

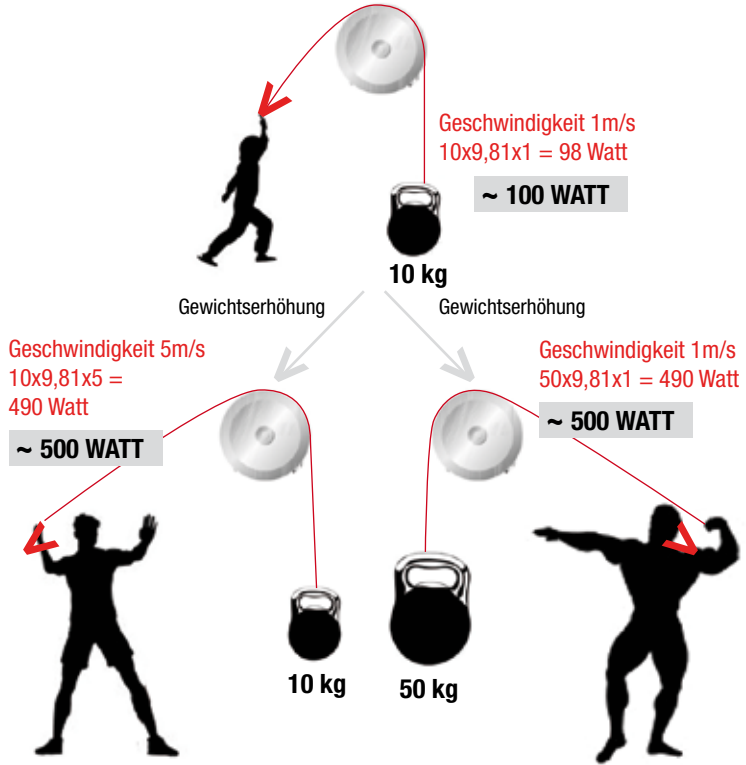
Watt, was ist das?

Nehmen wir das Beispiel eines Menschen, der wie hier unten in der Zeichnung eine Last mit einem Strick und einer Rolle hochhebt.

Die Leistung ist das Produkt von Kraft (Gewichtskraft= mg, mit einer Masse m und g = 9,81 m/s²) und Geschwindigkeit. Um also 100 Watt zu erzeugen, muss man eine ca. 10 kg schwere Last mit der Geschwindigkeit von 1 m/s anheben. Dazu sind auch Kinder und alte Menschen in der Lage.

Will man die Leistung steigern, muss man entweder die Geschwindigkeit oder das Gewicht erhöhen (folglich die Zugkraft des Stricks); ggf. auch beide. Man erzeugt demnach 500 Watt, wenn man 50 kg bei einer Geschwindigkeit von 1 m/s oder 10 kg bei einer Geschwindigkeit von 5 m/s hebt. Ein sehr starker oder schneller Mensch kann diese Aufgabe ausführen.

Die Leistung steht für die Leistungsfähigkeit des Lastenhebers. Für die Erzeugung von 100 Watt, braucht man 10 Sekunden um ein 10 kg schweres Gewicht auf eine Höhe von 10m zu heben. Für die Erzeugung von 500 Watt, muss man jedoch fünfmal schneller dieselbe Aufgabe ausführen. Die Dauer der Leistung muss also angeglichen werden. Die Energie des menschlichen Körpers ist jedoch nicht unerschöpflich, er ermüdet. Viele Menschen sind imstande über 30 Minuten 100 Watt zu erzeugen, doch nur einige Hochleistungssportler können während des gleichen Zeitraums 500 Watt erzeugen.



Der Radsportler an der Steigung

Kommen wir nun zu den Radsportlern, deren Kraftanstrengung in einem komplexeren Modell dargestellt werden muss. Der Radsportler muss eine Antriebskraft auf dem Hinterrad aufbauen, um gegen die Kräfte anzukämpfen, die seinem Fortkommen entgegenwirken.



Der Luftwiderstand hängt hauptsächlich von der Position des Rennfahrers und seiner relativen Geschwindigkeit zum Quadrat im Verhältnis zum Wind ab.

- Bei windstillen Aufstiegen bei 20 km/h ist er schwach, aber sehr stark

auf flacher Ebene bei 50 km/h. Die Schwerkraft zieht den Rennfahrer nach unten. Auf flacher Ebene ist sie nichtig, aber je höher der Prozentsatz des Anstiegs, je höher die Auswirkung auf den Rennfahrer. Der Rollwiderstand hängt vom Gewicht des Rennfahrers ab, seiner Geschwindigkeit, seiner Fahrradqualität, seinen Reifen und dem Straßenbelag. Vertikale Bewegungen können vernachlässigt werden, da es keine Überbrückungshürden gibt wie beim Mountainbike.

- Der Rennfahrer muss beim Beschleunigen außerdem die Trägheitskraft überwinden. Bei konstanter Geschwindigkeit ist diese Null. Zu beachten gilt, dass bei konstanter Geschwindigkeit, die vom Rennfahrer erforderliche Kraft auf die Pedale gleich der Summe des Luftwiderstands, der Schwerkraft (Komponente in der Fortbewegungsrichtung) und des Rollwiderstands ist.
- Eine weitere Kraft kann den Rennfahrer bei der Platzierung unterstützen. Das sogenannte Sogphänomen („Drafting“) entsteht wenn sich der Rennfahrer im Windschatten des Vordermanns oder im Peloton befindet. In einem sehr dichten Peloton bei über 40 km/h, kann die Energieeinsparung mehr als 30% betragen (Ref. 5, Bicycling Science).
- Die Leistung eines Translationssystems ist das Produkt von Kraft und Geschwindigkeit wenn sich die Antriebskraft in Richtung der Geschwindigkeit bewegt. Sind alle Kräfte determiniert worden, reicht die Multiplikation mit der Geschwindigkeit um die Leistung zu errechnen. Der Referenzleistungsmesser (SRM) misst die Tretlagerleistung. Der Wirkungsgrad des Fahrrads beträgt ca. 97,5% (Leistungs-Wirkungsgrad der Kraftübertragung, Ref. 1). Demnach müssen im Modell 2,5% der veranschlagten Leistung des Hinterrads zum Vergleich mit den Leistungsmessern im Tretlager hinzugerechnet werden. Laut der Ergebnisse der Website www.friction-facts.com, können Qualität und Sauberkeit der Kette den Übertragungswirkungsgrad minimal beeinträchtigen. Zum Thema Leistungsmessungen mit einem Sensor beim Training, siehe das Werk von Fred Grappe (Ref. 7)

Windeinfluss

Der Windgradient errechnet sich aus Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Höhe der Messung, der Luftstromstabilität und der Umgebungsqualität (freie Fläche ohne Vegetation, Dorf oder Wald). Die Wettervorhersagen unterrichten uns über mittlere Windverhältnisse

auf 10m Höhe. Im Rahmen der Leistungskalkulationen begrenzen wir uns auf die Erdleistungsmessungen der Beaufort-Skala: Niedriger oder gleich 2 bei einer Geschwindigkeit von 10 km/h. Bei stabilen Luftverhältnissen, überschreitet die Windgeschwindigkeit der Radprofis folglich nicht die mittlere Leistung von 7km/h auf offener Fläche, 6km/h in Wohngebieten und 5 km/h im Wald (Ref. 4, Norm AFNOR und we bmet.com).

Wissenschaftlicher Teil (Synthese)

Die Sogwirkung

Der Aspekt „Drafting“ hat in den letzten Jahren beim Bergpassanstieg an Bedeutung zugenommen. Heute sind die Potenzunterschiede zwischen den Radprofis nicht mehr so hoch wie früher. Das Peloton der Favoriten besteht immer häufiger aus Einheiten des letzten Aufstiegs. Die Zahl der Radprofis, die mit Leistungsmessern fahren ist ebenfalls gestiegen. So können sie direkt beobachten, dass eine Warteinsparung der Räder sogar beim Anstieg möglich ist. Laut einer diesjährigen Studie (Ref. 3, „CFD simulations of the aerodynamic drag of two drafting cyclists“), sinkt der Luftwiderstand auf 25% bei 54 km/h, wenn sich der Rennfahrer in einem Windschatten von 10 cm befindet.

Wir haben 30% der Leistung abgezogen um den Luftwiderstand in einem dichten Peloton von 25 km/h zu überwinden, d.h. ca. zehn Watt. Diese Korrektur in der Größenordnung von 2% als Relativwert wurde z.B. für die Leistungskalkulation beim Anstieg von La Toussuire der Tour 2012 angewendet.



Etalon 78 kg oder 80 kg inklusiv Fahrrad

Die Etalon-Leistung „78 kg inkl. Fahrrad“ entspricht der eines fiktiven Rennfahrers in der Mitte des Rennens. Er wiegt 78 kg (inklusive Fahrrad und Bekleidung). Dies ist die Vergleichsgröße bei den Passanstiegen und der Leistungssteigerung im Laufe der Jahre. Verglichen werden nur die Pässe der Endetappe (das Gewicht eines Radprofis kann nach mehreren Stunden auf dem Rad leicht sinken). Für die drei Sieger der 80er Jahre, Bernard Hinault, Greg Lemond und Laurent Fignon, wird ein genormter Rennfahrer von 80 kg (inkl. Fahrrad) veranschlagt. Zusätzlich sinkt der Wirkungsgrad ihrer Räder um 5%.

Ein Berechnungsbeispiel

Chris Horners Aufstieg in Richtung Mende bei der Tour de France 2010			
		Berechnungseinheiten	Gesamtwert
Körpergewicht	63.5 kg		
Fahrradgewicht plus Bekleidung	71.5 kg		
Ac _w	0,35	P-Luft	1.06/2 x 0.35 x (18.42/3.6)x3
Radlagerkoeffizient	0,004	P-Radlager	0.004 x 9.81 x 71.5 x (18.42/3.6) (18.42/3.6)
Durchschnittsgeschwindigkeit	18,42 km/h	P-Schwerkraft	71.5 x 9.81 x (18.42/3.6) x 10.26/100
Durchschnittsprozentsatz	10,26	P-Gesamt	(P-Luft + P-Radlager + P-Schwerkraft) x 100/97.5
Luftdichte auf 850m	1,06		
Fahrradwirkungsgrad	97.5 %		
			6,00%
			3.4 %
			88,00%
			418 WATT



Fahrräder der 80er Jahre: + 2kg und – 5%



Fahrräder der Jahre 2000: Etalon-Norm 78 kg

Das Verhältnis Leistung pro Masse (Watt/kg)

Das Verhältnis Watt/kg wird im Radsport von den Trainern und Sportlern häufig zur Errechnung des benötigten Potentials für den Passanstieg angewendet. Würde man nur einen einzigen Rennfahrer bewerten, stünde sein erhöhtes Watt/kg-Verhältnis in Relation mit einer Geschwindigkeitserhöhung beim Passanstieg, dies ist ganz besonders bei hohen Prozentsätzen der Fall, wo es vorwiegend um die Überwindung der Schwerkraft geht. Außerdem ist der Wert direkt an den spezifischen Maximalsauerstoffverbrauch (ml/min/kg) durch die Energieleistung gebunden. Von nun an ist es möglich einen Vergleich mit physiologischen Grenzen zu ziehen. Schwierig wird es erst dann, wenn man mehrere Rennfahrer und ihre auf dem Terrain erbrachten Leistungen zu vergleichen

sucht. Zwei verschiedene Rennfahrer werden bei gleichem Watt/kg-Verhältnis, aber unterschiedlichem Körpergewicht den Pass nicht mit der gleichen Geschwindigkeit befahren. Schauen wir uns beispielsweise Pantani (56 kg) und Indurain (80 kg) an. Beim Erklimmen des Alpe d'Huez innerhalb von 40 Minuten, muss Pantani 6,3 Watt/kg erzeugen, Indurain hingegen begnügt sich mit 5,9 Watt/kg. Das ergibt also eine Differenz von 9%. Das Watt/kg-Verhältnis hinge also direkt von der auf dem Terrain erbrachten Leistung ab, wären da nicht das Fahrradgewicht, der Roll- und der Luftwiderstand. Das „Leistung-Gewicht-Verhältnis“ bleibt jedoch gültig, wenn man Radprofis mit einer ähnlichen Körpermasse vergleicht.

Der Zusammenhang zwischen Etalon-Leistung und Watt/kg

Ein angenommener Rennfahrer von 78 kg (inkl. Fahrrad) hat ein Watt/kg-Verhältnis in Abhängigkeit des Gewichts zum Gefälle.

Die folgende Darstellung rechnet die Etalon-Leistung von 410 Watt bei 78 kg (inkl. Fahrrad) in die Leistung Watt/kg um, in Abhängigkeit des Verhältnisses von Gefälle zum Gewicht des Fahrers.

Gewicht (kg) / Gefälle	6 %	7 %	8 %	9 %	10 %
55	6,22 W/kg	6,17 W/kg	6,14 W/kg	6,1 W/kg	6,09 W/kg
60	6,13 W/kg	6,09 W/kg	6,06 W/kg	6,03 W/kg	6,01 W/kg
65	5,91 W/kg	5,91 W/kg	5,91 W/kg	5,9 W/kg	5,9 W/kg
70	5,81 W/kg	5,82 W/kg	5,83 W/kg	5,83 W/kg	5,84 W/kg
75	5,79 W/kg	5,8 W/kg	5,8 W/kg	5,8 W/kg	5,8 W/kg

Erreicht der angenommene Fahrer 410 Watt, bezieht man das errechnete Verhältnis von 5,8 W/kg bis 6,2 W/kg (Gefälle zur Statur des Rennfahrers) in das gesamte Watt/kg-Verhältnis mit ein (siehe Darstellung unten). Je größer der Anstieg, desto einfacher ist es für

ETALON 410 WATT



leichtgewichtige Fahrer den Norm-Wert von 410 Watt aufrechtzuhalten. Allerdings gilt das eher für die mittleren Prozentsätze der Italien-oder Spanienrundfahrten als für die Tour de France, und dann auch nur für einige wenige Aufstiege.

Das Limit von 6,8 kg Fahrradgewicht ist ein Vorteil für schwere Rennfahrer

Heutzutage beträgt das Fahrradgewicht der meisten Radprofis 6,8 kg. Dieses Mindestgewicht ist ein Vorteil für schwere Rennfahrer, weil die Masse des Fahrrads im Verhältnis zur Gesamtmasse bei einem Rennfahrer von 80 kg geringer ist als bei einem leichteren Fahrer. Vor 20 Jahren verfügten Schwergewichtler über größere Fahrradrahmen und fuhren auf Rädern, die geringfügig schwerer waren, als die der „Fliegengewichte“.

Genauigkeit der Leistungsrechnung

1998 hat Martin (Ref. 1) bewiesen, dass sich die Leistung eines Radsportlers ziemlich exakt errechnen lässt. Im Vergleich zur Etalon-Leistungsmessung liegt die Fehlerquote bei 2%. Die Windgeschwindigkeit wurde mit einem Windmesser gemessen. Bei Ausführung der Studie, wurden die Merkmale der Radprofis (Aerodynamik, Gewicht, Fahrrad etc.) mit einbezogen. Im Jahre 2004 haben wir auf einem Feld mit 20 Radsportler, die mit SRM-Sensoren ausgerüstet waren, eine maximale Fehlerquote von 5% erreicht. Deswegen hatten wir die Idee

die Messfehler in der indirekten Methode zu reduzieren, damit die Werte für die Leistungsanalysen verwendet werden können. Im Mittelpunkt stand die Beobachtung der Wetterverhältnisse im Messbereich. Seit einigen Jahren stellen die Radprofis ihre per Leistungssensor gemessenen Daten ins Netz, auf die wir unsere ergänzenden Validierungen gestützt haben. Die Kalkulation der Leistungsnorm bei 78 kg inkl. Fahrrad (oder 80 kg) wird auf einen Richtwert abgestimmt.

Wenn man eine Genauigkeit von 2% bei der Bewertung einer realen Leistung wie im Fall von Chris Horner erreicht, wäre diese auch für den Etalon-Wert bei 78 kg inkl. Fahrrad gültig.

Tour 2010: Chris Horner

Der Elitefahrer Chris Horner aus dem Team Radio Shack, erreichte den 10. Platz der Gesamtklassifikation im Finale 2010. Da er oft an der Spitze des Rennens lag, galten für ihn die gleichen Bedingungen wie für die führenden Fahrer. Um zu hohe Massenvariationen zu vermeiden, wurden nur die letzten Passetappen ausgewertet, und zwar jene, die nach fünfstündiger Fahrt bestiegen wurden.

Das Sogphänomen „Drafting“ erklärt das Zustandekommen der Ergebnisse auf dem Port de Balès (8 km auf falscher Ebene am Anfang des Passes), auf der unteren Strecke des Tourmalet entsteht eine kombinierte Wirkung aus „Drafting“ und günstigem Wind. Mit Ausnahme von zwei Fällen, liegt die Differenz bei weniger als 2%. Die Fehlerspanne dieses Bewertungsmodells im Vergleich zu SRM-Sensoren ist für die letzten Bergpassetappen der Tour de France folglich durchaus geeignet.

VERGLEICH SRM-MODELL CHRIS HORNER, 63,5 kg, $Ac_w = 0.35$, Fahrrad 8kg

Pässe	Distanz und Gefälle	Zeit	SRM	Modell	Differenz
AVORIAZ	13.7 km bei 6,06 %	35'36"	351 w	347 w	1,00%
MADELEINE	25.5 km bei 6 %	1h09'36"	320 w	323 w	<1%
MENDE	3.1 km bei 10.26 %	10'06"	422 w	418 w	<1%
AX LES THERMES	7.8 km bei 8.33 %	23'43"	370 w	375 w	+1.4 %
BALES	19.3 km bei 6.1 %	49'30"	342 w	358w	+ 4.6 %
TOURMALET OUEST-BAS	9.35 km bei 7,16%	23'54"	372 w	409 w	9,00%
TOURMALET OUEST-HAUT	9.3 km bei 7.9 %	28'36"	348 w	354 w	+1.8%

Auf Grund unserer bisherigen Erfahrung wissen wir, dass wir von einer Fehlerquote von 2% ausgehen müssen, wenn folgende Bedingungen vorliegen:

- Geschwindigkeit unterhalb von 25 km/h
- Windstärke von maximal 2 der Beaufort-Skala
- Prozentsatz von mehr als 6%
- Waldstrecke

Quellenangabe:

Fachbezogene Artikel
James C.Martin, Douglas L. Milliken, John E. Cobb, Kevin L. McFadden, and Andrew R. Coggan
1-Validation of a Mathematical Model for Road Cycling Power
Journal of applied biomechanics, 1998, 14, 276-291

Tim Olds

2-The mathematics of breaking away and chasing in cycling

(http://danpat.net/docs/breakaway.pdf)
Eur J Appl Physiol (1998) 77: 492±497
Bert Blocken, Thijs Defraeye, Erwin Koninckx, Jan Carmeliet, Peter Hespel

3-CFD simulations of the aerodynamic drag of two drafting cyclists

Computers & Fluids, Volume 71, 30 January 2013, Pages 435–445

4-Norme AFNOR

NF EN 1991-1-4 Novembre 2005, p17-18
vitesse de vent et pression dynamique

Livres

5-Bicycling Science. Wilson, David G. and Jim Papadopoulos. 3rd ed. MIT P, 2004.

6-High-Tech cycling, Edmund Burke, Human Kinetics, 2003

7-Puissance et performance en cyclisme, Fred Grappe, De Boeck, 2012

• Websites:

www.analyticcycling.com
home.trainingpeaks.com
www.bikemap.net

www.friction-facts.com
www.cyclingpowerlab.com/Introduction.aspx

• Videos über ergänzende Messungen:

www.youtube.com/user/Pixuns1
www.youtube.com/user/worldcyclingarchives
www.youtube.com/user/PaquirrinTopModel
www.youtube.com/user/wenck

Die Einflussfaktoren der Etalon-Leistung bei Passbefahrungen

> Bergkapazität:

Der Toursieger ist nicht immer auch der Beste in den Bergen. Beispiele: Wiggins 2012, Indurain 1994, Lemond 1989, Roche 1987 oder Hinault 1982.

>Energieverbrauch und - taktik

bei Etappenstart:

Bei einigen wenigen Tour de France, beginnt der Kampf bereits vor dem letzten Pass (1986, 2011). Bei anderen begnügte sich der Träger des Gelben Trikots damit (im Zeitrennen ist er stark und bei der Gesamtklassifikation liegt er in Führung), seinen Gegnern einfach nur hinterherzufahren (Hinault 1982, Wiggins 2012).

> Level der Leistungsdichte:

Tour 1989 mit Fignon, LeMond und Delgado und Vuelta (Spanien-Rundfahrt) 2012 mit Contador. Valverde und Rodriguez. Das Leistungsniveau der Anwärter auf den Sieg ist quasi immer identisch und die Positionen in der Gesamtwertung sind sehr eng. Doch mitunter, so wie 1999 im Fall von Armstrong, fehlen die Konkurrenten. Dann reicht es gut „hauszuhalten“ und die „Wattwerte nicht

hochzutreiben“. Zu Beginn der Operación Puerto im Jahre 2006 wurden viele Elitefahrer gesperrt.

> Durchschnittslänge der einzelnen Tour-Pässe:

Je kürzer die Pässe sind, desto höher ist die Möglichkeit hohe Durchschnittsleistungen auf den letzten Pässen zu erzeugen. Das Leistungsniveau ist besonders dann hoch, wenn der Rennfahrer bereits zu Beginn des Anstiegs oder während der Zeitrennen auf dem Hang hochpowert (siehe S. 13). Die Durchschnittsdauer der letzten Pässe einer Tour de France liegt bei ca. 35 Minuten.

> Allgemeinniveau des Spitzenreiter-Teams:

Wird ein Spitzenreiter so gedeckt wie Wiggins 2012, dessen Team sich vollständig seinem Dienst verschrieben hatte, und dies obwohl einige seiner Teamkameraden in den Bergen sogar manchmal stärker waren als er, kann er bei Etappenende mehr Watt erzeugen.

> Wetterverhältnisse:

Extreme Wetterverhältnisse (Hitze, Regen oder

Kälte) beeinträchtigen die Radrenner, wenngleich das Pantani bei einigen seiner Höchstleistungen nicht daran gehindert hatte, sich wie ein „Mutant“ zu verhalten.

> Parcours:

Die Rennfahrer kalkulieren ihre Anstrengung im Verhältnis zur Zahl der Bergetappen. Bei Touren im Gebirge ist es normalerweise nicht möglich eine maximale Anstrengung bei jeder Etappe zu erbringen.

> Beginn oder Ende des Wettkampfs:

Am Ende einer Bergetappe über zwei Pässe in der dritten Woche einer großen Tour „müssten“ sich eigentlich Ermüdungserscheinungen einstellen. Das ist jedoch scheinbar nicht der Fall für jene, die mit jedem Tag besser werden und für die eine fünfstündige fünfstündige Fahrt, einschliesslich zwei Pässen, lediglich ein „Aufwärmen“ für das Finale bedeutet.

Diese gesammelten Faktoren müssen bei der Auswertung der Etalon-Leistung (in Watt) der Rennfahrer auf den Pässen berücksichtigt werden.

Validierung einer indirekten Methode zur Bewertung der mechanischen Leistung im Radsport

Die externe mechanische Leistung (P_{mech}, in W) ist einer der Hauptparameter der Leistung im Radsport. Zu seiner Messung stehen verschiedene Geräte zur Verfügung (SRM, Polar S710, Power-Tab), deren Kosten für Hobbysportler jedoch sehr hoch sind. Die Gültigkeit des SRM (Fuchsend, Deutschland) wurde durch den Vergleich mit einem Monark von Martin et al. 1998 validiert. In der folgenden Studie geht es nun um den Gültigkeitstest einer indirekten Bewertungsmethode der P_{mech}.

> METHODE – 16 männliche Rennfahrer (21,0 Jahre ± 4,0; 67,8 kg ± 5,8; 177,8 cm ± 5,8; VO2max = 373 W ± 43; 12 687 km/Jahr ± 5 313) vom Mittelfeld bis zur Elite haben in beliebiger Reihenfolge 15 Hänge von 1,3 bis 6,3 km (Durchschnittsanstieg von 4,4 % bis 10,7%) passiert. Jedes Rad wurde mit einem SRM-Tretlager ausgestattet um die P_{mech} unter verschiedenen Bedingungen (Einzelfahrt, Gruppenfahrt. . .) zu bewerten. Die zu analysierenden Abschnitte wurden anhand von Merkpunkten (mit Hilfe einer IGN-Karte) bestimmt, welche ebenfalls die Geschwindigkeitskalkulation einer durchschnittlichen Steigung ermöglichten.

> Kalkulation der indirekten P_{mech}: (Di Prampero 1979)

$P_{mech} = 0,5Ac_w v^3 + mgcRv + mgsin(\alpha) \cdot V$ bei der Luftdichte ρ von kg/m³.

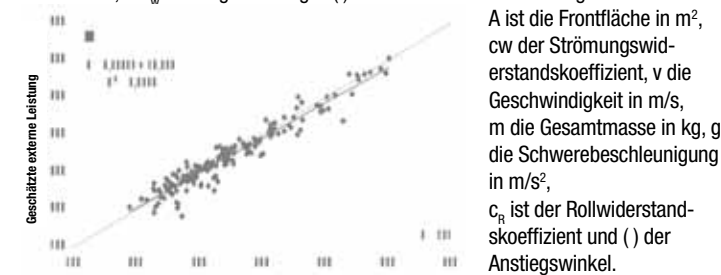


Abb. 1 – Korrelation zwischen P von SRM und P geschätzt für alle Versuchspersonen und Bedingungen.

p<0,001) zwischen P (von SRM bei allen Bedingungen gemessen) und P geschätzt. Bei den 15 Bedingungen, haben nur drei eine signifikante Differenz aufgezeigt

> RESULTATE –

Abbildung 1 zeigt die sehr gute Korrelation (r = 0,96;

(starker Wind). Der mittlere Fehler zwischen den beiden Methoden (Abb. 2) liegt bei -0,95% (KI 95% = -10,4%; 8,5%) und bei 0,24% (KI = -6,1%; 6,6%) unter windstillen Bedingungen. Die Steigung spielt keine Rolle bei der mittleren Fehlerquote.

> DISKUSSION – in der vorliegenden Studie wurde der Windeinfluss hervorgehoben. Bei ungünstigen Windverhältnissen ist das gemessene P von SRM höher als P geschätzt, was den Daten von Olds et al. 1993 entspricht. Keine Genauigkeitsverbesserung in Bezug auf das Gefälle, was dadurch erklärt werden mag, dass alle Anstiege über 4,4% waren. In den Messungen in der „Gruppe“, war das Konfidenzintervall (KI) kleiner, weil der Windeffekt durch den Schutz innerhalb der Gruppe abnimmt.

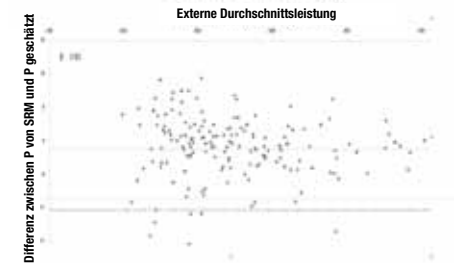


Abb.2 – Differenzdurchschnitt zwischen P von SRM und P geschätzt bei allen Bedingungen (Wert > 0. P geschätzt > P von SRM). (Bland und Altman)

> ZUSAMMENFASSUNG – Es stellte sich heraus, dass diese Methode zufriedenstellend ist um Genauigkeit und Gültigkeit der externen P_{mech} im Radsport zu bewerten, vorausgesetzt zwei Bedingungen werden erfüllt: Starkes Gefälle (>4%) und schwacher Wind. Sie kann folglich von allen Trainern mit geringem Budget für Feldtests angewendet werden. Außerdem könnte sie eine genaue Analyse der Leistungsentwicklung von Radprofis ermöglichen.

> QUELLENANGABEN – Di Prampero, P.E., Cortili, G., Mognoni, P. and Saibene, F. (1979). J Appl Physiol 47: 201-206. Martin, J., Milliken, D., Cobb, J., McFadden, K. and Coggan, A. (1998). J Appl Biomech 14:276-291. Olds T.S., Norton K.I., Craig N.P. (1993). J Appl Physiol 75(2): 730-737. Vayer A. et Portoleau F. Pouvez-vous gagner le Tour ? Polar, 2002 .