

## Die Suche nach der Wahrheit

Wer seine Touren mit einem GPS-Empfänger aufzeichnet oder sich Tracks von Tourenportalen runter lädt sieht sich andauernd mit der Ungewissheit konfrontiert, inwieweit die Messdaten bzw. Angaben bzgl. Streckenlänge und Höhenunterschied zuverlässig – sprich korrekt – sind. Zweifel sind angebracht, weswegen das Thema für reichlich Gesprächsstoff sorgt. Das Manko wird offensichtlich, sobald nach einer gemeinsamen Tour kumulierte HM-Werte miteinander verglichen werden. Die Erklärung der Abweichungen liegt an einer Vielzahl von Einflussfaktoren die das Messergebnis mit bestimmen. Oberflächlich betrachtet möchte man meinen, dass HM-Berechnungen relativ simpel sind, indem das Aufzeichnungsgerät auf Basis von Geo-Koordinaten nur Punkte akkumuliert die höher liegen als der vorhergehende Messpunkt. Doch weit gefehlt, ganz so easy funktioniert die Höhenmessung doch nicht ganz. Einerseits hängt es von der Quelle (GPS-Daten, barometrische Daten oder Google, SRTM1/SRTM3 etc.) ab auf die zurückgegriffen wird, andererseits spielt die Wahl der Messpunkte eine entscheidende Rolle. Somit ist der maßgebende Grundsatz allgegenwärtig: kumulierte HM-Werte geben grundsätzlich nur einen Annäherungswert der Realität wider – nicht mehr und nicht weniger. Da sich Störvariablen nicht herausfiltern lassen (ursächlich für fehlerhafte Messergebnisse) hat demzufolge keiner die Wahrheit für sich gepachtet.

## Messmethodik

Licht ins Dunkel bringt das Betrachten der Berechnungsmethoden: HM-Daten können sowohl barometrisch- als auch GPS-basierend bzw. aus dem arithmetischen Mittel beider Parameter ermittelt oder von gespeicherten Koordinaten mittels Software aus hinterlegtem Kartenmaterial generiert werden. Letztlich bestimmt die Berechnungsart die Genauigkeit des Messergebnisses.

Theoretisch gibt es zwar nur wenige Berechnungsmethoden zur Höhenermittlung doch in der Praxis liegt Teufel wie so oft im Detail. Die Berechnung kann erstens aus Satellitensignalen (relativ ungenau), zweitens anhand von Positionsdaten aus dem Digitalen Höhenmodell (überwiegend bei GPS-Geräten) oder drittens durch die barometrische Höhenmessung erfolgen. Gängige GPS-Geräte bestimmen die absolute Höhe mittels Geokoordinaten samt der im Gerät gespeicherten korrelierenden Höhenvermessungsdaten.

## GPS- basierte Höhenmessung

Die GPS- basierte Höhenmessung beruht auf dem amerikanischen Global Positioning System (GPS). Anhand von Satellitensignale wird eine mehr oder minder genaue Position des Gerätes bestimmt. Etwa 30 Satelliten umkreisen permanent die Erde. GPS-Geräte, Smartphones und sonstige Navigationsgeräte empfangen die Signale diverser Satelliten und errechnen daraus den gegenwärtigen Standort. Während das GPS-System ursprünglich militärischen Zwecken vorbehalten blieb wird die Technik heutzutage für die Öffentlichkeit kommerziell genutzt. Neben GPS existieren mit GLONASS, Galileo und Beidou weitere globale Navigations-Satellitensysteme. Um die aktuelle Höhe messen zu können ist das Signal von mindestens vier Satelliten notwendig, wobei die Genauigkeit der Positionsbestimmung maßgeblich von der Signalqualität abhängt die z.B. durch dichten Wald oder einer Wolkendecke beeinträchtigt sein kann. Tief eingeschnittene Schluchten vermögen den Signalempfang sogar gänzlich unterbinden oder das Signal an steilen Felswänden reflektieren. Dies kann Positionsabweichungen verursachen was wiederum die Höhenmessung beeinflusst. Ein Problem das besonders in steilen Hanglagen und Pfaden an Geländekanten auftritt. Schwankt die GPS-Position rechts/links von der tatsächlichen Wegstrecke summieren sich Höhen- bzw. Tiefenmeter auf, die in Wirklichkeit gar nicht bewältigt wurden.

Je länger ein schlechter Satellitenempfang herrscht desto weniger ist auf die kumulierte HM-Angabe Verlass. Handelsübliche Navigationsgeräte verfügen ein Genauigkeitsspektrum von ca. plus/minus 15 Meter für die Position bzw. plus/minus 25 Meter für die Höhe. Bei Barometer-basierter Messung liegt die Genauigkeit bei plus/minus 5 Meter - vorausgesetzt der GPS-Empfänger wurde kalibriert und wetterbedingte Luftdruckveränderungen wurden berücksichtigt. GPS-Geräte mit integriertem Barometer vermögen den barometrischen Höhenmesser mithilfe der satellitengestützten Positionsbestimmung automatisch zu kalibrieren.

### **Geodätische Referenzpunkte**

Zur Überprüfung des GPS-Empfängers empfiehlt sich ein Abgleich der GPS-Positionsdaten mit einem präzise vermessenen erdgebundenen Referenzpunkt.

Die Bayerische Vermessungsverwaltung (Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung) hat an 64 Orten Referenzpunkte eingerichtet, welche unter Verwendung des Satellitenpositionierungsdienstes der deutschen Landesvermessung SAPOS zentimetergenau die Position bestimmen. Die Höhenangaben stützen sich auf hochpräzise Messungen (Nivellement).

<https://www.ldbv.bayern.de/vermessung/satellitenpositionierung/referenzpunkte.html>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Liste\\_geodätischer\\_Referenzpunkte\\_in\\_Deutschland](https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_geodätischer_Referenzpunkte_in_Deutschland)

## **Barometrische Höhenmessung**

Die barometrische Höhenmessung (Luftdruckmessung) liefert nur unter der Voraussetzung genauere Daten, wenn das Gerät kalibriert ist bzw. während der Aufzeichnung keine nennenswerten Luftdruckveränderungen auftreten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die barometrische Höhenmessung bei stabiler Wetterlage und gleichbleibender Temperatur zuverlässigere Messergebnisse liefert als die systembedingte ungenauere GPS- basierte HM-Messung. Es braucht nur einen Bezugspunkt (Standort mit verlässlicher Höhenangabe) um den aktuellen Luftdruck zu messen.

Grundsätzlich gilt: bei steigender Höhe fällt der Luftdruck ab. Wer das Barometer gelegentlich nachjustiert, erhält bis auf wenige Höhenmeter Abweichung relativ präzise HM-Daten. Besonders bei längeren Touren empfiehlt es sich, das Gerät zwischenzeitlich anhand „offizieller“ Höhenangaben (Hütten, Gipfelmarten, Wetterstationen, Landkarten) abzugleichen.

## **Weitere Einflussgrößen**

Gerätemarke- Modell, Geschwindigkeit, Höhenprofil (Gleichmäßigkeit), Bewegungskonstanz, Positionierung des GPS-Geräts am Lenker, Oberrohr bzw. Rucksack oder Trikottasche sowie die individuelle Geräte-Konfiguration beeinflusst ebenso die Berechnung der Höhenmeter. Bei Streckenaufzeichnungen mit drei montierten GPS-Empfängern (unterschiedliche Konfiguration) wurde eine Abweichungsquote der kumulierten HM von bis zu 25% festgestellt (streckenabhängig).

## Geländemodelle auf kartographischer Grundlage

Werden Höhenmeter von den gespeicherten Koordinaten mittels Software aus dem hinterlegtem Kartenmaterial generiert, lauern auch hier gewisse „Fallgruben“. Dies wird schnell klar, wenn importierte Trackdateien auf diversen Tourenportalen zu unterschiedlichen Berechnungsergebnissen führen oder zwischen hochgeladene Daten auf BascCamp (Garmins Firmensoftware) und dem GPS-Gerät teils erhebliche Differenzen in der HM-Ausgabe bestehen.

Die Ursache liegt daran, dass jedes Programm (Google Maps, GPSies, Komoot, Garmin Connect oder Strava einem spezifischen Geländemodell zugrunde liegt, d.h. in Sachen Algorithmus zur Kurvenglättung bzw. Wegpunktkomprimierung kocht jeder sein eigenes Süppchen. Doch selbst bei identischen Höhenmodellen weichen errechnete Daten ab, da unterschiedlich interpoliert wird, d.h. jede Software verwendet zur HM-Berechnung ihren eigenen Algorithmus, der Höenschwankungen in einem vordefinierten Bereich ausblendet. Werden ausschließlich Anstiege beispielsweise ab 3 Meter plus/minus Niveauunterschied definiert, fallen Höenschwankungen der festgelegten Bandbreite sprichwörtlich durch's Raster. Da es sich bei Höhenmeterangaben de facto um Annäherungswerte handelt folgt daraus: es gibt weder ein „Richtig“ noch ein „Falsch“.

Deshalb machen Diskussionen, wer denn nun wohl das zutreffendste Ergebnis verfügt von Anfang an ins Leere.

Definition: *"In der numerischen Mathematik bezeichnet der Begriff Interpolation (aus lateinisch inter = dazwischen und polire = glätten, schleifen) eine Klasse von Problemen und Verfahren. Zu gegebenen diskreten Daten (z. B. Messwerten) soll eine stetige Funktion (die sogenannte Interpolante oder Interpolierende) gefunden werden, die diese Daten abbildet. Man sagt dann, die Funktion interpoliert die Daten."* (Quelle Wikipedia)

## Algorithmen

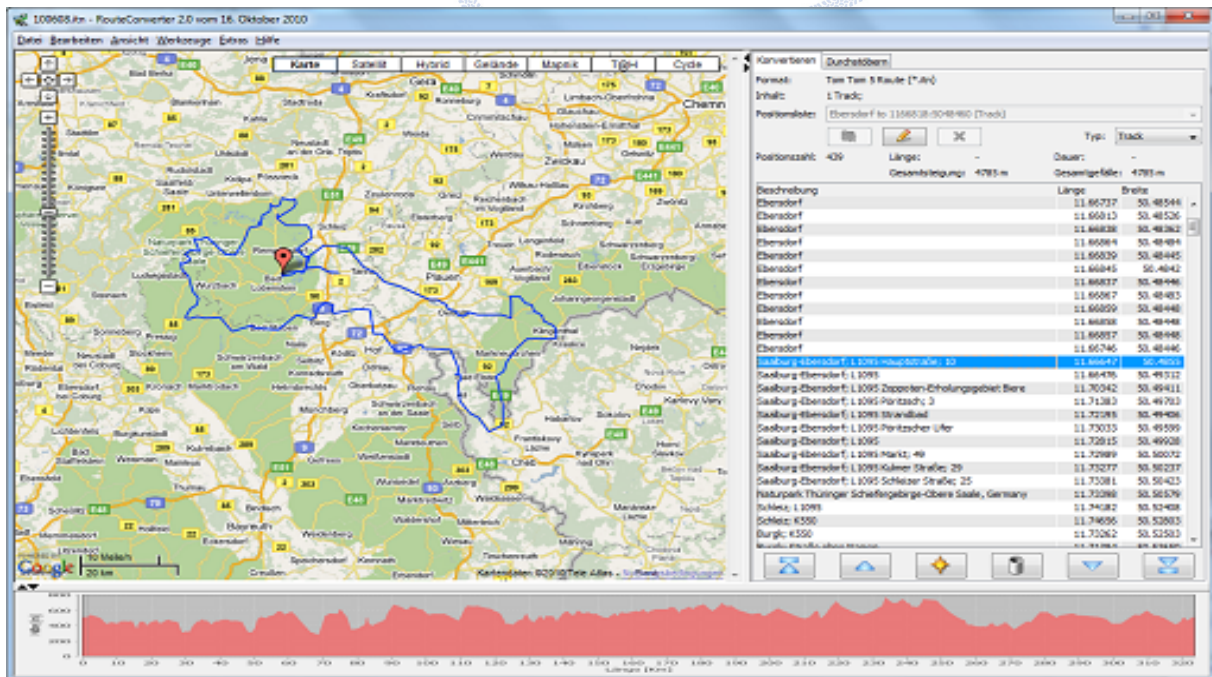
Wird eine Strecke mit dem GPS-Gerät, Smartphone oder einem GPS-Logger aufgezeichnet, werden in regelmäßigen Abständen aktuelle Wegpunkte abgespeichert. Wegpunkte können Informationen wie z.B. geografische Länge und Breite, absolute Höhe, Uhrzeit etc. enthalten. Ihre zeitliche Erfassung bzw. geographischen Entfernungsabstände bestimmen über das Wo, Wann und Wie oft ein Wegpunkt erfasst wird. Je dichter Wegpunkte gesetzt sind, desto detaillierter werden Niveauunterschiede aufgezeichnet bzw. je weiter Wegpunkte auseinander liegen, desto stärker werden sie kaschiert. Allerdings besteht das Dilemma, dass bei kürzeren Punktabständen irreguläre HM berechnet werden. Grund: Bei geringeren Waypoint-Abständen steigt die HM-Informationsdichte, in denen sich minimalste Aufzeichnungsfehler verbergen.

Weniger einzelne Abweichungen als vielmehr die Aufsummierung derselben bezogen auf eine Streckendistanz machen das Kraut fett. Je größer die überbrückte Distanz bzw. je unsteter das Höhenprofil, desto ungenauer das Ergebnis. Da es leider keine Referenzwerte bzgl. Wegepunktabstände gibt, muss man sich bei der Geräte-Konfiguration entweder seiner eigenen Erfahrungswerte besinnen oder sich nachträglich eines Routenkonverters bedienen um der Wahrheit ansatzweise auf die Spur zu kommen.

### **Douglas-Peucker-Algorithmus**

GPS Aufzeichnungen weisen häufig „Ausreißer“ auf, die durch Reflexionen oder Abschattungen (schlechter GPS-Empfang) entstehen. Zudem werden bei Standzeiten „Punktwolken“ erzeugt. Zur Qualitätssteigerung sollte diese negativen Einflussfaktoren“ eliminiert werden. Da GPS-Aufzeichnungen im Prinzip nichts anderes als eine Koordinaten-Reihe darstellen, lassen sich demzufolge mathematische (Glättungs-) Verfahren problemlos anwenden. Allen voran der bekannte Douglas-Peucker-Algorithmus. Tracks lassen sich mit Hilfe eines Routenkonverters manuell nachberechnen (konvertierten) und durch Löschung redundanter Positionen (überzählige Trackpunkte) gemäß variablen Grenzwert mittels Douglas-Peuckert-Algorithmus glätten.





Der [RouteConverter](#) ist ein kostenfreies, nutzerfreundliches GPS-Tool, um Routen, Tracks und Wegpunkte anzuzeigen, zu bearbeiten und zu konvertieren.

Definition: Der *Douglas-Peucker-Algorithmus* (auch *Ramer-Douglas-Peucker-Algorithmus*) ist ein Algorithmus zur Kurvenglättung im Bereich der Vektorgrafik und Generalisierung von Karten. Das Ziel ist, einen durch eine Folge von Punkten gegebenen Streckenzug durch Weglassen einzelner Punkte (engl. *weeding*) so zu vereinfachen, dass die grobe Gestalt erhalten bleibt. Der Grad der Vergrößerung wird gesteuert durch Vorgabe des maximalen Abstands zwischen den ursprünglichen Punkten und dem approximierenden Streckenzug. Die Ausgangsform des Algorithmus wurde von Urs Ramer und (unabhängig) von David Douglas und Thomas Peucker angegeben. (Quelle Wikipedia)

## Gpsies

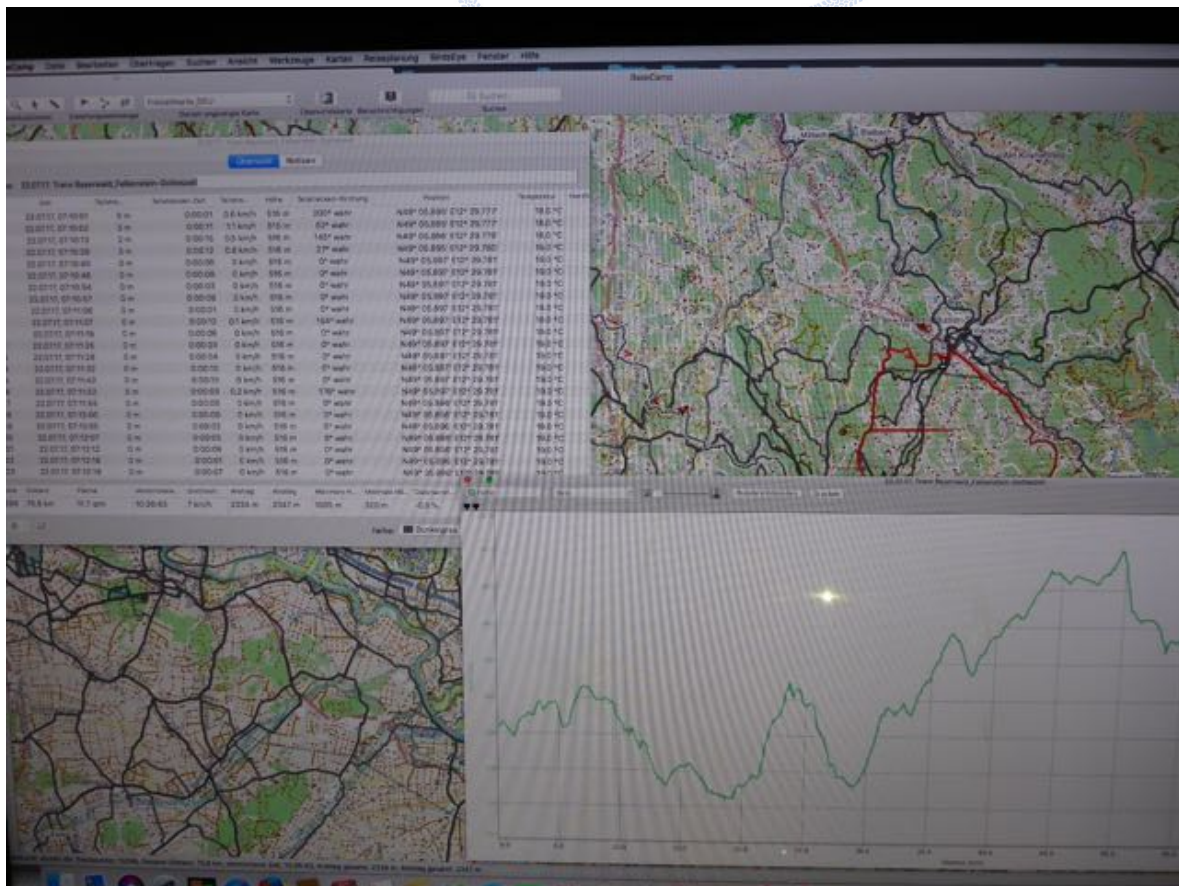
GPSies bietet ein dreistufiges Rechenprogramm (schwach, mittel, stark) zum Glätten für GPS Tracks an. Hierbei wird der “Korridor”, d.h. die Stärke des angewendeten Algorithmus wird manuell geändert:

Step 1: Mit Datenglättung werden Punktwolken bzw. extreme Ausreißer eliminiert, indem z.B. Pausen oder schlechte GPS-Signale – welche zur Ergebnisfälschung beitragen – neutralisiert sind. Step 2: in regelmäßigen Abständen interpolieren. Step 3: Höhenlinie mit einem bestimmte Toleranzwert (z.B. 3 Meter) glätten, um z.B. winzige Unebenheiten herauszufiltern.

## Fazit

Das Thema ist ein Fass ohne Boden. Wo fängt man an – wo hört man auf? Wie komplex das Thema wirklich ist macht allein die Tatsache deutlich, dass sich selbst Experten über exakte Gipfelhöhen wie der Zugspitze und Mount Everest streiten.

## BaseCamp



BaseCamp ist Garmins hausgemachte Firmensoftware (Windows+MAC), die für dessen GPS-Geräte bzw. kompatible Digitalkarten kostenfrei genutzt werden kann. Sie eignet sich zum Planen und Visualisieren von Touren – auch kostenfreie OpenStreetMap Karten können installiert werden. Hinweis: nicht wundern wenn nach Track-Import BaseCamp nicht dieselben Gesamthöhenmeter ausgibt, als das GPS-Gerät anzeigt. Die Software glättet und interpoliert zugleich den Verlauf der Höhenwerte

BaseCamp-Download:

<http://www.garmin.com/deDE/shop/downloads/basecamp>