

## Anleitung für das Casio FX 2.0-Programm „TrasseR“

Bei dem Programm handelt es sich um die Berechnung eines horizontalen Stationierungswertes und eines zugehörigen horizontalen seitlichen Abstandes - ausgehend von einer vordefinierten horizontalen Achse - aus gegebenen Koordinaten eines im Trassenbereich liegenden Punktes.

### 1. Mögliche Trassenelemente und deren Kombinationsmöglichkeiten

Die Achse kann aus folgenden Elementen bestehen:

- Geraden
- Kreisbögen
- Klothoiden

Dabei gilt das Prinzip, daß die einzelnen Elemente tangential aneinander anschließen sollten, um optimale Ergebnisse zu garantieren. Bei Einbeziehung von Klothoiden ist dies sogar dringend erforderlich, da Berechnungen auf Klothoidenteilstücken aus programmtechnischen Gründen einen tangentialen Anschluss an die Nachbar-elemente nötig machen.

Das Programm bietet unendliche Möglichkeiten von Kombinationen der Elemente „Gerade“ und „Kreisbogen“. Folgende Möglichkeiten bieten sich also:

- beliebig viele Geraden nacheinander (wobei dies bei tangentialem Anschluss natürlich wenig Sinn macht!)
- beliebig viele Kreisbögen nacheinander
- beliebige Kombinationen von Geraden und Kreisbögen

Bei der Verwendung von Klothoiden ist die Nutzung dagegen eingeschränkt. Grundsätzlich gilt: Eine einzelne Klothoide kann nicht von 2 gleichartigen anderen Elementen „umzingelt“ sein, 2 aufeinanderfolgende Klothoiden müssen dagegen von 2 gleichartigen anderen Elementen „umzingelt“ werden. **Nicht** möglich sind also folgende Kombinationen:

- Gerade-Klothoide-Gerade
- Kreisbogen-Klothoide-Kreisbogen
- Gerade-Klothoide-Klothoide-Kreisbogen
- Kreisbogen-Klothoide-Klothoide-Gerade

Es soll hier nicht bestritten werden, daß oben genannte Kombinationen theoretisch möglich wären. In diesem Programm jedoch hat eine Klothoide immer ein „Radiusende“ und ein „Geradenende“. 2 Kreisbögen an einer Klothoiden z.B. (womit die Klothoide eine Eilinie wäre) sind hier also aus programmtechnischen Gründen

**nicht** möglich! Folgen 2 Klothoiden aufeinander, stoßen diese an ihren „Radiusenden“ oder an ihren „Geradenenden“ zusammen, womit an ihren Außenenden zwingend gleichartige Elemente der anderen Sorte erforderlich sind. Mögliche und teils zwingende Kombinationen sind also folgende:

- Gerade-Klothoide-Kreisbogen
- Kreisbogen-Klothoide-Gerade
- Gerade-Klothoide-Klothoide-Gerade
- Kreisbogen-Klothoide-Klothoide-Kreisbogen

Auch möglich:

- Klothoide-Gerade-Klothoide
- Klothoide-Kreisbogen-Klothoide

Bei ersterem dürfen unmittelbar davor und danach allerdings keine Geraden folgen, bei letzterem keine Kreisbögen.

Aus programmtechnischen Gründen ebenfalls **nicht** möglich sind die folgenden beiden Situationen:

- 2 aufeinanderfolgende Klothoiden direkt zu Beginn oder direkt am Ende der Achse
- 3 oder mehr Klothoiden am Stück

Lässt sich eine vorgegebene Achse nicht mit den Bedingungen dieses Programms vereinbaren, empfiehlt es sich, sehr kurze Geraden oder „großradige“ Kreisbögen in die Achse zu integrieren, welche an der Achse an sich nur minimalste Auswirkungen hervorrufen, diese aber konform zu diesem Programm macht. Es gilt dabei aber zu beachten, daß die vom Nutzer „eingebauten“ Extraelemente die richtigen Richtungen einnehmen, da das Programm nicht zuletzt auf die aus Geraden und Kreisbögen gewonnenen Richtungsangaben aufbaut. Außerdem kann auf diesem Wege auch keine Eilinie programmkonform gemacht werden, da sich dadurch programmintern eine vollkommen andere Klothoide ergeben würde als in der Achse angegeben.

Zu guter letzt sei noch erwähnt, daß eine Achse auch aus sehr wenigen Elementen bestehen kann. Das fängt bei einem an (nur eine Gerade, nur ein Kreisbogen, nur eine Klothoide - wobei bei dieser dann das „Geradenende“ mit dem Trassenanfang zusammenfallen und zusätzlich auch die Tangentenrichtung am Trassenanfang angegeben werden muss) und funktioniert auch mit zweien - dies ausnahmsweise sogar in allen erdenklichen Kombinationen (außer dem schon erwähnten Klothoidenpaar).

Und natürlich ist der Anzahl an Elementen nach oben hin nur durch die Rechenkraft des Casios eine Grenze gesetzt (laut Casio-Anleitung wären dies 254 Elemente) - solange die in diesem Kapitel aufgeführten unmöglichen Elementkombinationen im gesamten Trassenverlauf umgangen werden.

## **2. Nötige Parameter und deren Eingabe in den Casio FX 2.0**

Folgende Parameter - also Ausgangswerte - der Achse werden benötigt:

- Radien bzw. Klothoidenparameter der einzelnen Trassenelemente
- Startkoordinaten der einzelnen Trassenelemente
- Endkoordinaten der Trasse (also die Endkoordinaten des letzten Trassenelements)

Dabei gilt: Geraden werden grundsätzlich durch den Radius mit dem Wert 0 gekennzeichnet (auch wenn der eigentliche Radius ja eher am anderen Ende des Spektrums - nämlich bei unendlich - liegt). Radien und Klothoidenparameter werden mit ihren entsprechenden Werten eingetragen, wobei ein Minuszeichen vor den Wert zu setzen ist, wenn es sich um eine Linkskurve (in Stationierungsrichtung gesehen) handelt (bei einer Rechtskurve in Stationierungsrichtung wird der Wert entsprechend ohne gesondertes Vorzeichen eingegeben).

Für die Eingabe der Werte in den Casio ist **vor Beginn** dieses Programms das Menü 2 (STAT) aufzurufen. Die dort zur vorherigen Eingabe wichtigen Listen sind List 1 bis 4. In einzelnen werden folgende Werte in folgende Listen eingetragen:

- Radien der Kreisbögen (inklusive Geraden) in List 1
- Parameter der Klothoiden in List 2
- y-Koordinaten der Beginne aller Trassenelemente (und des Trassenendes) in List 3
- x-Koordinaten der Beginne aller Trassenelemente (und des Trassenendes) in List 4

Bei der Eingabe einer Geraden muss in List 1 eine 0 eingetragen werden. Dazu muss bei Eingabe von Geraden oder Kreisbögen zudem unbedingt in List 2 eine 0 eingetragen werden. Wird ein Klothoidenelement eingetragen, muss List 1 mit einer 0 versehen werden. Folgenden Eintragungsmuster in List 1 und 2 weisen also auf folgende Elemente hin:

- 0 und 0 → Gerade
- 0 und andere Zahl als 0 → Klothoide
- andere Zahl als 0 und 0 → Kreisbogen

Die Eingabe zweier von 0 verschiedener Zahlenwerte in List 1 und 2 in einer Zeile ist dagegen **nicht** möglich! Näheres zur Eingabe ist dem nun folgenden Beispiel zu entnehmen:

	List 1	List 2	List 3	List 4
1	0	0	769.473	532.972
2	0	48	775.003	537.86
3	59.55	0	806.444	560.095
4	0	0	825.822	564.652
5	-26.6	0	844.185	565.812
6	0	-30.321	860.733	572.983
7	0	0	873.381	604.455
8			875.584	617.571

[Das angeführte Beispiel ist im Downloadpaket enthalten (Trasse.zip: GEOgraf-Projekt der Trasse), womit die aufgeführten Trassenparameter und nachfolgende Berechnungen nachvollzogen werden können.]

In dem Beispiel auf der Seite zuvor handelt es sich also um folgende Elementfolge bei der Achse:

- Gerade-Klothoide (rechtsgekrümmt)-Kreisbogen (rechtsgekrümmt)-Gerade-Kreisbogen (linksgekrümmt)-Klothoide (linksgekrümmt)-Gerade

Unbedingt zu beachten:

- List 1 und 2 müssen die gleiche mit Werten gefüllte Zeilenanzahl haben
- List 3 und 4 müssen die gleiche mit Werten gefüllte Zeilenanzahl haben und dabei um jeweils genau eine Zeile länger sein als List 1 und 2

Wurde eine dieser Vorgaben nicht beachtet oder eine falsche Elementfolge eingegeben, gibt das Programm nach dessen Start eine Informationsmeldung aus und bricht ab - oder startet erst gar nicht und gibt eine der diversen casio-internen Fehlermeldungen aus. Wurden dagegen alle Vorgaben beachtet, startet das Programm die Trassenberechnung, welche im folgenden Kapitel genauer erklärt wird.

### **3. Eingaben im laufenden Programm und Ausgabe der Werte**

Je nach Anzahl der Trassenelemente kann der erste Berechnungsschritt einige Sekunden in Anspruch nehmen, ehe die erste für den weiteren Berechnungsverlauf relevante Abfrage an den Nutzer erscheint. Dies ist die Abfrage nach der „Anfangsstation der Trasse“. Dabei handelt es sich um eine einmalige, aber dennoch nicht ganz unwichtige Angabe, welche Einfluss auf alle folgenden Berechnungen hat.

Im Zweifelsfall beantwortet man diese Abfrage mit 0. Das bedeutet, daß die Trasse an ihrem Beginn mit der Station 0+000 startet. Weicht dies doch einmal von 0 ab, so ist hier die tatsächliche Startstation einzugeben. Startet die Trasse z.B. erst mit dem Wert 3+864, so ist statt 0 logischerweise 3864 einzutragen. Diese Abfrage ermöglicht es dem Nutzer also, auf einfachstem Weg auch eine um einen konstanten Wert verschobene Trassen (in diesem Beispiel also um den Wert 3864) zu berechnen.

Nach dieser letzten grundsätzlichen Abfrage zum Aufbau der Trasse folgt anschließend die erste individuelle Abfrage, nämlich die nach dem Rechtswert y des ersten gesuchten Punktes. Im mitgelieferten Beispiel ist dies die Koordinate 767,598 - dieser Wert ist also einzutragen. Danach ist der zugehörige Hochwert x anzugeben - in diesem Fall beträgt dieser 538,105.

An dieser Stelle ist auch schon Schluss mit den Eingaben - es folgen (nach eventuell längerer Berechnungsdauer - die Gründe für diese folgen auf Seite 6) der gesuchte Stationierungswert auf der Achse und der seitliche Abstand des eingegebenen Punktes von der Achse (die „Ordinate“). Ein Minuszeichen vor der Ordinate symbolisiert dabei, daß sich der Punkt - in Stationierungsrichtung gesehen - links von der Achse befindet. Wird kein Vorzeichen bei der Ordinate ausgegeben - ist der Wert also positiv - liegt der abgefragte Punkt - in Stationierungsrichtung gesehen - rechts von der Achse.

Daran anschließend erfolgt die Abfrage, ob weitere Punkte auf diese Trasse berechnet werden sollen. Bei Eingabe einer beliebigen Zahl außer 1 wird das Programm ordnungsgemäß beendet, bei Eingabe der 1 dagegen springt das Programm zu der Stelle, an dem der Rechtswert  $y$  des gesuchten Punktes eingegeben werden muss - eben für den ersten Punkt beschriebene Abläufe wiederholen sich nun erneut für den zweiten Punkt. An deren Ende kommt dann erneut die Abfrage nach Beendigung oder Weiterrechnung - samt folgendem Programmende oder folgender Berechnung des nächsten Punktes.

Wurden alle gesuchten Punkte berechnet und das Programm beendet, können die zwischenzeitlich berechneten Werte sowie die dazu getätigten Eingaben im Menü 2 (STAT) angesehen werden. Folgendermaßen sieht dies aus:

	List 8	List 9	List 10	List 11	List 12
1	0	767.598	538.105	1.9946	-5.0877
2	0	787.654	540.91	19.0582	5.9792
3	0	772.8	597.693	36.5005	-48.9020
4	0	803.081	559.844	42.9313	-1.1568
5	0	811.776	565.874	52.8287	-3.6609
6	0	823.838	556.898	63.2430	7.5550
7	0	828.466	571.063	69.1142	-6.2316
8	0	842.631	538.105	81.1732	27.5539
9	0	857.419	569.152	97.9841	0.9842
10	0	869.957	576.338	110.6701	5.0987
11	0	859.712	594.229	123.9456	-11.3982
12	0	879.897	595.605	130.0215	7.9689
13	0	884.178	614.261	148.8920	9.0236

In List 9 und 10 stehen nochmals die vom Nutzer eingegebenen Koordinaten (Rechtswert  $y$  und Hochwert  $x$ ) aller berechneten Punkte. In List 11 und 12 folgen die vom Programm berechneten Stationierungswerte, also die eigentliche Stationierung und der seitliche Abstand zur Achse - die Ordinate (beides hier auf 4 Nachkommastellen angegeben).

Die Nullen in List 8 haben derweil keinerlei Bedeutung. Diese Spalte wurde lediglich eingefügt, um eine Art „Trenner“ zwischen List 1 bis 7 (Trassendefinitionsdaten) und den Eingaben zur Berechnung und deren Ergebnissen (List 9 bis 12) zu haben.

#### Weitere wichtige Informationen:

- die Punkteingabe kann durcheinander erfolgen - es muss also nicht auf eine gewisse Reihenfolge bei der Eingabe der Punkte geachtet werden
- liegt ein Punkt nicht im Bereich der Achse (kann also keine Senkrechte auf die Achse im zuvor definierten Bereich realisiert werden), unterbricht das Programm mit einer Informationsmeldung, da eine zur Berechnung nötige Extrapolation des Trassenverlaufs allenfalls erahnt werden könnte, nicht aber ermittelt (man weiß ja z.B. nicht, ob es mit einer angenommenen Gerade wirklich weitergehen würde) - springt dann aber zur Abfrage, ob weitere Punkte berechnet werden sollen, so daß das Programm nicht vollends abbricht
  - Achtung!: Diese Meldung kann unter ungünstigen Bedingungen auch erscheinen, wenn der Punkt garantiert im Trassenbereich liegt - nämlich dann, wenn er genau am Rand zwischen 2 Tassierungselementen liegt
  - in dem Fall sollten die Koordinaten erneut mit einer kleinen, das Ergebnis nicht verfälschenden Veränderung (z.B. um 1 mm in  $y$  oder  $x$ ) eingegeben werden

- die Stationierungsdaten werden immer auf das in Stationierungsrichtung zuerst passende Trassierungselement bezogen, auch wenn ein später folgendes Element ebenfalls (und eventuell sogar besser) geeignet wäre (wenn also ein fraglicher Punkt auf 2 oder mehr Elemente aufgewinkelt werden kann, was z.B. der Fall sein könnte, wenn eine extrem kurvige Trassenführung vorliegt)
  - will man stattdessen Stationierungsdaten auf ein späteres Trassierungselement bezogen erhalten, so muss man die Achse entsprechend teilen und nur in dem Bereich berechnen, in dem das gewünschte Element garantiert als das erste mögliche erscheint
- vor jedem Aufruf des Programms wird im Menü 2 (STAT) List 5 bis 18 komplett gelöscht - die Trassendefinitionsdaten bleiben also erhalten, eventuell bereits zuvor getätigte Berechnungen und deren Ergebnisse sind nach einem neuen Aufruf aber nicht mehr vorhanden
- **die Berechnungsdauer kann extrem lang werden!**
  - Berechnungen im Bereich von Geraden oder Kreisbögen sind unkompliziert, dauern aber umso länger, je weiter hinten im Achsverlauf das nötige Trassenelement liegt
  - Berechnungen, die in den Bereich eines Klothoidenelements fallen, dauern dagegen **immer** recht lange - und nochmals etwas länger, je weiter hinten auf der Achse das nötige Klothoidenelement liegt oder je weiter weg von der Achse der Punkt liegt (je größer also die Ordinate ist) oder aber je dichter der Lotpunkt des gesuchten Punktes am „Geradenende“ der Klothoide liegt
    - das „worst-case“-Szenario in Sachen Berechnungsdauer ist also folgendes:
      - die Trasse besteht aus vielen Einzelelementen
      - der gesuchte Punkt fällt in den Bereich eines weit hinten liegenden Elements
      - dieses fragliche Element ist ein Klothoidenelement
      - der gesuchte Punkt liegt von diesem weit entfernt (=große Ordinate)
      - der Lotpunkt auf der Klothoide liegt nahe am „Geradenende“ der Klothoide
    - Dauer der Berechnungen: **bis zu 2 Minuten und länger** (der vorletzte Punkt in diesem Beispiel benötigte etwa 58 Sekunden - bedingt durch bei Klothoiden nötige Iterationsrechnungen)! **[also bitte nicht gleich die Geduld verlieren, wenn nach 30 Sekunden noch kein Ergebnis erscheint!]**
  - Genauigkeit der ermittelten Stationsdaten: zumeist im unteren Millimeterbereich (meist höchstens 2 mm Unterschied zum Soll), bei sehr geringen Klothoidenwerten (kleiner Parameter A, kleiner Endradius R) kann die Genauigkeit auch in den Zentimeterbereich hinabrutschen

Zum Abschluss sei noch kurz auf die bis hierher noch gar nicht erwähnten Spalten im Menü 2 (STAT) eingegangen: List 5, 6 und 7! Die Werte dieser hier vorgenommenen Beispielrechnung folgen auf der nächsten Seite und bedeuten folgendes:

- in List 5 steht jeweils der Richtungswinkel zwischen dem Anfang und dem Ende des jeweiligen Trassenelementes (hier auf 5 Nachkommastellen gerundet - Startkoordinaten in List 3/4 je eine Zeile höher, Endkoordinaten in List 3/4 der selben Zeile)
- in List 6 werden die vom Programm berechneten Längen der jeweiligen Trassenelemente aufgeführt
- in List 7 schließlich werden die einzelnen Elementlängen aufaddiert, so daß dort die Stationierungswerte der Elementwechsel bzw. das Ende der horizontalen

	List 5	List 6	List 7
1	0	0	0
2	53.91816	7.3806	7.3806
3	60.81349	38.6902	46.0708
4	85.29619	20.0005	66.0713
5	95.98378	18.3996	84.4709
6	73.96747	18.3996	102.8705
7	24.32695	34.5625	137.4330
8	10.59396	13.2997	150.7327

- Achse (letzter Wert in List 7) ablesbar sind (bei Trassenanfang von 0+000)
- die Nullen in der jeweils ersten Zeile dienen wie schon die zuvor erwähnten Nullen in List 8 als „Lückenfüller“ und haben keine weitere Bedeutung
  - die Werte in List 5 bis 7 haben für den Nutzer nur untergeordneten Nutzen und werden hauptsächlich zur programm-internen Berechnung benötigt

Es sei noch kurz erwähnt, daß keine Höhenberechnungen erfolgen (die meisten dürften es bereits festgestellt haben). Dahinter steckt der Gedanke, daß von einem höhenmäßig bekannten Punkt keine Gradientenhöhe zurückgerechnet werden muss - es erschließt sich kein geodätisch vernünftiger Grund dafür, da einzig die schon bekannte Höhe von Interesse ist. Bei der Lage dagegen kann es hilfreich sein, die Stationierungswerte eines zuvor koordinatenmäßig bekannten Punktes zu ermitteln, um diesen im Außendienst schnell und leicht um einen Wert (von z.B. 1 m senkrecht zur Achse) verschieben zu können (die Höhe bleibt in der Regel erhalten - Stichwort „exzentrische Absteckung mit richtiger Höhe“ - oder wird gegebenenfalls manuell angepasst).

Viel Spaß mit dem Programm wünscht **philipp** von den [Geodäten](#).

Bei Fragen oder Hinweisen (denn: perfekt ist niemand und vielleicht auch nicht dieses Programm) kann gerne im Forum gepostet werden:

<http://www.diegeodaeten.de/forum/board.php>