



Cycling Power Catalyst

liefert MS Excel

basierte Analysetools

- Power to Speed
- Course to Speed
- CdA Messung

www.cycling-power-catalyst.ch

FALLSTUDIE

BESTIMMUNG DES LUFTWIDERSTANDS FÜR JEDERMANN

WAS BRINGT DIE MESSUNG DES LUFTWIDERSTANDS?

Der Fahrer macht rund 70 bis 80% des Luftwiderstandes aus. Mit einer optimierten Sitzposition lässt sich also einiges an Widerstand einsparen, was unmittelbar schneller macht. Wie gross ist aber der Luftwiderstand auf einer Zeitfahrmaschine gegenüber einem Strassenrad? Was bringt ein Aeroaufsatz auf einem normalen Strassenrad? Soll man die Sitzposition auf einer Zeitfahrmaschine optimieren und damit gleichzeitig in Kauf nehmen, nicht unbedingt die gleiche Leistung treten zu können? Ist ein Scheibenrad besser als eine Felge mit Hochprofil? Was bringt eine optimierte Sitzposition, wenn man sie nicht über die gesamte Distanz eines Ironmans halten kann? Ist dann eine weniger aggressive Position sinnvoller?

Um diese Fragen zu beantworten, ist der Luftwiderstand zu messen. Und wir bieten eine Applikation an, die es jedem Radfahrer und Triathleten erlaubt, genau dies zu tun.

Kennt man den Luftwiderstand, lässt sich auch ein bevorstehendes Zeitfahren oder ein Triathlon exakt planen. Mit den Streckendaten und den Wetterverhältnissen lässt sich vorausberechnen, welche Wahl am besten ist. So kann es bei einer schwierigen Triathlonstrecke von Vorteil sein, auf das Triathlonrad zu verzichten und stattdessen einen Aeroaufsatz zu verwenden. Bei entsprechenden Windverhältnissen macht eine Hochprofilfelge mehr Sinn als ein Scheibenrad, zum Beispiel wenn der Wind hauptsächlich von der Seite kommt.

Und auch für diese Analysen haben wir die entsprechenden Werkzeuge entwickelt.

Damit stehen jedem Radsportler und Triathleten Werkzeuge zur Verfügung, wie sie von den Spitzenteams der World Tour oder Spitzentriathleten verwendet werden.



Cycling Power Catalyst

liefert MS Excel

basierte Analysetools

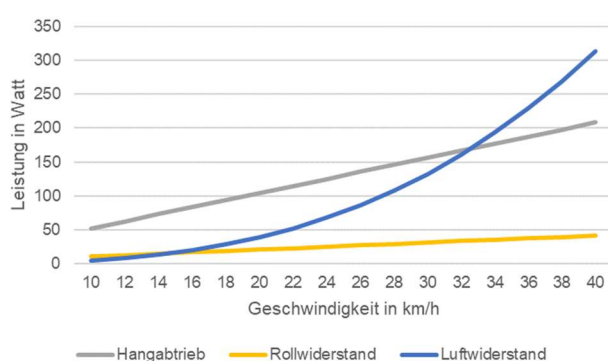
- Power to Speed
- Course to Speed
- CdA Messung

www.cycling-power-catalyst.ch

HINTERGRUND

Ein Radfahrer hat verschiedene Kräfte zu überwinden. Im Wesentlichen sind dies die Rollwiderstandskraft (aus Reibung zwischen Reifen und Untergrund), die Hangabtriebskraft (bei Bergauffahrten) und die Luftwiderstandskraft. Während die Hangabtriebskraft vor allem vom Gewicht abhängt, ist dies bei der Luftwiderstandskraft die Geschwindigkeit zum Quadrat. Bei doppelter Geschwindigkeit bedeutet dies, dass die Luftwiderstandskraft um den Faktor 4 zunimmt. Damit ist bei höheren Geschwindigkeiten der Luftwiderstand die dominierende Kraft, die es zu überwinden gilt.

Die folgende Grafik zeigt dies am Beispiel einer Steigung von 2.5% und einem Gewicht von Fahrer und Fahrrad von 76.5kg:



Steigung 2.5%, Gewicht Rad und Fahrer von 76.5kg

Die Leistung, die zur Überwindung der einzelnen Kräfte aufzubringen ist, nimmt mit wachsender Geschwindigkeit zu. Ab einer Geschwindigkeit von 33 km/h wird der Luftwiderstand zur dominierenden Kraft und wächst mit zunehmender Geschwindigkeit stark an.

MESSUNG DES LUFTWIDERSTANDES

Wenn also der Luftwiderstand bei höheren Geschwindigkeiten immer wichtiger wird, wie kann dieser gemessen werden?

Zunächst ist der Luftwiderstand neben der Geschwindigkeit zum Quadrat vom sogenannten CdA-Wert oder Widerstandsfläche abhängig. Diese Widerstandsfläche ist das Produkt aus dem sogenannten Cw-Wert oder Luftwiderstandsbeiwert und der Referenzfläche (oder Stirnfläche, die der vorbeiströmenden Luft «im Weg» steht). Zur Messung des Luftwiderstandes gibt es nun verschiedene Verfahren.

Windkanalmessungen

Messungen in einem Windkanal ergeben die genauesten Werte. Allerdings sind die Kosten auch sehr hoch. Für Privatkunden sind diese Messungen nur im Ausnahmefall möglich und starten bei rund



Cycling Power Catalyst

liefert Java basierte

Analysertools

- Power to Speed
- Course to Speed
- CdA Messung

www.cycling-power-catalyst.ch

EUR 500 für 90 Minuten. Zudem gibt es nur sehr wenige solcher Windkanäle, die für solche Messungen ausgerüstet sind.

Schätzung aufgrund von Körpergrösse und -gewicht

Es existieren einige wissenschaftliche Arbeiten, die einen Zusammenhang zwischen der Widerstandsfläche und der Körpergrösse und -gewicht herstellen. Die dabei resultierenden Werte können aber nur als erste Näherung betrachtet werden. Unsere Applikation unterstützt diese Methode.

Messung der Referenzfläche

Ein weiterer Ansatz besteht in der Messung der Referenzfläche. Dies lässt sich durch eine Frontalansicht und anschliessender Messung der vom Radfahrer bedeckten Fläche bestimmen. Apps wie «Bike Fast Fit» unterstützen solch eine Messung. Durch Multiplikation mit einem angenommenen C_w -Wert (der für verschiedene Positionen unterschiedlich ist) gelangt man wieder zum Luftwiderstandsbeiwert. Aber auch dies ist nur eine grobe Näherung, da insbesondere der C_w -Wert nur näherungsmässig bekannt ist. Unsere Applikation unterstützt auch diese Methode.

Verwendung eines Leistungsmessers / direkte Methode

Mit der Verwendung eines Leistungsmessers lässt sich aus den aufgezeichneten Daten von Leistung, Geschwindigkeit und GPS Koordinaten auf die Widerstandsfläche zurückrechnen. Dafür sollte eine möglichst flache Strecke bei wenig Wind gewählt werden und die Leistung und/oder Geschwindigkeit möglichst konstant gehalten werden. Zwei Testverfahren haben sich bewährt, um den Einfluss von Wind und nicht ganz ebener Strecke zu kompensieren:

- Eine Strecke von 1km Länge, die in jeder Richtung einmal zu durchfahren ist, und die Daten getrennt aufzuzeichnen sind.
- Ein Rundkurs (ohne enge Kurven, damit die Geschwindigkeit konstant gehalten werden kann), der mehrmals zu durchfahren ist.

Unsere Applikation ist genau für diese Anwendung entwickelt worden.

Chung-Methode

Bei der Chung-Methode wird ebenfalls ein Rundkurs gewählt, allerdings muss dieser nicht flach sein und auch die Geschwindigkeit und / oder Leistung muss nicht konstant gehalten werden. Auch leichter Wind spielt keine Rolle (allerdings verbessern ein flacher Kurs und die Abwesenheit von Wind die Ergebnisse). Vom Leistungsmessgerät werden einzig Daten zur Leistung und Geschwindigkeit benötigt. Die Runde ist mehrmals zu durchfahren.

Von der Idee her werden störende Einflüsse wie Wind und Steigungen in eine sogenannte virtuelle Steigung hineingerechnet. Diese virtuelle



Cycling Power Catalyst

liefert Java basierte

Analysertools

- Power to Speed
- Course to Speed
- CdA Messung

www.cycling-power-catalyst.ch

Steigung wird dann über die Strecke kumuliert und der kumulierte Wert muss am Ende einer Runde – wenn Widerstandsfläche und Rollwiderstandskoeffizient richtig gewählt sind – wieder bei Null sein. Man hat im Laufe einer Runde genau so viele Höhenmeter gewonnen wie verloren, und auch den Wind hat man von allen Seiten gespürt.

Die Widerstandsfläche kann mittels einer graphischen Analyse oder durch eine analytische Methode bestimmt werden.

Unsere Applikation ist genau für diese Anwendung entwickelt worden.

TEST AUF EINER TARTANBAHN

Die folgenden Tests haben auf einer Tartanbahn stattgefunden. Dies hat den Vorteil, dass solch eine Bahn absolut eben ist. Es ist eher schwierig eine gerade Strecke von 1km zu finden, die möglichst flach und frei von Verkehr ist. Das gleiche gilt für einen Strassenrundkurs. Nachteil der Tartanbahn ist der erhöhte Rollwiderstand. Mit dem richtigen Rollwiderstandskoeffizienten lassen sich aber sehr genaue Werte für die Widerstandsfläche errechnen.

Die Parameter

Rollwiderstandskoeffizient Tartanbahn	0.0160
Antriebs- / Schlupfverlust	3%
Gewicht Rad	6.5kg
Gewicht Fahrer (inkl. Kleidung, Schuhe,...)	70.0kg
Körpergrösse	1.78m
Höhe über Meer	624m
Temperatur	15°

Es werden mehrere Runden jeweils in Bremsgriff- und in Unterlenkerpositionen durchfahren.

Schätzung aufgrund von Körpergrösse und -gewicht

Aufgrund der Körpergrösse und dem Gewicht werden für beide Positionen CdA-Werte geschätzt.

Direkte Messung

Aus den aufgezeichneten Daten wird für beide Positionen direkt die Widerstandsfläche berechnet.

Direkte Methode	
GPS Daten	ok
Max. Höhenunterschied	ok
Leistungsschwankung	not ok
Distanz in m	1'295.73
Zeit	0:02:40
CdA	0.34936
<input type="button" value="Nehme Lauf 1"/> <input type="button" value="Nehme Lauf 2"/>	
CdA Direkt	

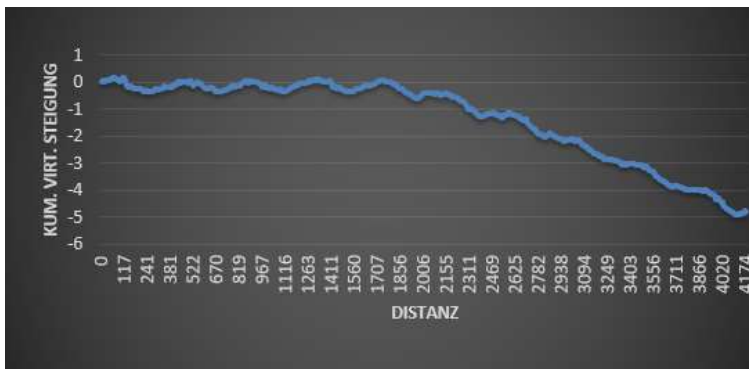
Direkte Methode: Bremsgriff

Direkte Methode	
GPS Daten	ok
Max. Höhenunterschied	ok
Leistungsschwankung	not ok
Distanz in m	873.77
Zeit	0:01:42
CdA	0.30910
<input type="button" value="Nehme Lauf 1"/> <input type="button" value="Nehme Lauf 2"/>	
CdA Direkt	

Direkte Methode: Unterlenker

Chung-Methode

Die Chung-Methode arbeitet mit sogenannten virtuellen Steigungen, die helfen, Windeffekte und tatsächliche Steigungen herauszurechnen. Die folgende Grafik zeigt die kumulierten virtuellen Steigungen über die gesamte gefahrene Strecke, zunächst in Bremsgriffposition und gerade anschliessend in Unterlenkerposition.



Chung-Methode: gesamte Strecke

Die einzelnen Runden lassen sich sehr gut erkennen, ebenso der Übergang von der Bremsgriff- in die Unterlenkerposition nach circa 2 Kilometern. Während für die Bremsgriffposition die kumulierten virtuellen Steigungen nach jeder Runde wieder durch Null gehen, ist dies für die Unterlenkerposition nicht der Fall. Dies bedeutet, dass der CdA-Wert für die Bremsgriffposition gut gewählt ist, während er für die Unterlenkerposition zu gross ist. Die nächste Grafik zeigt gerade ein umgekehrtes Bild.



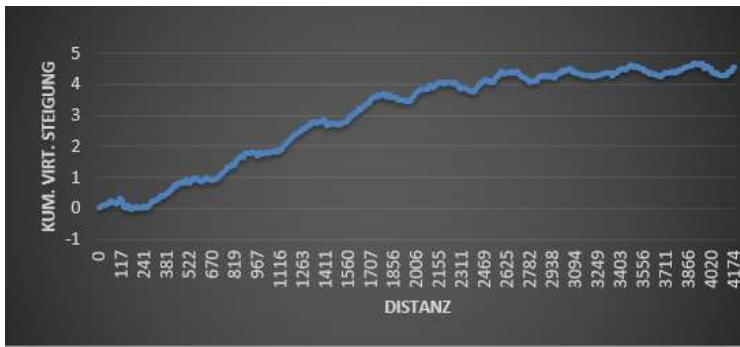
Cycling Power Catalyst

liefert Java basierte

Analysertools

- Power to Speed
- Course to Speed
- CdA Messung

www.cycling-power-catalyst.ch



Chung-Methode: gesamte Strecke

Der CdA-Wert ist für die Unterlenkerposition gut gewählt, während er für die Bremsgriffposition zu klein ist. Um für beide Positionen einen guten CdA-Wert zu berechnen, sind die Daten zu trennen.



Chung-Methode: Bremsgriff



Chung-Methode: Unterlenker

Der Rechner optimiert den CdA-Wert so, dass die kumulierten virtuellen Steigungen bei gegebenem Rollwiderstandskoeffizienten nach jeder Runde durch Null gehen und bestimmt so den CdA-Wert.

Resultate

Folgende Tabelle fasst die Ergebnisse zusammen:

Methode	CdA	CdA
	Bremsgriff	Unterlenker
Körpergröße /-gewicht	-	0.3666
Direkte Methode	0.3494	0.3091
Chung-Methode	0.3421	0.3029

Einzig ein Leistungsmesser, eine flache Strecke und unsere Applikationen werden benötigt, um Luftwiderstandsmessungen auf exakte Weise selber durchführen zu können. Optimierungen von Position und Material sind somit keine Grenzen gesetzt.



Kontakt

Dr. F. Weber

info@cycling-power-catalyst.ch