

Garmins Daten:

Berechnung von Höhe und Strecke aus GPSMap

Volker Jentsch

<https://www.volkerjentsch.de>

Februar 2024

1 Zusammenfassung

In diesem Artikel befasse ich mich mit der Analyse von Satellitendaten, die ich mit Hilfe von Garmins GPSMap64s auffange und nach Beendigung einer Fahrrad-Tour analysiere. Mein Interesse gilt der Kumulation der gefahrenen Höhen und Strecken, die als Zeitreihe gespeichert werden. Da jeder Messwert aus Trend und Störung besteht, stellt sich die Aufgabe, diese zu trennen und so die wahren Höhen- und Streckensummen zu errechnen. Im Ergebnis differieren die „rohen“ und „glatten“ Daten von bis zu 10% für die Höhenmeter und weniger als 1% für die Streckenkilometer.

2 Garmins Daten

Wenn ich mit dem Fahrrad auf Tour gehe, kenne ich die Wege, die Abzweigungen, weiß meist im Voraus, wann es rauf und runter geht. Ich habe die Karte im Kopf. Folglich brauche ich kein Gerät, das mir den Pfad anzeigt. Wohl aber packt mich die Wissbegierde, wie weit, wie lange und wie hoch ich unterwegs bin oder war. Dafür gibt es die pfiffigen Dinger, die am Handgelenk oder Lenker montiert, GPS-Signale empfangen und speichern können. Sie errechnen die Laufzeit, die das Signal benötigt, um vom Satelliten zum Empfänger zu gelangen, und ermitteln daraus die Koordinaten und Höhe des aktuellen GPS-Standorts. So entsteht eine Zeitreihe von schrecklich langen Zahlen, die zum Beispiel *Garmin* nutzt, um die gefahrene Strecke und Höhe zu errechnen. Doch wie zuverlässig sind die Ergebnisse? Da die Hersteller der Geräte ihre Rechen-Verfahren im allgemeinen nicht veröffentlichen, im Gegenteil sie hüten wie ein kostbares Geheimnis, habe ich mich selbst daran gemacht, die Daten selbst auszuwerten. Ich nutze das *GPSMap64* von *Garmin*. Es speichert die digitalisierten „Roh“-Daten in lesbarem Format und ermöglicht deren Export. Das tun nach meiner Erfahrung nur wenige – weshalb ich Garmins Geräte aus eben diesem Grund schätze und nutze.

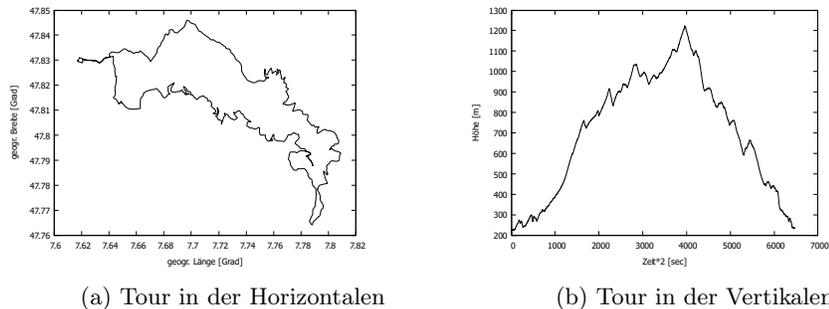


Figure 1: Tour 11.10.23

Von diesem Gerät (wie ähnlichen anderen) sollten keine Wunder erwartet werden. Schließlich sind Radfahrer und -Fahrerinnen wohl eher keine Landvermesser oder Leute vom Militär, die mit langen Antennen und teuren Instrumenten die Landschaft auskundschaften. Beim Radfahren kommt ein, wenn auch keineswegs billiges, „low-end“ oder „Konsumer“ Produkt zum Einsatz, das die horizontale Position mit einer Genauigkeit von ein paar Metern ermitteln kann. Bei der Höhe kann die Unsicherheit wohl noch einige Meter mehr betragen. Zu berücksichtigen ist, dass Garmins *Outdoor*-Geräte noch so manch andere Größe aufzeichnen, darunter Temperatur, Puls- und Trittfrequenz, die für viele vielleicht sogar wichtiger als die Positionsbestimmung sein mögen. Auf jeden Fall ist es eine Meisterleistung der Technik, die aus einem Signal eine veritable Information herauszulesen vermag, das nach zahllosen Wechselwirkungen mit der Materie zwischen Himmel und Erde nur mehr ein Wispern ist, wenn es den Empfänger erreicht. Gleichwohl ist das Hintergrund-Geräusch auch im aufbereiteten Signal noch immer beträchtlich. Und genau das ist des Pudels Kern; hier liegt die Schwierigkeit der Angelegenheit. Um das (weitestgehend) unverfälschte Signal herauszufinden, müssen die Fluktuationen eliminiert werden. Das wird nie ganz gelingen. Folglich sind meine Ergebnisse mit Fehlern behaftet. Nichtsdestoweniger behaupte ich, dass sie der Wirklichkeit recht nahe kommen, sogar näher als die von *Garmin* ermittelten Zahlen.

Ich beziehe mich in vorliegendem Artikel abwechselnd auf zwei meiner mehrstündigen Schwarzwald-Touren, die aus der Rheinebene des Markgräflerlands auf die Höhen des Süd-Schwarzwalds führen.¹ Die Tour vom 11.10.23 ist in Abb.1 dargestellt. Sie ist 62 km lang und 1700 m hoch. Die Tour vom 24.9.23 ist 37 km lang und 1000 m hoch.

¹Illustrationen dieser Touren gibt es auf meiner Webseite:
https://www.volkerjentsch.de/Fahrradtour_1.html

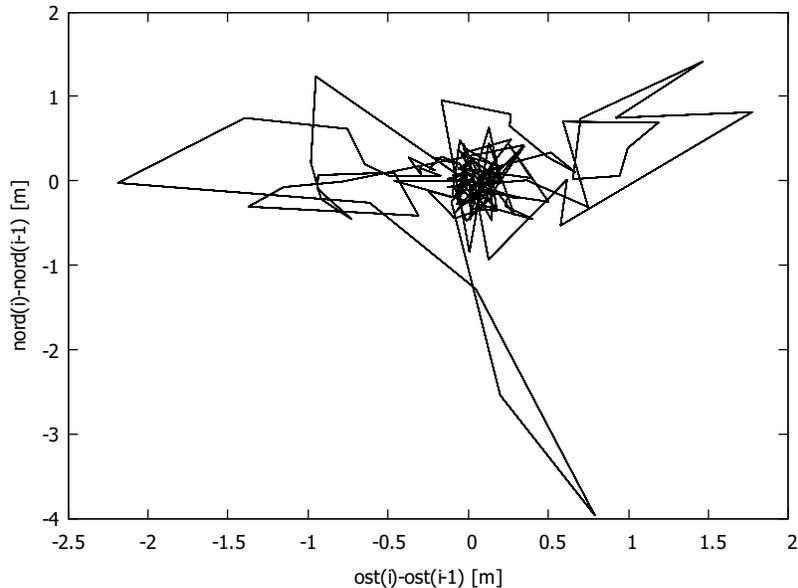


Figure 2: *Random walk* des aktuell unbewegten Fahrrads. Dargestellt über rund 200 Zeitintervalle ist der erratische Weg mit einigen Ausreißern als $\Delta Nord$ gegen ΔOst aus Tour 24.09.23. Siehe auch <https://www.volkerjentsch.de/randomwalk.html>

3 Zeitreihen und Ziele

Garmins Daten werden als Text-Datei heruntergeladen. Ich werte sie zunächst per Hand aus – das ist unerlässlich, um zu erkennen, wenn Daten bezüglich ihrer Nachbarschaft zu hoch oder zu niedrig ausfallen, somit eher systematische Fehler darstellen, die als Ausreißer klassifiziert und aussortiert werden müssen, damit sie die statistische Analyse nicht verderben. Insbesondere können per Hand auch Pausen identifiziert werden. So wird dem Computer eine Menge Arbeit erspart, die er aufgrund seiner systemischen Dummheit schlecht oder gar nicht bewältigen würde. Sodann müssen die Daten in Reih und Glied gebracht werden. Die Elemente der Zeitreihe P werden mit P bezeichnet und repräsentieren die geographischer Längen- und Breitengraden; $P = P(\lambda, \phi)$. Die Zeitreihe H enthält die vertikale Koordinate (Höhe) H in Metern. Die Elemente der beiden Zeitreihen sind Funktionen der Zeitpunkte $t_i, i = 1, \dots, N$, die sich um die feste Größe $\Delta t = 2 \text{ sec}$ unterscheiden.

Ziel ist (1) die Summe der Höhenunterschiede aus Auf- und Abfahrten sowie (2) die Summe der Streckenzuwächse als Funktion der Zeit zu berechnen. In (1) werden die positiven und negativen vertikalen Höhen-Differenzen errechnet, jeweils addiert („kumuliert“) und mit $H\uparrow$ und $H\downarrow$ bezeichnet. In (2) werden aus dem Abstand der Koordinaten die horizontalen Streckenzuwächse mit Hilfe der

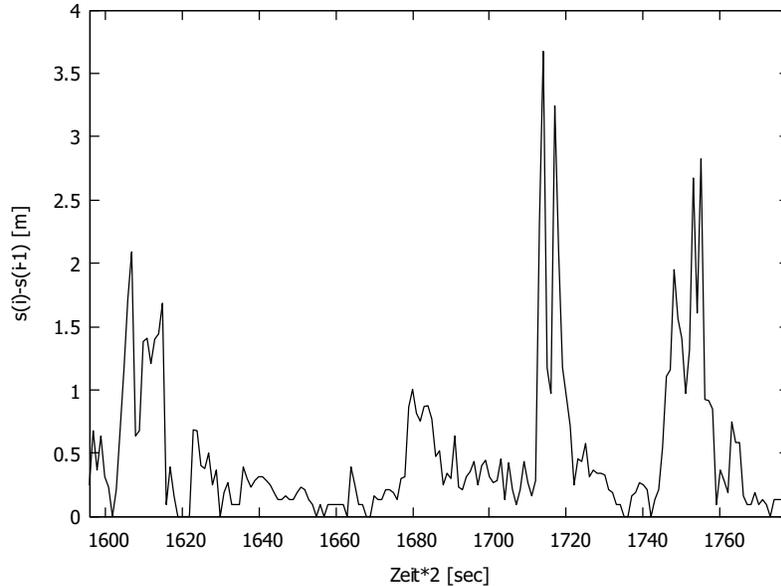


Figure 3: Wie in Abb.2, hier als Streckenzuwachs ΔS in der Pause. Tour 24.09.23

sphärischen Trigonometrie bestimmt² und daraus die Summe Ξ gebildet. Jedes Signal besteht aus einem deterministischen (regulären, wahren oder glatten) und einem stochastischen (zufälligem, Stör- oder Rausch-) Anteil. In (1) wird die Summe der gemessenen Höhendifferenzen stets größer ausfallen als die Summe der regulären, da die Störungen zusätzliche Höhenunterschiede produzieren.³ Anders verhält es sich in (2). Zwar werden auch die Koordinaten durch Störeinflüsse in die eine oder andere Richtung zufällig verschoben, der Einfluss auf die Strecken dazwischen ist dagegen gering. Es ist folglich zu erwarten, dass sich die zufälligen Anteile in der Summe Ξ weitestgehend kompensieren.

4 Pausen

Um das Verhalten des Geräts zu verstehen, sehe ich mir zunächst die Signale bei festem Standort an. Auf Tour sind das Pausen, die eine Unterbrechung der Fahrt anzeigen. Ich definiere sie als zeitlich zusammenhängende Abschnitte, die sich über mindestens drei Zeit-Intervalle erstrecken, bei denen der Streckenzuwachs ΔS pro Zeitintervall Δt kleiner als etwa $1.5 m$ ist, was dem Gang eines langsamen Wanderers entspricht. Dabei kommt Erstaunliches zu Tage. Das

²Ich habe exakte Kugelgestalt der Erde vorausgesetzt, folglich als Radius $R = 6371 km$ gesetzt.

³Die Summe aus $H\uparrow$ und $H\downarrow$ sollte sich dagegen nicht ändern und Null ergeben, wenn Start und Ziel der Route zusammenfallen.

Gerät zeichnet zufällige Strukturen auf, die an *random walk* (Abb.2) oder *white noise* (Abb.4) erinnern.⁴ In beiden Fällen beträgt die Standardabweichung etwa 0.35 m . Es kann aber auch durchaus passieren, dass Muster entstehen, die einen Trend anzeigen (Abb.3 und Abb.5) – dann kann sich am Ende der Pause die Position um etliche Meter verschoben oder der Berg um mehr als zehn Meter gehoben oder gesenkt haben. *Garmin* bezeichnet übrigens den Pausen-Trend in seinem „Support-Center“ als Drift und rät, das Gerät in der Pause abzuschalten.

Die zufälligen Bewegungen des ruhenden Fahrrads sind nichts anderes als virtuell; sie sind Folge der allgegenwärtigen Fluktuationen. Das Rauschen ist umso markanter, je stärker das Satelliten-Signals an Blättern, Häusern oder Wasser reflektiert oder gestreut wird. Das wiederum hängt von der Umgebung ab. Im Wald und in der Stadt ist dieser Effekt deutlich ausgeprägter als auf freiem Feld.

Die Pausen werden wie folgt eliminiert. Ist $\Delta S(i) > 1.5\text{ m}$, zählt j die neue, i die alte Zeitreihe; $i \leq N, j \leq M, M < N$.

Die neue Reihe H enthält die Elemente: $H(j)=H(i); \Delta H(j)=H(j)-H(j-1)$.

Für die neue Reihe P gilt: $\lambda(j) = \lambda(i), \phi(j) = \phi(i)$.

Die (tatsächliche) Veränderung der Koordinaten und Höhe zwischen Anfang und Ende der Pause („Drift“) muss als reguläre Korrektur des Signals angesehen und im weiteren berücksichtigt werden. Die Werte in der Pause bleiben dagegen unberücksichtigt.

5 Fahrt

Genug pausiert! Abb. 6 und 7 zeigen das typische Muster der Veränderungen in Fahrt: Abb.7 den Streckenzuwachs $\Delta S = S(i) - S(i - 1)$ und Abb.8 die Höhendifferenz $\Delta H = H(i) - H(i - 1)$. Aus dem Vergleich von Abb.4 und Abb.7 wird ersichtlich, dass Höhenänderungen in den Pausen von gleicher Größenordnung sein können wie Höhenänderungen in Fahrt – ein Hinweis darauf, dass $|\Delta H| \lesssim 1\text{ m}$ eben nur zufällige Änderungen sind und in der Summenformeln $H\uparrow$ und $H\downarrow$ nicht berücksichtigt werden sollten. Anders verhält es sich mit den Strecken-Zuwächsen; sie übertreffen das Pausen- Rauschen meist um mehr als eine Größenordnung (Abb.6 versus Abb.3).

Im Streudiagramm (Abb.8) sind die Messwerte um den Schwerpunkt (9.5,0) gruppiert. Im Mittel bin ich also etwa 10 m bei 0 m Höhen-Änderung pro Δt gefahren (was wieder einmal deutlich macht, dass Mittelwerte die Wirklichkeit verzerren, angesichts gefahrener Höhendifferenzen, die sich auf tausend Meter und mehr summieren). Wie erwartet, besteht eine negative Korrelation zwischen ΔH und ΔS , erkennbar an der größeren Population im Quadranten (II) und (IV). In Abb.7 geht es überwiegend bergauf ($\Delta H > 0$); am rechten Rand dann bergab ($\Delta H < 0$). Das bedeutet nicht notwendigerweise schnellere Fahrt (oder größeren Streckenzuwachs), im Gegenteil – der Strecken-Zuwachs nimmt absolut ab (andernfalls wären Quadrant III und I leer), was auf eine schwierige Wegstrecke schließen lässt, die ich mit Bedacht befahre.

⁴„Abb.“ im Text entspricht „Figure“ in der Bildbeschreibung

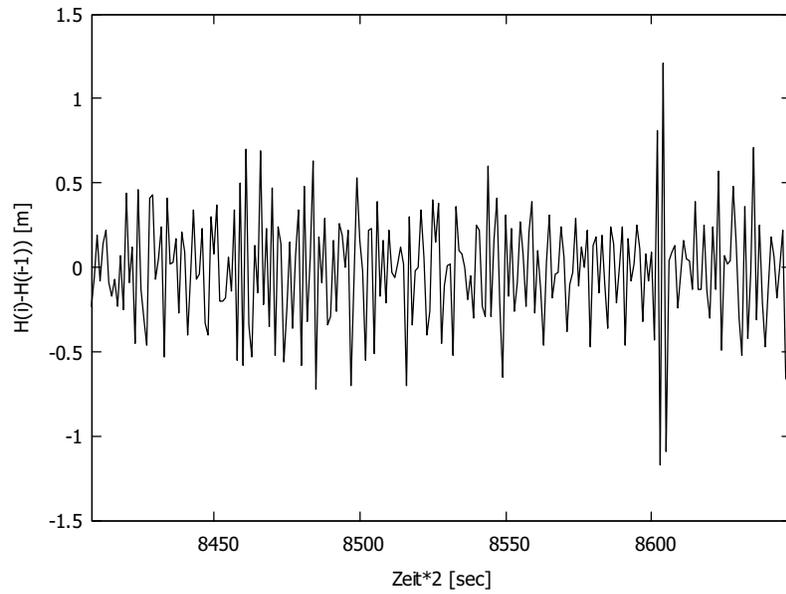


Figure 4: Höhenänderung ΔH in der Pause, mit einigen Ausreißern; Tour 11.10.23

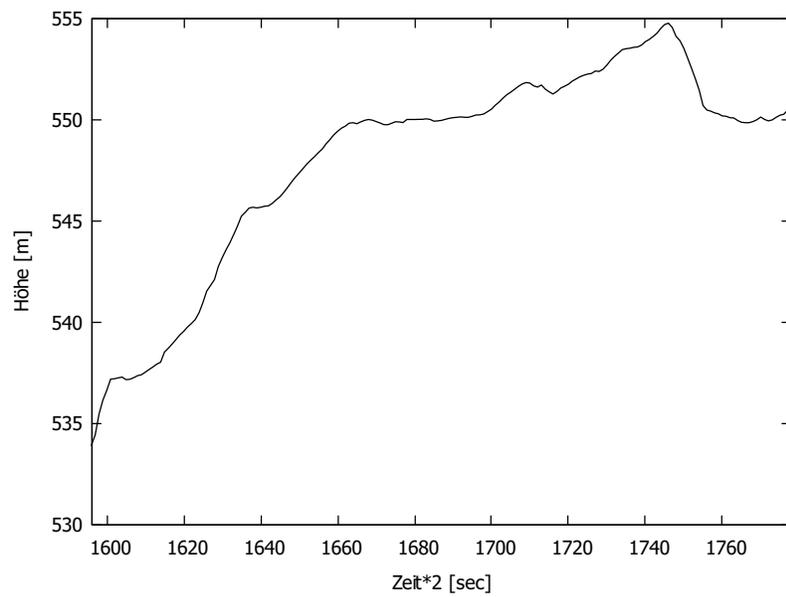


Figure 5: Trend in der Pause; Tour 24.09.23

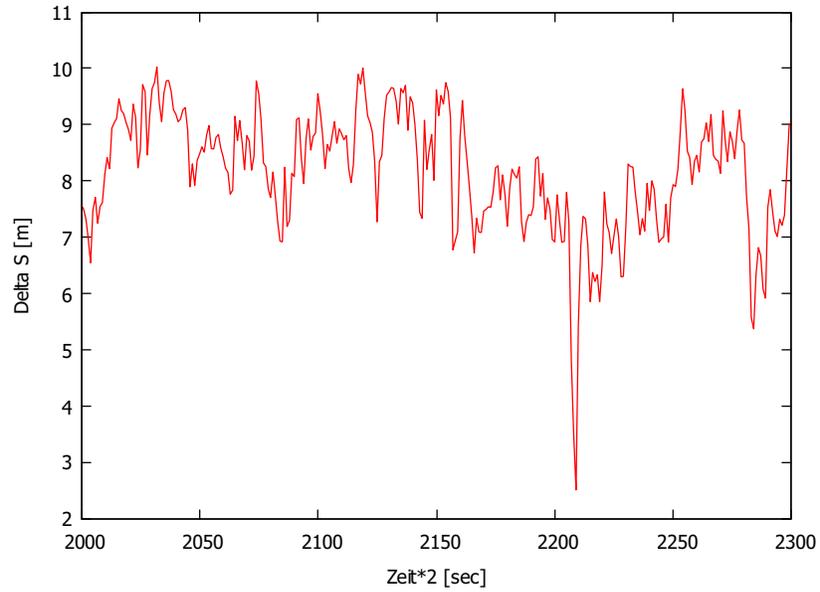


Figure 6: Streckenzuwachs ΔS pro Δt für einen 10-Minuten Abschnitt aus der Tour vom 11.10.23

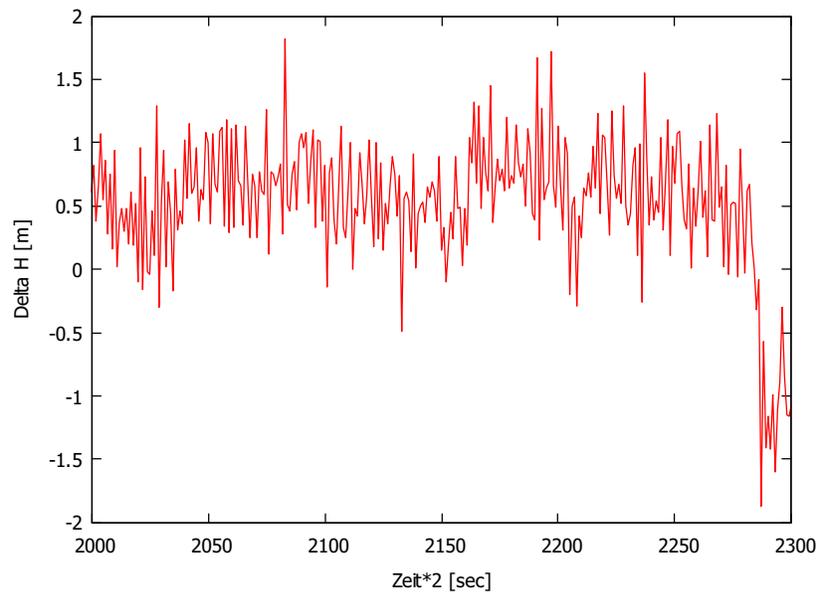


Figure 7: Höhendifferenz ΔH pro Δt , ansonsten wie Abb.5

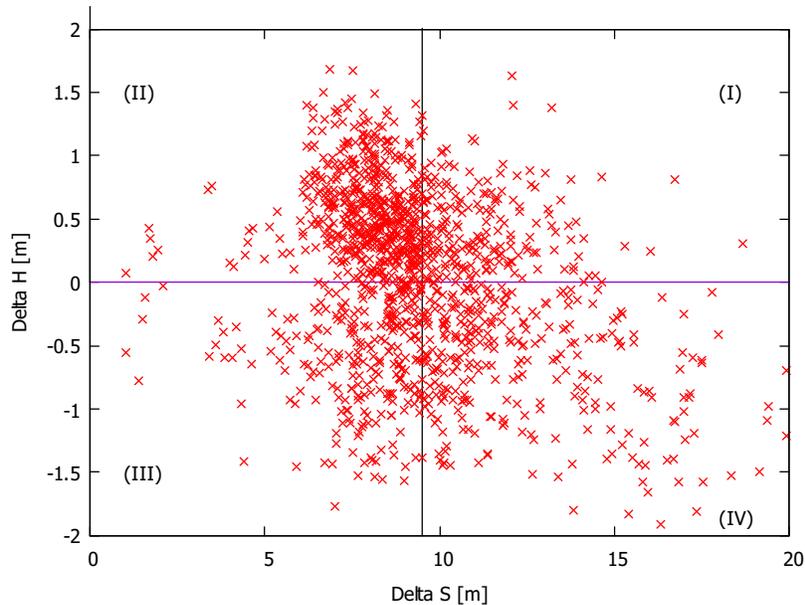


Figure 8: Streudiagramm Höhenzuwachs versus Streckenzuwachs. Der Schwerpunkt der Punktwolke liegt im Fadenkreuz der beiden Hilfslinien. Tour 11.10.23.

6 Die kumulierten Höhendifferenzen H_{\uparrow} und H_{\downarrow}

Eine Tour im Bergland wird eher das Interesse an der H_{\uparrow} , im Flachland an der H_{\downarrow} wecken. Hier werden beide Größen ermittelt. Die naive Addition der Daten führt nicht zum Ziel, da berücksichtigt werden muss, dass diese (so die gängige Annahme) sich additiv aus Trend und Störung zusammensetzen.

H_{\uparrow} ergibt sich auf einfache Weise, wenn vom Punkt A in steter Folge entweder bergauf oder bergab zum Punkt B gefahren wird. Das geschieht in der Regel bei Touren, die einen Pass in hohen Bergen zum Ziel haben. Meist sind in solchen Fällen Start und Ziel mitsamt Höhenangaben aus Karten ablesbar. Dann erübrigt sich die Rechnerei, und Maximum, Minimum und Schätzung einigen sich auf den Kartenwert. Bei meinen Touren ist die Situation eine andere. Am 24.09.23 habe ich genau 563 relative Maxima und Minima und am 11.10.23 262 gar 840 davon durchfahren. Allerdings waren jeweils etwa 40% flacher als 1 m.

Die Berechnung der kumulierten Höhen erfordert die Elimination der Fluktuationen in den Zeitreihen. Dann können die positiven bzw. negativen Höhendifferenzen aus der bereinigten Reihe addiert werden und ergeben die gesuchten H_{\uparrow} und H_{\downarrow} . Der Check auf Konsistenz muss $H_{\uparrow} + H_{\downarrow} = H(\text{Start}) - H(\text{Ziel})$ ergeben.

Methode 1

Eine der gängigen Methoden, Zeitreihen zu glätten, ist die Verwendung von

low-pass Filtern. Die gefilterte Reihe repräsentiert dann idealerweise den Trend, der Rest oder das Residuum enthält die Fluktuationen, Additivität vorausgesetzt: $H = \text{Trend} + \text{Residuum}$.

Das Mittel der Wahl ist die Methode von Savitzky-Golay (S-G)⁵. Um jeden Datenpunkt der Originalreihe wird ein sich bewegendes Fenster der Breite n gelegt; im Fensters wird der jeweilige Datenpunkt durch ein lokales Mittel ersetzt, das sich aus einem Polynom der Ordnung m nach der Kleinstquadraten-Methode („least square“) errechnet. Die Wirksamkeit des Filters wird anhand des Residuums geprüft. Lassen sich aus der Differenz von roher (ungefilterten) und geglätteter (gefilterten) Zeitreihe keine systematischen Änderungen herauslesen, ist das ein Hinweis, dass die Fluktuationen zumindest annähernd stationär sind. Ob sie auch unabhängig voneinander sind, wird mittels der Autokorrelations-Funktion (ACF) geprüft.

Ich wähle ein Polynom der Ordnung $m = 6$ mit $n = 8 - 12$ Messpunkten links wie rechts von dem zu filternden oder glättenden Punkt der Reihe H , wodurch die (gleich lange) Reihe H^* erzeugt wird. Durch Differenzenbildung der beiden Reihen entsteht die Reihe der Residuen („roh-glatt“ in Abb.9). Sie erweist sich als stationär. Die ACF ist in Abb.10 dargestellt. Die Abhängigkeit ist schwach bis zum Zeitabstand („lag“) 10, alle weiter entfernten gehen gegen Null. Mithin kann davon ausgegangen werden, dass das Residuum stationär und im wesentlichen unabhängig ist, somit dem weißen Rauschen nahe kommt, das Signal folglich in seinen deterministischen Anteil (Trend) und stochastischen Anteil (Rauschen) zerlegt worden ist. Gleichwohl bleibt herauszufinden, welches Polynom das richtige ist; immerhin liefern Glättungen mit $n = 8$ bis hin zu $n = 14$ recht ähnliche Ergebnisse, was die ACF betrifft, aber Unterschiede von mehrfachen zehn Metern bei den kumulierten Größen $H\uparrow$ sowie $H\downarrow$.

Method 2

Hier kommt mein zweiter, eher heuristischer Ansatz zu Hilfe. Ich ermittle die Maxima und Minima der Reihe H und addiere sie ; setze ich dann eine Schranke Z , unterhalb der alle Extrema wegfallen, erhalte ich $H\uparrow = \Sigma \text{Max}$ für $\Delta H > Z$ und $H\downarrow = \Sigma \text{Min}$ für $\Delta H < -Z$, sowie die Differenz $D(Z) = H\uparrow + H\downarrow$. Ist die Schwelle das Dreifache der Standardabweichung der Reihe, also etwa ein Meter, kann davon ausgegangen werden, dass die Fluktuationen unterhalb der Schwelle, die den Hauptteil der Störungen ausmachen, eliminiert worden sind.⁶ Bei den verbleibenden Extrema kann davon ausgegangen werden, dass die Störanteile durch Summation mindestens größtenteils kompensiert werden. Existiert nun eine Schranke Z , so dass die Differenz $D(Z)$ gerade gleich der Differenz aus Start- und Zielhöhe der Originalreihe ist, gilt das Problem als gelöst. Das ganze nochmals in Computer verwendbarer Schreibweise:

$$\text{Sei } \eta^+ = \sum_{i=1}^{n^+} \text{Max}_i (> Z) \text{ und } \eta^- = \sum_{i=1}^{n^-} \text{Min}_i (< |Z|);$$

⁵siehe Numerical Recipes in Fortran, Cambridge University Press, 1992, p.644

⁶Eine ähnliche Überlegung wurde bereits im Abschnitt Pause angestellt – was zeigt, dass die Analyse der Pausen von Bedeutung ist.

außerdem $\eta^+ + \eta^- = H(\text{Start}) - H(\text{Ziel})$, dann ist

$H\uparrow = H^+$ und $H\downarrow = H^-$ sowie $n^+ = n\uparrow$ und $n^- = n\downarrow$.

Dies geschieht in der Tat zweimal; und zwar bekanntlich an der Stelle $Z = 0$, aber auch (und das ist der Punkt) an der Stelle $Z = Z_{crit}$. Zu besichtigen ist das in Abb. 11. Der kritische Wert Z_{crit} entspricht etwa dem Dreifachen der Standardabweichung der Fluktuationen aus den Pausen.

Methoden 1 und 2 kombiniert

Zurück zur Filterung. Heuristik und Glättung stimmen überein, wenn $n = 9$ und $m = 6$. Aus dem Vergleich zweier unabhängiger Verfahren ergibt sich also, wie von der berühmten unsichtbaren Hand geleitet, eine recht zuverlässige Auswahl der kumulierten Höhendifferenz aus der Vielzahl der möglichen.

7 Die kumulierte Streckendifferenz Ξ

Filtert man die Streckendifferenz Δs , die aufeinanderfolgende Koordinaten der Reihe P verbindet, ergeben sich nur geringfügige Unterschiede zur ungefilterten Differenz. Dies wird aus Abb. 12 ersichtlich. Die Summe Ξ ändert sich dagegen nicht – die Methode S-G konserviert das erste Moment (und höhere Momente). Allem Anschein nach kompensieren sich die Störanteile in den Koordinaten, wenn die Streckendifferenzen zur Streckensumme aufaddiert werden (wie schon in „Zeitreihen und Ziele“ vermutet). Eine unabhängige experimentelle Überprüfung der These sollte mit Hilfe des Display am Fahrrad gelingen. Es zählt die Anzahl der Umdrehungen k des Rads und ermittelt per Multiplikation mit dem Radumfang U die zurückgelegte Strecke Ξ . Der Fehler, der durch die fehlerhafte Bestimmung ΔU des Umfangs entsteht, ist $\Delta \Xi = k \Delta U$. Die Durchschnittsgeschwindigkeit errechnet sich aus dem durchschnittlichen Streckenzuwachs Δs , also $\bar{v} = 1.8(\Delta s / \Delta t) \text{ km/h}$.

8 Vergleich mit Garmins Resultaten

Kommen wir jetzt zum Höhepunkt: der Vergleich meiner mit Garmins Ergebnissen. Ich beschränke mich auf die im Text verwendeten zwei Touren; unter Verwendung weiterer ließe sich unschwer eine Statistik erstellen.

Garmin offeriert im Programm *BaseCamp* eine Zusammenfassung der Tour. Die dort abgelegten Datensätze sind allem Anschein nach von geringerem Umfang als die vom Gerät gespeicherten. Ich habe den Eindruck, dass die von *Garmin* als Pausen erkannten Abschnitte eliminiert sind. Eine Erläuterung dazu habe ich nicht gefunden.

24.09.23: *Garmin* errechnet aus 3683 Datenpunkten (Zeitintervallen) eine kumulierte Höhendifferenz von $H\uparrow = 925 \text{ m}$, sowie eine kumulierte Strecke von $\Xi \approx 38.2 \text{ km}$.

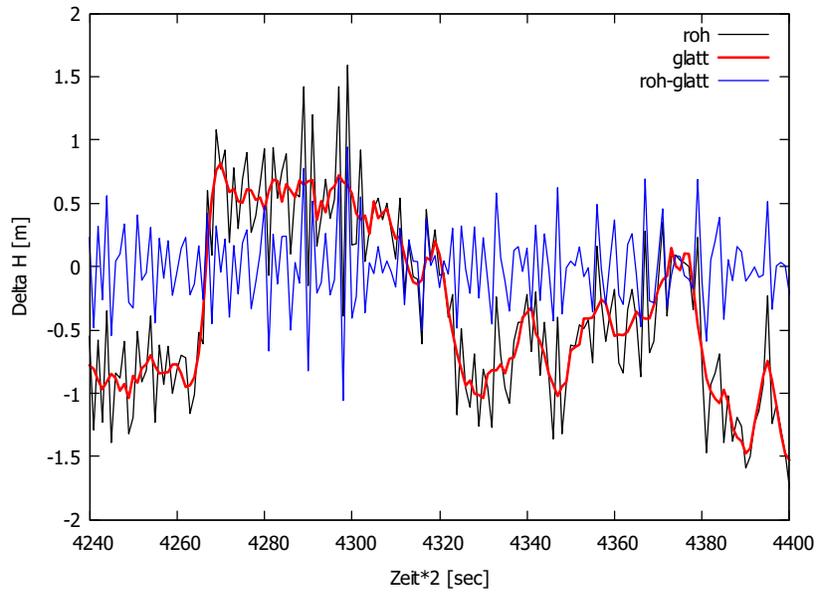


Figure 9: Ausschnitt aus geglätteten Höhen-Differenzen mittels Sawitzky-Golay; Tour 11.10.23.

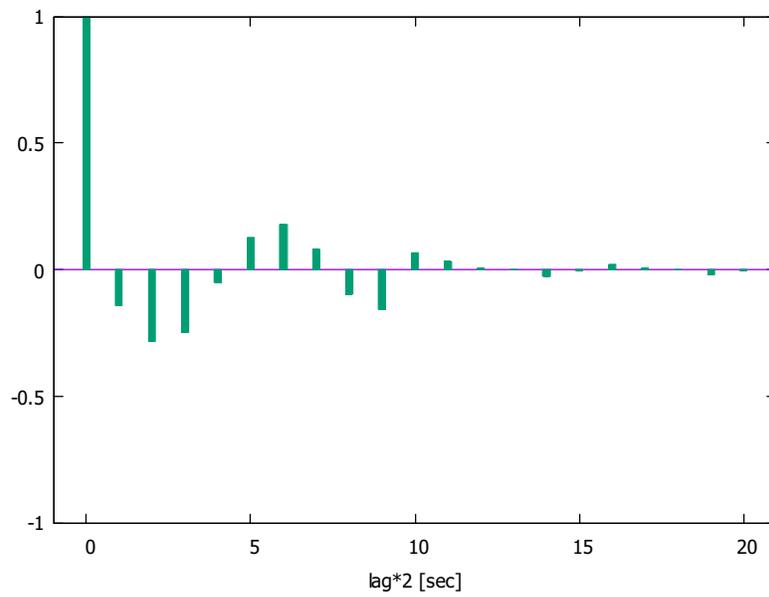


Figure 10: Autokorrelationsfunktion ACF des Residuums Höhendifferenz aus Abb. 9, gebildet aus der Differenz von gemessenen und gefilterten Höhendifferenzen.

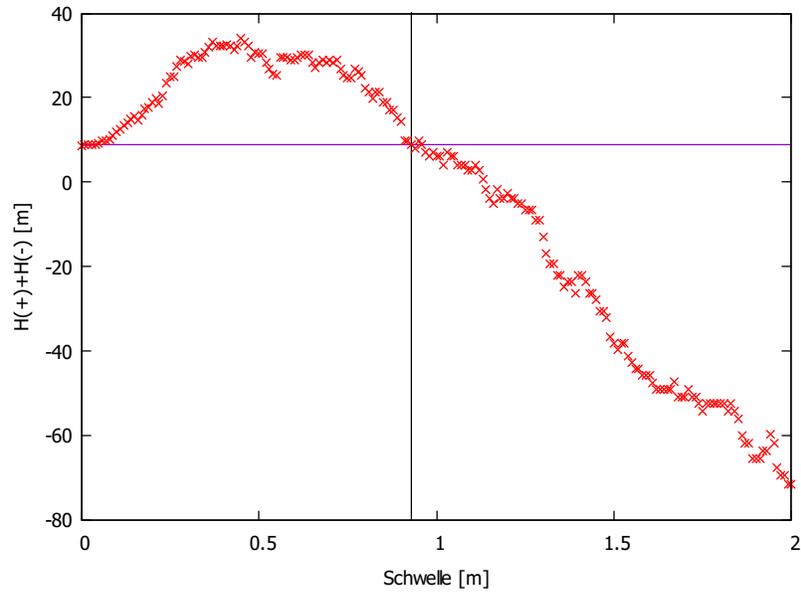


Figure 11: Summe aus $H\uparrow$ und $H\downarrow$ als Funktion der Schwelle, Tour 11.10.23. Der Schnittpunkt definiert eine Art Gleichgewichtspunkt, wenn diese Summe mit der Differenz aus $H(\text{Start})-H(\text{Ziel})$ übereinstimmt.

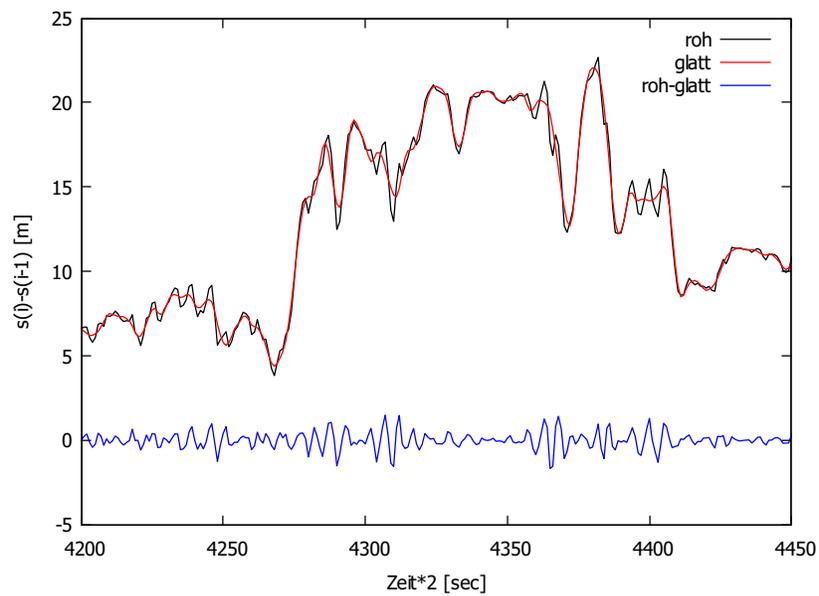


Figure 12: Ausschnitt aus rohem und geglättetem Streckenzuwachs, Tour 11.10.23 .

Ich errechne aus 3477 Zeitintervallen (in Fahrt) eine kumulierte Höhendifferenz von $H\uparrow = 935\text{ m}$ und $H\downarrow = -925\text{ m}$, sowie eine kumulierte Strecke $\Xi \approx 37.29\text{ km}$.

11.10.23: *Garmin* errechnet aus 6976 Datenpunkten (Zeitintervallen) eine kumulierte Höhendifferenz von $H\uparrow = 1712\text{ m}$, sowie eine kumulierte Strecke von $\Xi = 62.6\text{ km}$. Ich errechne aus 6502 Zeitintervallen (in Fahrt) eine kumulierte Höhendifferenz von $H\uparrow = 1724\text{ m}$ und $H\downarrow = -1716\text{ m}$, sowie eine kumulierte Strecke $\Xi \approx 61.93\text{ km}$. Werden ausschließlich die von *Garmin* bereitgestellten Roh-Daten ohne weitere Manipulationen genutzt, also ohne Berücksichtigung der Pausen und ohne Filterung, ergibt sich folgendes Bild: Zeitintervalle: 9117; $\Xi = 62.59\text{ km}$; $H\uparrow = 2204.9\text{ m}$!

Garmins Ξ stimmen, wenn Pausen mitgerechnet werden; das passt aber nicht zu der von *Garmin* angegebenen Anzahl der Punkte. Bemerkenswert, dass unsere $H\uparrow$ sehr nah beieinander liegen. Die von mir errechneten Werte sind im Sinne der Statistik geschätzte Werte. Konfidenzintervalle kann ich nicht angeben. Wohl aber zumindest eine sichere obere Schranke. Es gilt:

$H\uparrow(\text{wahr}) < H\uparrow(\text{roh})$, wenn mit *roh* die um eventuelle Pausen reduzierte Reihe und mit *wahr* der deterministische Anteil der Reihe, also die Reihe ohne Störungen, gemeint ist. Außerdem gilt: $\Xi(\text{wahr}) \approx \Xi(\text{roh})$.

9 Herzfrequenz

Häufig kann auch der Herzschlag aufgezeichnet werden; hier ist der Brustgurt zu empfehlen, der deutlich beständigere Werte misst als der Sensor am Handgelenk. Der Herzschlag wird als über die Minute hochgerechnete Größe ausgegeben. Besser wäre die Messung des Abstands zwischen aufeinanderfolgenden RR-Zacken, wie einst von der Konkurrenz *Suunto* ausgegeben. Leider waren dort die Daten zum Teil sehr fehlerhaft, so dass eine Menge Vorab-Reinigung erforderlich war. Das aktuelle Messergebnis ist in Abb.13 zu besichtigen. Die Pulsrate als Funktion der Höhendifferenzen (als Maß für die Steigung) spiegelt die verausgabte eigene Leistung. Wechselnde Gangschaltungen bei gleicher Höhenzunahme ziehen die Punkte weit auseinander. Über die Punktwolke lässt sich eine logistische Kurve legen, die sich durch obere und untere Grenze auszeichnet. Man beachte die *Delay-Effekte*: Puls nimmt eine Zeitlang weiter zu oder verharrt auf dem erreichten Plateau, obwohl die Topographie von Anstieg auf Abfahrt umschaltet – und umgekehrt. Dieses Phänomen kann als Gradmesser der Fitness genutzt werden: je kürzer die *Delay-Zeit*, umso höher die Fitness.⁷

10 Zusammenfassung

Wer die hier vorgestellten Verfahren validieren möchte, der muss denselben Weg mehrmals fahren. So würden viele Zeitreihen generiert werden, aus denen sich ein Ensemble-Mittel errechnen ließe, das von der hier angewendeten Mittlung über die Zeit zu unterscheiden ist. Nun gibt es ja Touren, die man wiederholt

⁷siehe auch: https://www.volkerjentsch.de/HTML-neu/Wiss.Artikel/RR_deu.pdf

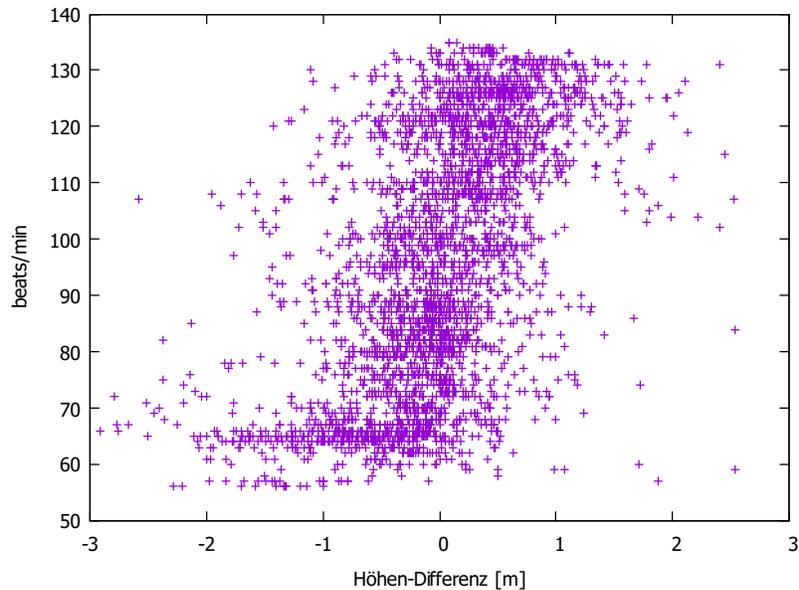


Figure 13: Streudiagramm Puls über Höhen-Differenz. Schwerpunkt liegt bei $(90 \text{ beats}/\text{min}, 0 \text{ m})$. Tour 11.10.23

zurücklegt, weil sie so schön sind – die hier als Beispiel genannte 11.10.23 Tour wäre ein Kandidat dafür. Um unnötigen Daten-Ballast zu vermeiden, erweist es sich als richtig, dem Rat von *Garmin* zu folgen und bei eventuellen Pausen das Gerät abzuschalten (und nicht zu vergessen, es dann auch wieder einzuschalten, wenn Fahrt aufgenommen wird).

Doch ist die ganze Rechnerei wirklich erforderlich? Natürlich nicht. Fahrerinnen und Fahrer sind gut beraten, wenn sie nach Garmins Ergebnissen greifen. *Garmin* ermöglicht mit seinen Geräten die Speicherung von sehr persönlichen Touren-Daten. Ich habe mit diesem Artikel zeigen wollen, wie man damit umgehen und was man daraus lesen und lernen kann.