

Wattmessung im Radsport und Triathlon: Trainingsbelastung (Training Stress Score TSS): Hunter Allen und Dr. Andrew Coggan irren sich!

Das Buch „Training und Racing with a Powermeter“ (Titel der deutschen Übersetzung des Buches: Wattmessung im Radsport und Triathlon) von Hunter Allen und Andrew Coggan gilt in der Radszene, welche sich mit dem Thema Wattmessung befasst, mittlerweile schon fast als Kultbuch, zumindest aber als unbestrittener Vorreiter im Bereich der Leistungsmessung mittels Wattmessgeräten (Powermeter) und deren Möglichkeiten.

Nachdem ich mir die deutsche Ausgabe des Buches im Herbst 2012 gekauft habe (die erste deutsche Ausgabe ist 2012 erschienen, das Original in Englisch meines Wissens 2006) und mich in dem Buch eingelesen, bin ich positiv überrascht und finde die neuen Möglichkeiten, welche darin beschrieben sind – weit mehr als erwartet –, sehr interessant und aufschlussreich (Gratulation an die Autoren!).

Allerdings gibt es in diesem Buch bei genauerem Hinsehen meiner Ansicht nach auch einen grossen Logikfehler beziehungsweise Irrtum. Es handelt sich dabei um die Formel zur Ermittlung der Trainingsbelastung, den Training Stress Score (TSS). Meiner Ansicht nach ist die dort angegebene Formel zur Ermittlung von Trainingsbelastungen $TSS = h \cdot IF^2 \cdot 100$ deutlich von der Realität entfernt (h = Dauer des Trainings in Stunden, IF = Intensitätsfaktor).

In meinen Augen müsste die Formel wie folgt abgeändert werden um die Realität einigermaßen genau abzubilden: $TSS = h \cdot IF^3 \cdot 100$ oder besser noch $TSS = h \cdot IF^4 \cdot 100$. Das heisst: Aus meiner Sicht gewichten Allen/Coggan die Intensität (IF = Intensitätsfaktor) trotz zweiter Potenz zu wenig. Aus meiner Sicht müsste diese zumindest in der dritten Potenz – besser sogar vierten – in die Formel mit einbezogen werden.

Ich finde diesen offensichtlichen Fehler umso erstaunlicher, als dass es sich bei dem Training Stress Score (TSS) um ein absolut zentrales und entscheidendes Element in dem Buch und der gesamten darauf basierenden Trainingsgestaltung handelt.

Ich will den Fehler an einem Beispiel erläutern. (Für diejenigen, welche mit dem Buch und den darin definierten Fachausdrücken nicht vertraut sind, entschuldige ich mich schon jetzt für die nachfolgend aus dem Buch übernommenen Fachausdrücke/Abkürzungen.)

Also: Nehmen wir den Amateurrennfahrer Müller mit 70 Kilogramm Körpergewicht und einer FTP (Leistung an der anaeroben Schwelle, beziehungsweise *Funktionsleistungsschwelle*, wie Allen/Coggan diesen Bereich nennen) von 300 Watt. Nehmen wir weiter an, die FTTH (Herzfrequenz an der anaeroben Schwelle) betrage bei Müller 175 Schläge pro Minute.

So, nun zum Training. Sagen wir, Müller absolviert am Montag ein einstündiges Training an der anaeroben Schwelle (100% FTP, 100% FTTH, $IF=1$) mit einer mehr oder weniger konstanten Leistung von 300 Watt (175 Schläge pro Minute Schnitt) über die gesamte Stunde. Das heisst: Müller fährt eine Stunde Vollgas, fährt so schnell er das über eine Stunde kann. Gemäss der obigen Formel von Allen/Coggan ergibt dies einen TSS (Training Stress Score) von 100 (das Einfahren und Ausfahren lasse ich jetzt mal weg).

So. Zwei Tage später absolviert Müller eine zweistündige Ausfahrt bei ebenfalls weitgehend konstanter Leistung und Herzfrequenz, und zwar mit IF 0,71 (entsprechend 71% FTP = 213 Watt). Gemäss Tabelle 3.1 (Wattgesteuerte Trainingsbereiche) im Buch von Allen/Coggan ist das eine Fahrt im Bereich Ausdauer (der zweitniedrigste Intensitätsbereich von insgesamt sieben Bereichen, die Allen/Coggan definieren). Ebenfalls entnehme ich der Tabelle 3.1 (Wattgesteuerte Trainingsbereiche), dass ein Fahrer bei 71% FTP ungefähr auf 80% FTTH kommt, also 80% der Herzfrequenz an der anaeroben Schwelle (welche bei Müller bei 175 Schlägen pro Minute liegt). Das heisst: Müller fährt die zwei Stunden mit einem Durchschnittspuls von zirka 140 Schlägen (80% von 175) pro Minute (entsprechend 213 Watt). Gemäss der Formel von Allen/Coggan ergibt das ebenfalls einen TSS (Trainingsbelastung) von 100. *Anmerkung: Die Pulsfrequenzen gebe ich hier nur deshalb an, damit diejenigen Leser, die sich besser mit Pulsfrequenzen als mit Wattzahlen auskennen, eine ungefähre Vorstellung bekommen, in welchem Intensitätsbereich gefahren wird.*

So, und nun die entscheidende Frage: Welche der beiden Belastungen (eine Stunde Vollgas, 100% FTP beziehungsweise IF 1,0, oder zwei Stunden bei moderater Geschwindigkeit, 71% FTP beziehungsweise IF 0,71) ist wohl anstrengender und eine grössere Belastung für den Körper, von welcher Belastung brauche ich länger um mich zu erholen?

Ich behaupte: Die eine Stunde Vollgas mit Puls 175 (100% Schwellenleistung, IF 1,0) ist bei WEITEM anstrengender und erholungsintensiver als die zwei Stunden mit Puls 140 (71% der Schwellenleistung, IF 0,71). Die beiden Belastungen sind nicht annähernd vergleichbar.

Mit der oben von mir korrigierten Formel mit $TSS = h \cdot IF^3 \cdot 100$ würden 2 Stunden 48 Minuten mit 71% FTP beziehungsweise

hungsweise IF 0,71 (80% Schwellenpuls) einen TSS von 100 ergeben, was in meinen Augen immer noch zu wenig ist.

Mit der oben von mir korrigierten Formel mit $TSS = h \cdot IF^4 \cdot 100$ würden 3 Stunden 56 Minuten mit konstant 71% FTP beziehungsweise IF 0,71 (also mehr oder weniger konstant 80% anaerobem Schwellenpuls) einen TSS von 100 ergeben, also dieselbe Trainingsbelastung bedeuten wie eine Stunde Vollgas.

Allerdings brauchen wir uns hier nicht darüber streiten, ob die Formel von Allen/Coggan $TSS = h \cdot IF^2 \cdot 100$ durch IF^3 , IF^4 oder gar IF^5 (dritte, vierte oder fünfte Potenz) oder irgendwas dazwischen ersetzt werden müsste, aber ich denke, es leuchtet jedem einigermaßen klar denkenden Sportler, der über eigene Erfahrungen mit Radsporttrainings und Wissen über Intensitätsbereiche verfügt, ein, dass bei einem trainierten Fahrer eine Stunde Vollgas (Schwellentraining) WEIT anstrengender, belastender und erholungsintensiver ist, als zwei Stunden mit 71% FTP (IF 0,71) beziehungsweise 80% Schwellenpuls.

Ich schätze, dass sich selbst gestandene Profis mit täglich einer Stunde Vollgas (100% FTP, IF 1,0, TSS = 100) innerhalb drei bis sechs Wochen in den Keller fahren würden. Gemäss Allen/Coggan ist ein TSS von 100, was dieser Belastung entspricht – beziehungsweise sogar ein TSS bis 150 –, nur eine geringe Belastung und Intensität (siehe Tabelle 7.3 *Auswirkung der Trainingsbelastung auf die Ermüdung*). Währenddessen könnten, so meine Einschätzung, die guten Rennfahrer bei täglich zwei Stunden mit 71% FTP beziehungsweise IF 0,71 (ebenfalls TSS 100), oder auch drei Stunden mit IF 0,71 entsprechend TSS = 150, locker ein ganzes Jahr fahren ohne davon müde zu werden (allerdings würden sie wohl vor Langeweile umkommen).

Übrigens: Der von mir gewählte Vergleich, eine Stunde IF 1,0 gegenüber zwei Stunden IF 0,71, ist kein Extrem- oder Sonderfall, sondern wird in dem Abschnitt „Training Stress Score“ von Allen/Coggan sogar ausdrücklich erwähnt und miteinander verglichen. Wortwörtlich steht geschrieben (auf Seite 151 der deutschen Ausgabe des Buches von 2012): „Ein Athlet, der eine Stunde an seiner FTP fährt, hat einen TSS von 100 Punkten. Der IF liegt in diesem Fall bei 1,0. Im Gegensatz dazu kann eine Fahrt mit einem TSS von 100 auch eine längere, 2-stündige Fahrt mit einem niedrigeren IF (0,71) sein, die zumindest theoretisch dieselbe körperliche Belastung mit sich bringt.....“

Um die fehlerhafte Formel von Allen/Coggan noch deutlicher zu machen, ein weiteres Beispiel: Vergleichen wir eine Stunde mit IF 1,0 (eine Stunde Vollgas) mit einer langsamen Fahrt im Bereich der aktiven Erholung mit einem IF von 0,54. Gemäss der Tabelle 3.1 (Wattgesteuerte Trainingsbereiche) entspricht ein IF von 0,54 etwa einer Herzfrequenz von 67 Prozent der anaeroben Schwelle. Nehmen wir wiederum unseren Amateurrennfahrer Müller von weiter oben, dessen Puls an der anaeroben Schwelle (FTHR) 175 Schläge pro Minute beträgt, so kommt man bei Müller bei einem IF von 0,54 auf einen Puls von 117 Schläge pro Minute (67% von 175).

Jeder Fahrer, der sich ein bisschen mit Pulsfrequenzen und Intensitätsbereichen auskennt weiss, dass ein Puls von 117 Schlägen pro Minute, bei einem Fahrer dessen anaerobe Schwelle bei 175 liegt, respektive ein IF von 0,54 ziemlich niedrig ist, und dass dabei ziemlich langsam gefahren wird (nicht viel schneller als Spazierenfahren). Gemäss der Formel von Allen/Coggan ergibt eine Stunde Fahrt in diesem Bereich einen TSS von 29,2. Das bedeutet, dass eine Fahrt von 3 Stunden und 25 Minuten mit IF 0,54 einen TSS von 100 ergibt und damit gleich erschöpfend und belastend sein soll wie eine Stunde Vollgas mit IF 1,0. Das ist schlicht unrealistisch und kann einfach nicht stimmen. Ein trainierter Radsportler würde nach 3,5 Stunden mit einem IF von 0,54, falls überhaupt, kaum Müdigkeit verspüren, geschweige denn erschöpft sein, jedenfalls in keiner Weise vergleichbar mit einer Stunde IF 1,0.

Fazit: Die Formel zur Quantifizierung der Trainingsbelastung „Training Stress Score“ $TSS = h \cdot IF^2 \cdot 100$ gehört definitiv überarbeitet beziehungsweise korrigiert. Mein Vorschlag: **$TSS = h \cdot IF^4 \cdot 100$** . Ebenfalls überarbeitet gehört die Tabelle 7.3 (Auswirkung der Trainingsbelastung auf die Ermüdung) und Tabelle 7.4 (Training Stress Score TSS und Intensitätsfaktor IF bei unterschiedlichen Ausfahrten).

Beispiele

Selbstverständlich ergibt auch bei der Formel $TSS = h \cdot IF^4 \cdot 100$ eine Stunde mit IF 1,0 einen TSS von 100 Punkten. Bei dem weiter oben erwähnten Beispielen mit IF 0,71 (eine Fahrt im Bereich Ausdauer) muss bei dieser Formel 3 Stunden und 56 Minuten lang gefahren werden um einen TSS von 100 zu erzielen. In der Originalformel von Allen/Coggan sind es 2 Stunden (respektive ganz genau 1 Stunde 59 Minuten).

Nehmen wir der Vollständigkeit halber noch zwei weitere Beispiele, und zwar IF 0,85 (gemäss Tabelle 3.1, Bereich Tempo) und IF 1,1 (VO₂max). Mit IF 0,85 muss mit der Formel $TSS = h \cdot IF^4 \cdot 100$ 1 Stunde und 55 Minuten lang gefahren werden um auf einen TSS von 100 zu kommen, bei der Originalformel von Allen/Coggan sind es 1 Stunde 23 Minuten. Mit IF 1,1 muss mit der neuen Formel insgesamt 41 Minuten lang gefahren werden um auf TSS 100 zu kommen, bei der Originalformel 50 Minuten. (Aber natürlich kann niemand am Stück 41 Minuten oder gar 50 Minuten

lang mit IF 1,1 fahren. Das Training müsste also in mehrere Abschnitte aufgeteilt werden.)

Normalisierte Leistung und TSS stimmen bei Allen/Coggan nicht überein

Die Normalisierte Leistung (Normalized Power NP), der Intensitätsfaktor IF und der Training Stress Score TSS stehen zueinander in Wechselbeziehung. Das bedeutet: Wenn sich die Formel für den TSS ändert muss sich auch die Formel respektive der Algorithmus für die Normalisierte Leistung ändern, und umgekehrt.

Im Kapitel 7 des Buches (in der deutschen Ausgabe von 2012, Seite 146) im Abschnitt „Normalisierte Leistung“ beschreiben Allen/Coggan wie die Normalisierte Leistung errechnet wird. Und zwar: Potenzieren der 30-Sekunden-Durchschnitte der Leistung mit dem Faktor 4, dann den Durchschnittswert daraus errechnen und daraus die vierte Wurzel ziehen.

Macht man verschiedene Beispiele und vergleicht die Formel des TSS mit dem Algorithmus für die Normalisierte Leistung, so erkennt man, dass diese beiden Formeln nicht übereinstimmen und einen Fehler enthalten.

Beispiel: Nehmen wir an, ein Fahrer absolviere eine Trainingseinheit von einer Stunde. Die ersten 40 Minuten fahre er mit IF 0,5, die restlichen 20 Minuten mit IF 1,0. Die FTP (Leistung an der anaeroben Schwelle) betrage 300 Watt. Das heisst, der Fahrer fährt die ersten 40 Minuten mit 150 Watt, die restlichen 20 Minuten mit 300 Watt. Rechne ich die Abschnitte einzeln, so ergibt das nach der Formel von Allen/Coggan $TSS = h \cdot IF^2 \cdot 100$ einen TSS von 50. Die ersten 40 Minuten mit IF 0,5 (150 Watt) ergeben einen TSS von 16,66 ($0,666 \cdot 0,5^2 \cdot 100$), die restlichen 20 Minuten mit IF 1,0 (300 Watt) einen TSS von 33,33 ($0,333 \cdot 1,0^2 \cdot 100$). Total also **TSS = 50** (16,66 + 33,33). Rechne ich nun die Normalisierte Leistung nach dem Algorithmus von Allen/Coggan aus (ich nehme hier der Einfachheit halber Minutenabschnitte anstatt 30-Sekundenabschnitte, das ändert in diesem Beispiel nichts am Ergebnis), so erhalte ich $(40 \cdot 150^4) + (20 \cdot 300^4) = 182'250'000'000$. Diese Zahl wird nun durch 60 geteilt (Ermittlung des Durchschnittswertes), das gibt 3'037'500'000, und daraus wird die vierte Wurzel gezogen, das ergibt 234,8. Das sind 234,8 Watt Durchschnittsleistung (Normalisierte Leistung) und der Intensitätsfaktor IF über die gesamte Stunde ist somit $IF = 234,8 : 300 = 0,783$. Gemäss der Formel von Allen/Coggan für den TSS ergibt das **TSS = 61,3** ($1,0 \cdot 0,783^2 \cdot 100$). Diese 61,3 stimmen aber nicht mit dem oben errechneten TSS = 50 überein, was sie aber müssten. Das bedeutet, dass an den Algorithmen/Formeln für die Normalisierte Leistung und dem TSS bei Allen/Coggan etwas falsch sein muss respektive, dass diese nicht übereinstimmen. *Anmerkung: Mache ich die Rechnung für die Normalisierte Leistung wie im Buch angegeben mit 30-Sekundenabschnitten anstatt Minutenabschnitten, sieht diese so aus: $(80 \cdot 150^4) + (40 \cdot 300^4) = 364'500'000'000$. Diese Zahl wird durch 120 geteilt = 3'037'500'000, und daraus die vierte Wurzel gezogen, ergibt 234,8 (also dasselbe Ergebnis wie oben bei den Minutenabschnitten).*

Man kann beliebige andere Beispiele machen (auch kompliziertere), das Ergebnis und die Schlussfolgerung sind stets dieselben, nämlich: **Mindestens eine der beiden Formeln von Allen/Coggan MUSS falsch sein. Entweder ist es die Formel für den TSS oder der Algorithmus für die Normalisierte Leistung, oder beide.** Für mich ist klar, dass der Fehler bei der Formel für den TSS liegt und nicht bei der Normalisierten Leistung.

Untersucht man den Algorithmus für die Normalisierte Leistung und die Formel für den TSS etwas genauer, stellt man letztlich fest, dass diese nur dann übereinstimmen (und dieselben Ergebnisse liefern), wenn die **Zahlen für die Exponenten (Hochzahl) und Wurzeln dieselben sind**. Das heisst: Die Formel für den TSS und der Algorithmus für die Normalisierte Leistung stimmen nur dann überein, wenn entweder

A) ausgehend vom $TSS = h \cdot IF^2 \cdot 100$ der Algorithmus für die Normalisierte Leistung so abgeändert wird, dass die 30 Sekundenabschnitte nicht mit dem Faktor 4 potenziert werden, sondern mit dem Faktor **2**, und ebenso nach Ermittlung des Durchschnittswertes nur die **2**. Wurzel gezogen wird (anstatt die 4.), oder

B) ausgehend vom Algorithmus der Normalisierten Leistung (mit **4**. Potenz und **4**. Wurzel) die Formel für den TSS wie folgt abgeändert wird: $TSS = h \cdot IF^4 \cdot 100$.

Beispiel für B): Ändern wir die Formel für den TSS ab zu $TSS = h \cdot IF^4 \cdot 100$, dann sieht das Ergebnis für unsere einstündige Fahrt von weiter oben, 40 Minuten mit IF = 0,5 und 20 Minuten mit IF = 1,0, wie folgt aus: Die ersten 40 Minuten mit IF 0,5 (150 Watt) ergeben einen TSS von 4,17 ($0,666 \cdot 0,5^4 \cdot 100$), die restlichen 20 Minuten mit IF 1,0 (300 Watt) einen TSS von 33,33 ($0,333 \cdot 1,0^4 \cdot 100$). Total also **TSS = 37,5** (4,17 + 33,33). Rechne ich nun die Normalisierte Leistung nach dem Algorithmus von Allen/Coggan aus, wie ich das bereits weiter oben getan habe (ich nehme hier der Übersichtlichkeit halber wieder Minutenabschnitte anstatt 30-Sekundenabschnitte, das ändert am Ergebnis nichts), so erhalte ich $(40 \cdot 150^4) + (20 \cdot 300^4) = 182'250'000'000$. Diese Zahl wird durch 60 geteilt und dann die vierte Wurzel daraus gezogen, das ergibt 234,8. Das sind 234,8 Watt Durchschnittsleistung (Normalisierte Leistung) und der Intensitätsfaktor IF über die gesamte Stunde ist somit $IF = 234,8 : 300 = 0,783$. Gemäss der neuen/abgeänderten Formel von Allen/Coggan $TSS = h \cdot IF^4 \cdot 100$ ergibt das **TSS = 37,6** ($1,0 \cdot 0,783^4 \cdot 100$). Das heisst: Die beiden Werte stimmen nun überein.

ein (die Differenz von 0,1 ist ein Rundungsfehler, weil ich nicht genug Stellen nach dem Komma in die Rechnung mit-einbezogen habe).

Das heisst: Ausgehend von Allen/Coggans Algorithmus für die Normalisierte Leistung **muss** die Formel für den TSS wie folgt aussehen: **$TSS = h \cdot IF^4 \cdot 100$** . Nur in diesem Falle stimmen der Algorithmus für die Normalisierte Leistung und die Formel für den TSS überein.

Offensichtlich ist Allen/Coggan hier also ein Fehler passiert. Und wie bereits weiter oben erwähnt ist für mich klar, dass nicht der Algorithmus für die Normalisierte Leistung falsch ist, sondern der $TSS = h \cdot IF^2 \cdot 100$.

Schlussanmerkung

Abschliessend möchte ich festhalten, dass mir das Buch von Allen/Coggan sehr gut gefällt und ich ihre Arbeit als innovativ und zukunftsweisend einschätze!

Peter Trinkler, August 2013 (neu überarbeitet April/Mai 2014 und September 2016)

Copyright www.peter-trinkler.ch

[Mehr Radsport](#)