

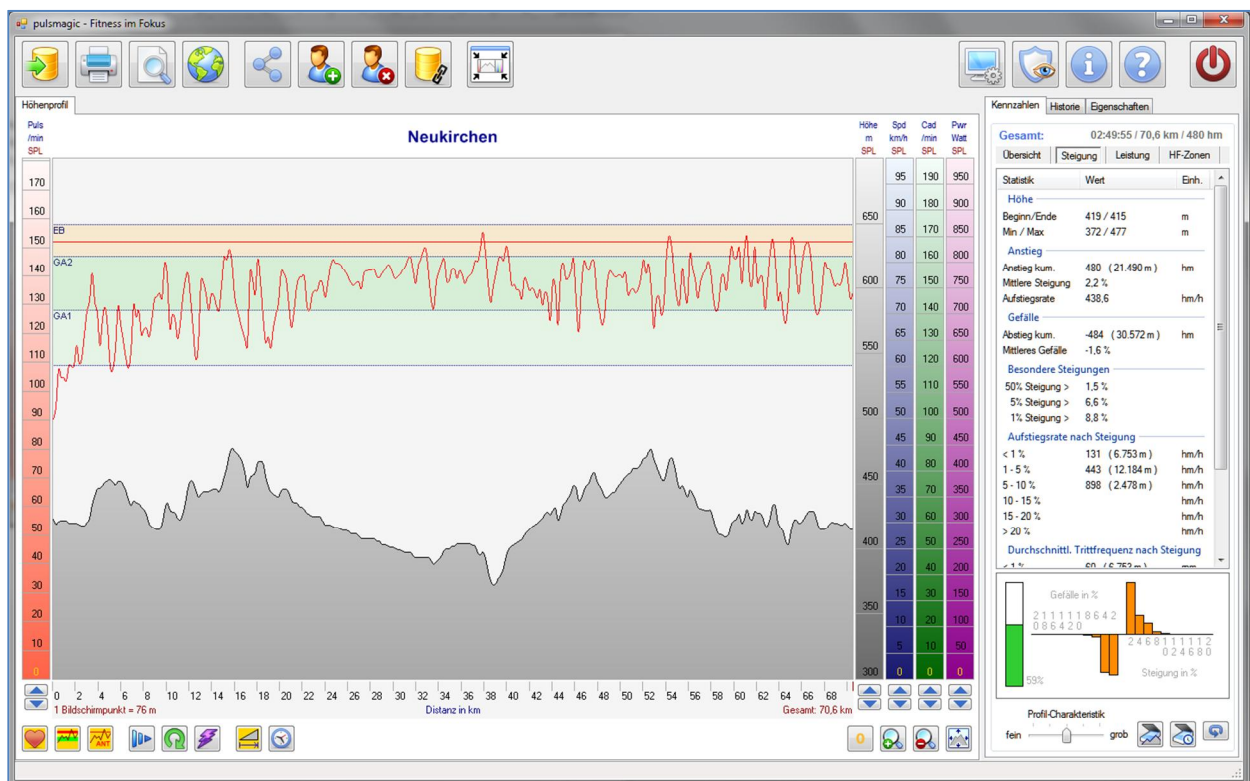
Dieser Kommentar behandelt die Abweichungen, welche bei der Bestimmung der Anstiegsleistung durch Radcomputer auftreten.

Folgende Messmethoden stehen zur Verfügung:

- barometrische Höhenmessung
- GPS-Höhenmessung (direkt über Satellit)
- GPS-Höhenmessung (über GPS-Koordinaten)

Ein Beispiel:

Der Ausgangspunkt für die Analyse des Höhenprofils ist eine Tour mit dem Rennrad über 70 km im leicht hügeligen Gelände. Die Tour wurde mit einem Garmin Edge 800 aufgezeichnet und lieferte folgende Ergebnisse:



Die Darstellung zeigt das Höhenprofil in pulsmagic inkl. Trainingsbereiche und anaerober Schwelle. Die Kurven für Geschwindigkeit, Trittfrequenz und Leistung wurden ausgeblendet. Im rechten Teil der Abbildung werden unterschiedliche Kategorien von Kennzahlen gezeigt. Im konkreten Beispiel interessiert man sich für die Kennzahlen der Kategorie ‚Steigung‘. Außerdem ist das Piktogramm zur Darstellung der Charakteristik des Höhenprofils hier ersichtlich.

Mit Hilfe des Piktogramms erkennt man unmittelbar, dass es sich um eine Ausfahrt in einem leicht hügeligen Gelände handelt. 59 % der Strecke sind als flach zu bewerten (Steigung unter einem Prozent). Der größte Anteil an Steigungen liegt im Bereich von 2 %. Die Tour hat einige kurze Anstiege im Bereich von 4 bis 6 %.

Die gemessenen Daten zur Tour:

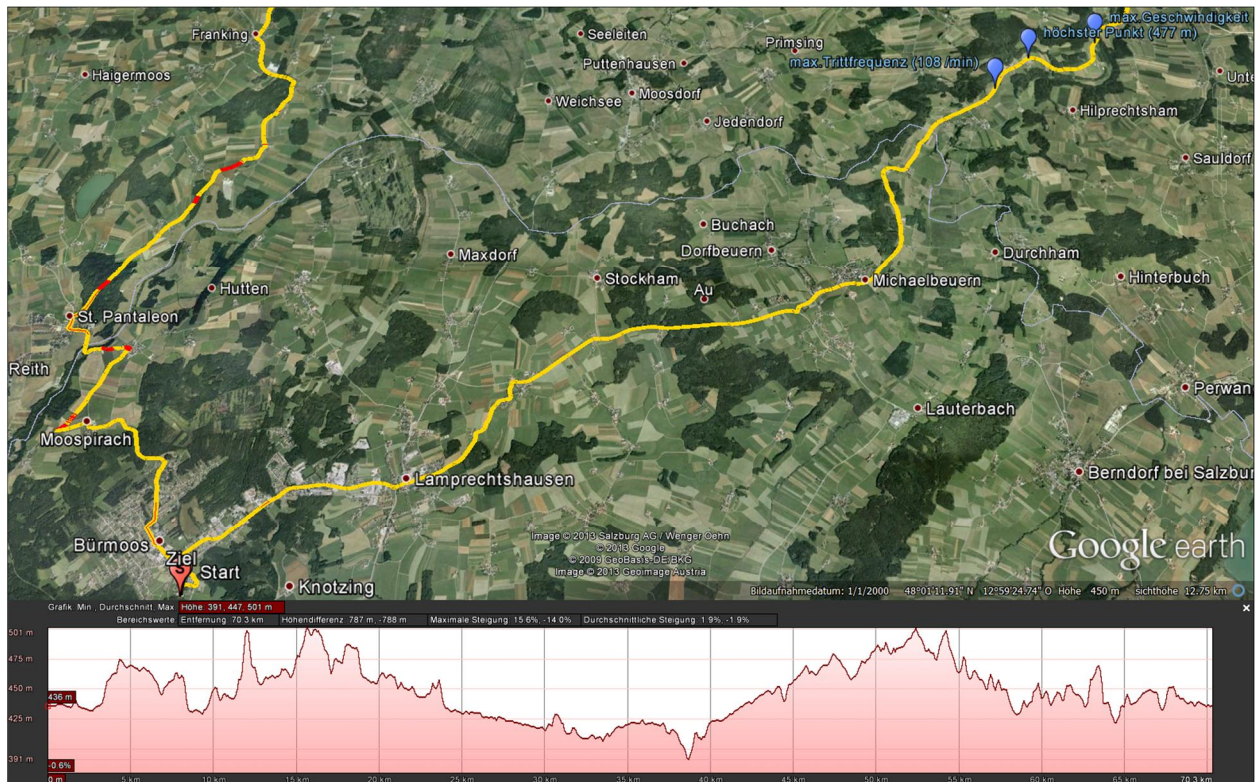
Höhe		
Beginn/Ende	419 / 415	m
Min / Max	372 / 477	m
Anstieg		
Anstieg kum.	480 (21.490 m)	hm
Mittlere Steigung	2,2 %	
Aufstiegsrate	438,6	hm/h

Höhe am Beginn der Tour: 419 m
 Höhe am Ende der Tour: 415 m
 minimale Höhe der Tour: 372 m
 maximale Höhe der Tour: 477 m
 Anstiegsleistung über die gesamte Tour: 480 hm

Die tatsächliche Ausgangshöhe der Tour liegt bei 436 m. Da es hier in erster Linie um die Beurteilung der Anstiegsleistung geht, ist die Abweichung unkritisch. Wer jedoch Wert auf eine exakte Ausgangshöhe legt, sollte dem Radcomputer ein wenig Zeit geben und die Starttaste erst dann drücken, wenn sich die Anzeige der aktuellen Höhe stabilisiert hat (das dauert 1 bis 3 Minuten). Bei manchen Radcomputern kann die Ausgangshöhe auch manuell voreingestellt werden.

Die barometrische Höhenmessung wird mit Fortdauer der Aktivität von Luftdruckschwankungen beeinflusst. Dies erkennt man z. B., wenn bei einer Rundtour die Höhe zu Beginn und Ende der Tour voneinander abweichen. Als weitere Kontrollpunkte dienen die maximale und minimale Höhe der Tour.

Betrachtet man das von pulsmagic bereitgestellte Höhenprofil in Google Earth, können ebenfalls Informationen zum Höhenprofil abgelesen werden:

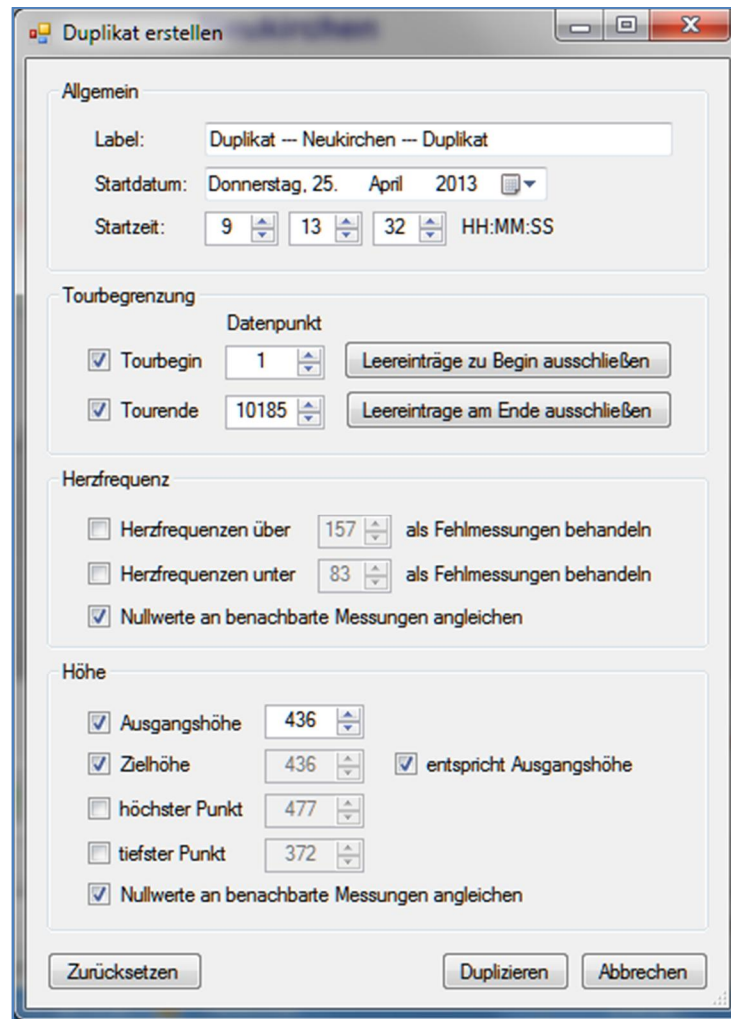


Im konkreten Beispiel beträgt die Ausgangshöhe 436 m und entspricht auch der Endhöhe (Rundkurs). Die minimale Höhe wird in Google Earth mit 391 m und die maximale Höhe mit 501 m angegeben. Die Anstiegsleistung (Höhendifferenz) beträgt 787 hm.



Da jedoch die Höhenangaben in Google Earth und auch in anderen Earth Browsern kritisch zu betrachten sind (dazu später,) korrigiere ich die maximale und minimale Höhe nur dann, wenn mir die Werte tatsächlich aus topografischen Karten bekannt sind.

Durch Duplizieren der Tour kann man in pulsmagic die Anpassungen auch rückwirkend vornehmen:



In diesem Fall wurde nur die Ausgangshöhe angepasst und die Zielhöhe der Ausgangshöhe angeglichen, da es sich um einen Rundkurs handelte. Die maximale und minimale Höhe wurden nicht angepasst, da die Luftdruckschwankungen minimal waren und ich selbst der barometrischen Höhenmessung immer den Vorzug gebe.

Das Ergebnis kann man unmittelbar in pulsmagic in der Gruppe der Steigungskennzahlen ablesen:

Höhe		
Beginn/Ende	436 / 436	m
Min / Max	391 / 497	m
Anstieg		
Anstieg kum.	481 (21.947 m)	hm
Mittlere Steigung	2,2 %	
Aufstiegsrate	433,4	hm/h

Man erkennt deutlich, dass die neuen Angaben für die minimale und maximale Höhe nur geringfügig von den Vorgaben in Google Earth abweichen (dies muss aber nicht zwingend der Fall sein).

Mit Hilfe des Duplikators kann man alle Höhenwerte bei Bedarf angleichen ...

Höhe

Ausgangshöhe

Zielhöhe entspricht Ausgangshöhe

höchster Punkt

tiefster Punkt

Nullwerte an benachbarte Messungen angleichen

... und kommt dann zu folgendem Ergebnis:

Höhe		
Beginn/Ende	436 / 436	m
Min / Max	391 / 501	m
Anstieg		
Anstieg kum.	509 (21.339 m)	hm
Mittlere Steigung	2,4 %	
Aufstiegsrate	472,1	hm/h

Damit erhalten wir nun vier Ergebnisse für die Anstiegsleistung:

- 480 hm bei der barometrischen Höhenmessung
- 481 hm bei der Korrektur der Ausgangs- und Endhöhe
- 509 hm bei zusätzlicher Anpassung der maximalen/minimalen Höhe
- 787 hm bei der Auswertung in Google Earth (GPS-Höhe auf Basis der GPS-Koordinaten)

Während die ersten drei Messmethoden zu ähnlichen Ergebnissen führen (die Abweichung liegt zwischen 0,2 und 6 %), weicht das Ergebnis auf Basis der GPS-Koordinaten mit rund 64 % Abweichung recht deutlich von der ursprünglichen Messung ab.

Fazit: Meistens kann man die ursprüngliche Messung als Basis verwenden; nur wenn der höchste und tiefste Punkt der Tour tatsächlich bekannt sind, ist eine Anpassung sinnvoll.

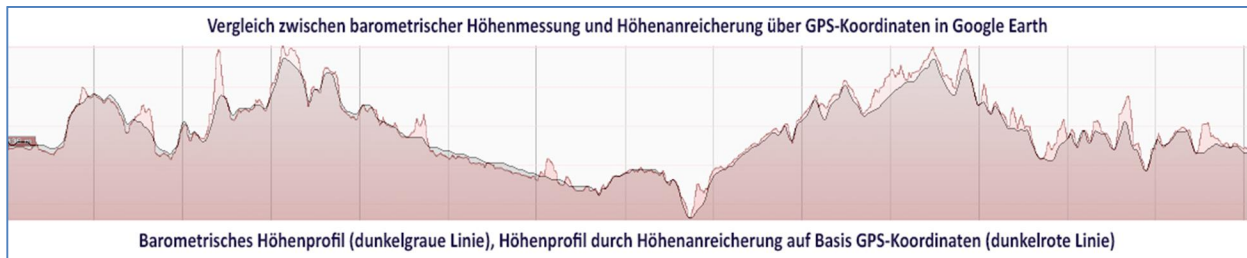
Warum kommt es bei einer Höhenanreicherung über GPS-Koordinaten zu diesen extremen Abweichungen? Dazu muss man wissen, wie diese Berechnung letztendlich erfolgt.

Im Februar 2000 wurde im Rahmen der Space Shuttle Mission Endeavour das Höhenprofil der Erde mittels Radar vermessen. Das Ergebnis der Messungen ist der SRTM Datenbestand. Die Abkürzung SRTM steht für den englische Namen der *Mission: Shuttle Radar Topography Mission*.

In diesem SRTM Datenbestand wird über ganz Europa ein Raster in Form von 90 m x 90 m-Kacheln gelegt. Für jede dieser Kacheln ist damit die durchschnittliche Höhe bekannt. Nun kann jeder GPS-Koordinate genau einer Kachel und somit eine Höhe zugeordnet werden.

Man erkennt sofort, dass diese Höhenzuordnung relativ grob ist und einiger Korrekturen bedarf. In diesen 90 x 90 m-Kacheln können kleine Erhebungen oder Gebäude zu Fehlmessungen führen; so werden vollkommen ebene Wegstrecken der realen Welt in Google Earth (genauer gesagt im Raster der SRTM-Daten) als Hügel oder Spitzen dargestellt.

Die folgende Abbildung verdeutlicht den Unterschied zwischen den Höhenprofilen auf Basis von GPS-Koordinaten und auf Basis einer barometrischen Höhenmessung:



Im Höhenprofil auf Basis der GPS-Koordinaten findet man immer wieder Spitzen, für die es kein Gegenstück im barometrisch erstellten Höhenprofil gibt. Ebenso verfügt das barometrische Höhenprofil über eine bessere Glättung. Beide Merkmale sind mit ein Grund, warum das Höhenprofil in Google Earth in der Regel eine zu große Anstiegsleistung anzeigt.

pulsmagic verfügt über ein Werkzeug zur Anreicherung der Höhendaten auf Basis von GPS-Koordinaten. Dabei wird gedanklich über die Kacheln ein Tuch gelegt, um so eine ‚natürliche‘ Glättung der Höhendaten zu erreichen. Letztendlich führt das in unserem Beispiel zu folgendem Ergebnis:



Rein optisch unterscheiden sich die beiden Höhenprofile (Google Earth und pulsmagic) nur geringfügig. Man findet jedoch in der Google Earth-Darstellung vereinzelt Spitzen. Die Ursache dürfte in unterschiedlichen SRTM-Datenbeständen liegen.

Für uns ist jedoch die Anstiegsleistung von Interesse:

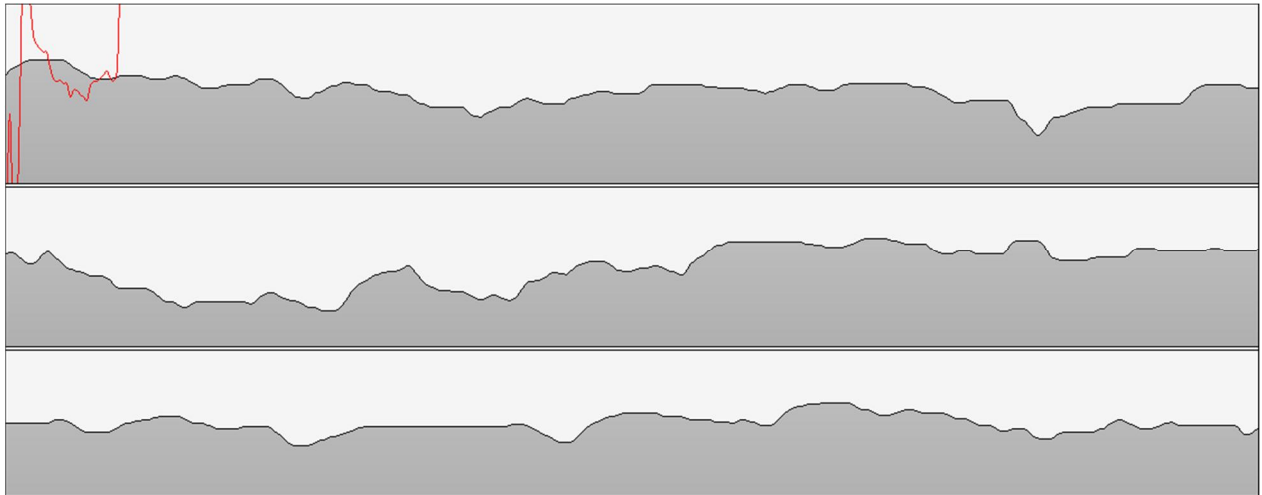
Höhe		
Beginn/Ende	436 / 436	m
Min / Max	397 / 502	m
Anstieg		
Anstieg kum.	480 (28.601 m)	hm
Mittlere Steigung	1,7 %	
Aufstiegsrate	356,6	hm/h

Der Glättungsalgorithmus führt zu einem guten Ergebnis (die Übereinstimmung mit den Originaldaten ist aber eher dem Zufall zuzuschreiben). Die durch den Algorithmus bedingte höhere Variabilität bei den Höhenmessungen führt zu einer Erhöhung bei der Anstiegs-Distanz und zu einer Senkung bei der Aufstiegsrate/Stunde. Mit neuen Ideen wird der Algorithmus aber kontinuierlich verbessert.

Fazit: Wenn die Anstiegsleistung und die damit verbundene Höhenmessung von untergeordnetem Interesse sind, erfüllt die neue Generation an Pulsuhren mit GPS-Sender und ohne barometrische Höhenmessung ihren Zweck. Sie sind in der Regel kompakt gebaut und einfach in der Handhabung. Falls jedoch für jemanden die Höhenmessung von Bedeutung ist, ist er mit einem barometrischen Höhenmesser besser bedient.

Abschließend möchte ich auf eine weitere Messmethode eingehen - in diesem Fall zeichnet der Radcomputer neben den GPS-Koordinaten auch die Höhe (abgeleitet aus dem Satelliten-Signal) auf. Voraussetzung dafür ist ein guter Empfang (mindestens vier Satelliten verfügbar).

Zu Testzwecken wurde eine beinahe ebene Strecke mehrfach mit einem Garmin Forerunner 110 vermessen. Die folgende Abbildung zeigt die dabei entstandenen Höhenprofile:



Alle drei Messungen führen zu sehr unterschiedlichen Höhenprofilen und Anstiegsleistungen

1. Messung ergab eine Anstiegsleistung von 102 hm
2. Messung ergab eine Anstiegsleistung von 132 hm
3. Messung ergab eine Anstiegsleistung von 90 hm

Zur Kontrolle wurde die gleiche Strecke mit einem Mountainbike - unter Verwendung eines Garmin Edge 800 – abgefahren:



Das Ergebnis war eine flache Runde (16 hm Anstiegsleistung) - diese Darstellung entspricht auch der realen Wahrnehmung.

Zusammenfassung:

Im Radsport sowie in allen anderen Sportarten, bei denen das Höhenprofil eine signifikante Rolle spielt, ist man sicher besser bedient, wenn man über eine Pulsuhr oder einen Radcomputer mit integriertem barometrischen Höhenmesser verfügt.

Im Laufsport spielt die Höhenmessung meist eine untergeordnete Rolle. Hier reicht es in der Regel aus, wenn man rückwirkend das Höhenprofil aus den gespeicherten GPS-Koordinaten ermittelt und sich der Problematik dieser Methode bewusst ist.

Letztendlich zählt aber die Freude am Sport - sie ist und bleibt das wichtigste Ziel. Auswertungen sind ein zusätzliches Mittel zur Trainingssteuerung und erlauben es dem Sportler, ein Ereignis immer wieder erneut in Gedanken und Träumen zu erleben.

Helmut Grillenberger
Entwickler von [pulsmagic](http://pulsmagic.com)

Bürmoos, im Mai 2013