe messen und nicht erraten — nur eine Belastung, die konsequent ansteigt, macht den Übergang von aerob zu anaerob sichtbar.

Die vier Stufentest-Protokolle

VarioLab bietet vier Leistungstest-Protokolle die auf den Trainingsstatus abgestimmt sind. Jedes Protokoll definiert Startwatt, Stufenhöhe und Abbruchkriterien.

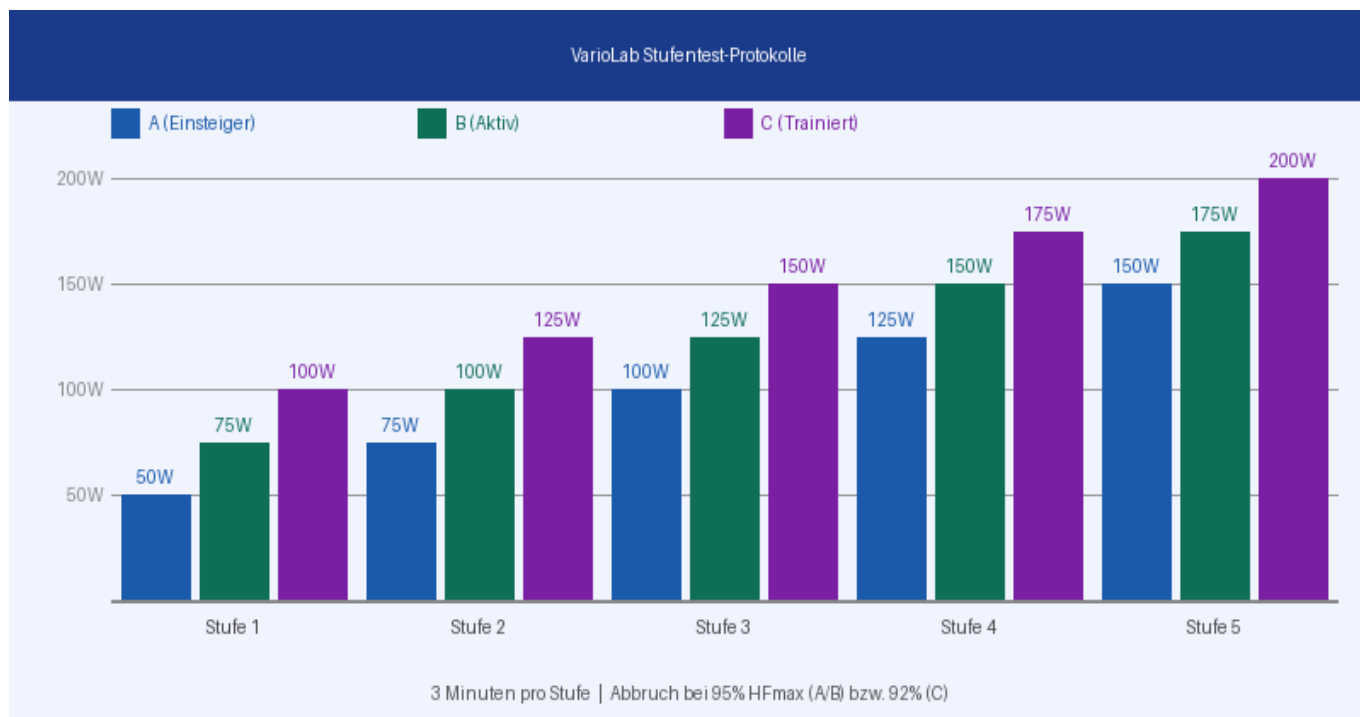


Abb. 1: Wattvorgaben der drei Basis-Protokolle je Stufe

Merkmal	Protokoll A	Protokoll B	Protokoll C	Protokoll T
Zielgruppe	Einsteiger	Aktiv (1-3x/Wo)	Trainiert (>3x/Wo)	Leistungssportler
Startwatt	50 Watt	75 Watt	100 Watt	100 Watt
Stufenhöhe	+25W / 3 Min	+25W / 3 Min	+25W / 3 Min	+25W / 3 Min
Stufen	50-75-100-125-150W	75-100-125-150-175W	100-125-150-175-200W	100 bis ~
Abbruch HF	95% HFmax	95% HFmax	92% HFmax	88% HFmax

DFA a1 - Die Grundlage der Protokollempfehlung

Was DFA a1 misst

DFA $\alpha 1$ ist ein nichtlinearer HRV-Parameter der die Komplexität des Herzrhythmus unter Belastung beschreibt. Mit steigender Intensität sinkt der DFA $\alpha 1$ -Wert und kreuzt definierte Schwellenwerte.

Beispiel: DFAa1-Verlauf (Protokoll A) mit Schwellenbestimmung

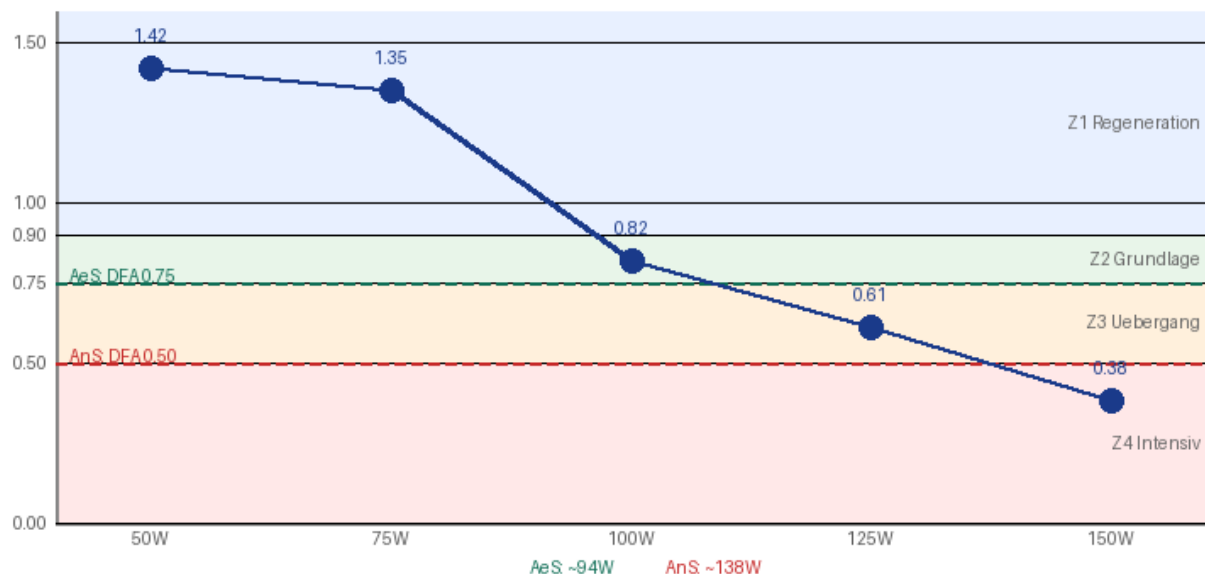


Abb. 2: DFA a1-Verlauf -- aerobe Schwelle bei 0.75, anaerobe bei 0.50

Aerobe Schwelle DFA 0.75

Übergang Zone 2 zu Zone 3.
Wissenschaftliche Basis: Gronwald et al. (2021)
First Ventilatory Threshold = DFA 0.75

Bedeutung: Maximale Dauerwattzahl
im aeroben Bereich -- Zone 2 Grenze.

Anaerobe Schwelle DFA 0.50

Übergang Zone 3 zu Zone 4.
Korreliert mit VT2 -- zweiter ventilatorischer
Schwelle des Laktatstoffwechsels.

Bedeutung: Obere Grenze des
Entwicklungsbereichs Zone 3.

Die vier Trainingszonen

Zone	DFA a1	Charakter	Trainingsbedeutung
Z1 Regeneration	> 0.90	Parasympathisch	Aktive Erholung. Sehr leicht - kaum Trainingsreiz.
Z2 Grundlage	0.75 - 0.90	Aerob dominant	Kernbereich Ausdauertraining. Größter Trainingsanteil.
Z3 Übergang	0.50 - 0.75	Gemischt	Aerob-anaerob Gezielte Entwicklungseinheiten - kurze Dauer.
Z4 Intensiv	< 0.50	Anaerob	Hohe Belastung. Kurze Intervalle - nur gezielt einsetzen.

Protokollempfehlung - Die Logik

Wann wird ein anderes Protokoll vorgeschlagen?

Nach jeder Messung berechnet VarioLab automatisch ob das Protokoll optimal war. Die Empfehlung erscheint beim nächsten Start als Badge in der Sportlerauswahl.

Höheres Protokoll empfohlen (A -> B oder B -> C)

Fall 1: Alle Stufen absolviert + keine aerobe Schwelle gefunden.

- > DFA $\alpha 1$ bleibt überall über 0.75. Leistungsreserven vorhanden.
- > Höhere Startwattzahl ermöglicht vollständige Auswertung.

Fall 2: Alle Stufen absolviert + aerobe Schwelle in vorletzter oder letzter Stufe.

- > Schwelle am oberen Rand des Protokolls - kaum Spielraum.
- > Höhere Startwattzahl für bessere Zonenkalibrierung.

Niedrigeres Protokoll empfohlen (B -> A oder C -> B)

Fall 1: Test abgebrochen + keine aerobe Schwelle gefunden.

- > HF-Grenze erreicht bevor DFA 0.75 unterschritten wurde.
- > Niedrigere Startbelastung für vollständige Auswertung.

Fall 2: Aerobe Schwelle bereits in Stufe 1 oder 2.

- > Belastungsanstieg zu steil - aerobe Zone sofort überschritten.

Fall 3: Mehr als 50% der Stufen zeigen DFA $\alpha 1$ unter 0.50.

- > Anaerober Bereich dominiert ab früh -- Protokoll klar zu hoch.

Kein Protokollwechsel (bleibt gleich)

Aerobe Schwelle liegt in Stufe 3 oder 4 von 5 - optimaler Messbereich.

Test vollständig absolviert ohne Abbruch.

Keine Überlastungsbedingung erfüllt.

Die Schwelle liegt in der Mitte des Protokolls -- maximale Interpolationsgenauigkeit.

Entscheidungsbaum

Testergebnis	Bedingung	Empfehlung
Alle Stufen + keine Schwelle	$DFA > 0.75$ überall	Höher: A->B / B->C
Alle Stufen + Schwelle in letzten 2	$AeS \geq$ vorletzte Stufe	Höher: A->B / B->C>T
Abbruch + keine Schwelle	HF-Limit vor DFA 0.75	Niedriger: B->A / C->B
Schwelle sehr früh	AeS in Stufe 1 oder 2	Niedriger: B->A / C->B
Mehrheit anaerob	Mehr als 50% < DFA 0.50	Niedriger: B->A / C->B
Schwelle in Stufe 3-4 von 5	Optimale Mitte	Kein Wechsel

Ruhe-HRV und Poincare-Diagramm

Warum Ruhe-HRV vor dem Stufentest?

Vor jedem Stufentest misst VarioLab 5 Minuten Ruhe-HRV liegend und 5 Minuten stehend. Diese Messung liefert den autonomen Ausgangszustand des Sportlers.

5 Minuten liegend

Maximaler Parasympathikustonos.
Höchste RMSSD-Werte des Tests.
Referenzwert für alle Vergleiche.

Typische Werte (trainiert):
RMSSD: 40-80 ms
DFA α_1 : 1.0-1.5
SD1/SD2 > 0.40 (runde Ellipse)

5 Minuten stehend

Erfasst die Orthostase-Reaktion.
Beim Aufstehen: Sympathikus aktiv.
RMSSD sinkt -- physiologisch normal.

Typische Werte:
RMSSD: 15-40 ms (reduziert)
DFA α_1 : 0.8-1.2
SD1/SD2 0.20-0.35 (schmalere Ellipse)

Das Poincare-Diagramm

Jeder Punkt im Diagramm stellt ein RR-Intervall dar: X-Achse = RR[n], Y-Achse = RR[n+1]. Die kurze Ellipsenachse (SD1) misst die parasympathische Kurzzeit-Variabilität, die lange Achse (SD2) die Gesamtvariabilität.

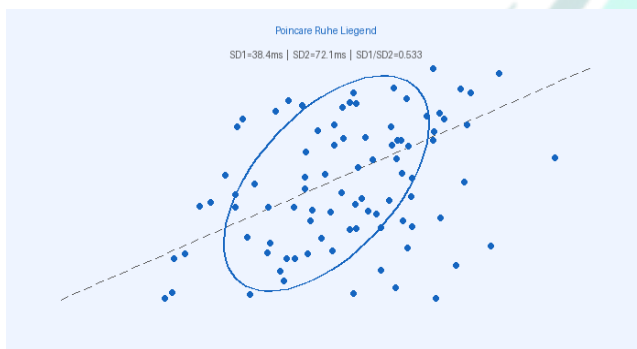


Abb. 3: Liegend - SD1=38.4ms, SD2=72.1ms

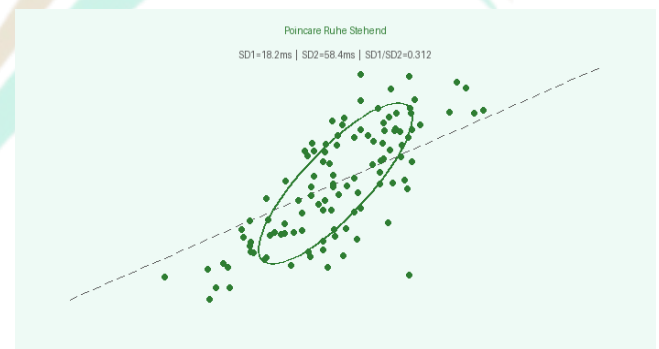


Abb. 4: Stehend - SD1=18.2ms, SD2=58.4ms

Breite, runde Ellipse = hohe parasympathische Aktivität. Typisch für erholt, gut trainierten Sportler.

Schmale Ellipse = Sympathikusaktivierung durch Orthostase. Physiologisch normal beim Aufstehen.

Parameter	Berechnung	Klinische Bedeutung
SD1	RMSSD / Wurzel(2)	Kurzfristige Variabilität -- Parasympathikus. Hoch = gute Erholungsfähigkeit.
SD2	Langzeit-Ellipsenachse	Gesamtvariabilität -- autonome Anpassungsbreite. Korreliert mit SDNN.
SD1/SD2	SD1 / SD2	Ellipsenform. Rund > 0.4 = ausgeglichen. Schmal < 0.2 = Sympathikusdominanz.
Punktwolke	Schlag-zu-Schlag-Differenz	Breit = hohe RSA (Atemsinusarrhythmie). Eng = geringe Variabilität.

Protokollempfehlung in der Praxis

Vier Praxisbeispiele

Beispiel 1: Protokoll A -> Höher zu B

Situation: Alle 5 Stufen (50-150W) absolviert. DFA $\alpha 1$ -Werte: 1.42 / 1.35 / 1.28 / 1.15 / 0.98 - alle über 0.90, keine Schwelle gefunden.

Interpretation: Die Maximalbelastung reicht nicht aus. Parasympathikus bleibt dominant. Deutliche Leistungsreserven.

Empfehlung: Protokoll B (75-175W) beim nächsten Test.

Beispiel 2: Protokoll B -> Niedriger zu A

Situation: Abbruch in Stufe 3 (125W) durch HF-Grenze. DFA $\alpha 1$: 1.31 / 0.91 / 0.68 - Abbruch bevor 0.75 stabil unterschritten.

Interpretation: 75W Startbelastung zu hoch. Vollständige Analyse nicht möglich da Test zu früh endet.

Empfehlung: Protokoll A (50-150W) für vollständigen Test.

Beispiel 3: Protokoll A - Kein Wechsel

Situation: Alle Stufen. DFA $\alpha 1$: 1.42 / 1.35 / 0.82 / 0.61 / 0.38. Aerobe Schwelle bei 94W (Stufe 2-3). Anaerobe bei 138W (Stufe 4).

Interpretation: Schwellen liegen in Stufe 3-4 - optimaler Messbereich. Protokoll A passt ideal für diesen Sportler.

Empfehlung: Protokoll A bleibt -- kein Wechsel.

Beispiel 4: Protokoll B -> Frühzeitige Schwelle -> Niedriger

Situation: Stufe 1 (75W): DFA $\alpha 1$ = 0.71 - bereits unter 0.75. Aerobe Schwelle bei 68W interpoliert.

Interpretation: Die aerobe Zone liegt unterhalb der Startleistung. Zone-2-Kalibrierung nicht möglich da Übergangszone von Beginn an aktiv.

Empfehlung: Protokoll A (Start 50W) für nächsten Test.

Wo erscheint die Empfehlung?

In der Sportlerauswahl

Neben dem Sportlernamen erscheint ein Badge:

UP-Pfeil + grün = Höher empfohlen

DOWN-Pfeil + rot = Niedriger empfohlen

Beispiel: B empfohlen (aktuell: A)

Beispiel: A empfohlen (aktuell: B)

Beispiel: T empfohlen (aktuell: C)

Der Trainer sieht die Empfehlung vor dem Test und wählt das Protokoll entsprechend.

Wichtige Hinweise

Die Empfehlung gilt für den NÄCHSTEN Test. Der Trainer entscheidet ob er folgt.

Regelmässige Tests (alle 6-12 Wochen):
Protokollwechsel spiegeln Trainingsfortschritt.
A -> B -> C = deutliche Leistungssteigerung.

Rückstufung ist kein Rückschritt:
Sie ermöglicht präzisere Diagnostik und vermeidet Überlastung.

Diese Inhalte dienen der Information und Schulung und ersetzen keine ärztliche oder therapeutische Beratung.