

Lukas Haas

# **Bestimmung von Trassierungselementen aus in QGIS digitalisiertem grafischen Entwurf**

Installations- und Nutzungsanleitung

Mainz  
August 2021

<b>Projektbezeichnung</b>	Bestimmung von Trassierungselementen aus in QGIS digitalisiertem grafischen Entwurf
<b>Dokumentenbezeichnung</b>	Installations.- und Nutzungsanleitung
<b>Status</b>	Fertiggestellt
<b>Aktuelle Version</b>	1.0

### Änderungsverlauf

<b>Nr.</b>	<b>Datum</b>	<b>Version</b>	<b>Geänderte Kapitel</b>	<b>Art der Änderung</b>	<b>Autor</b>	<b>Status</b>
1	15.08.2021	1.0	Alle	Erstellung	L. Haas	Fertiggestellt
2						
3						

© 2021 Lukas Haas

Dieses Werk einschließlich seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Autors unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Im Folgenden wird aus Vereinfachungsgründen das generische Maskulinum gebraucht. Weibliche und anderweitige Geschlechteridentitäten werden damit ausdrücklich mitgemeint, soweit es für die Aussage erforderlich ist.

# 1 Installation des Plugins

Um das Plugin als Nutzer verwenden zu können, sind einige Installationsschritte nötig.

Zuerst muss der im Kapitel Ordner `Freihandtrasse`, der die in dieser Bachelorarbeit erstellten Dateien, die zur Verwendung des Plugins nötig sind, enthält, in das Verzeichnis der Plugins der QGIS-Installation kopiert werden. Das erstellte Plugin ist kompatibel mit allen zurzeit verfügbaren QGIS-Versionen ab dem Release 3.0. Seit diesem Release ist der Speicherort der Plugins unter folgendem Verzeichnis zu finden, in das der Ordner `Freihandtrasse` kopiert werden muss:

```
``\AppData\Roaming\QGIS\QGIS3\profiles\default\python\plugins`
```

Der Ordner `AppData` befindet sich im Ordner des jeweiligen Benutzerprofils und ist meist ausgeblendet.

Nach einem Neustart von QGIS ist das Plugin im Kontextmenü [Erweiterungen] in der Auflistung aller Plugins unter dem Menüpunkt [Erweiterungen verwalten und installieren] gelistet. Hier existiert für jedes Plugin eine Informationsseite, die mit den Metadaten in der Datei `metadata.txt` gefüllt ist. Neben den Informationen zum Plugin und dessen Entwickler existiert hier die Möglichkeit, das Plugin zu installieren. Nach der Installation des Plugins erscheint im Kontextmenü [Erweiterungen] der Menüpunkt [Freihandtrasse]. Durch Auswahl des Menüpunktes wird das Plugin gestartet.

Standardmäßig wird die Nutzerversion des Plugins gestartet, das heißt die Eingabe der Parameter erfolgt durch Abfrage in einem Dialogfenster. Möchte man die Entwicklerversion starten und die Eingabeparameter in einer Steuerdatei festlegen, so ist es nötig im Quellcode der Datei `freihandtrasse.py` die Variable `gui_erstellen` zu **False** zu setzen. Die im Plugin-Verzeichnis ebenfalls abgelegte Muster-Steuerdatei `steuerdatei.txt` muss nun in das aktuelle Projektverzeichnis verschoben und mit den gewünschten Parametern angepasst werden. Nun erscheint nach Betätigung des Menüpunktes [Freihandtrasse] kein Dialogfenster und die Berechnungen werden direkt ausgeführt.

## 2 Funktionsweise und Parametrisierung

Im Folgenden wird die Funktionsweise des Plugins erklärt. Dabei werden sowohl die Funktionalitäten der Benutzeroberfläche erläutert als auch Hinweise zur Parametrisierung gegeben.

Die Nutzerversion des Programmes ist so konzipiert, dass nach der Digitalisierung der Punkte alle Einstellungen vorgenommen werden müssen, wobei für die einzelnen Parameter Standardwerte voreingestellt sind. Durch Betätigung des Buttons „Berechnen“ werden alle Berechnungen entsprechend den Parametern durchgeführt, das Krümmungsbild dargestellt und die Trassenpunkte im Lageplan gezeichnet. Nun können im Dialogfenster Änderungen der Parameter auf Grundlage der im Studium des Krümmungsbilds und des Lageplans erworbenen Erkenntnisse vorgenommen werden. Durch erneute Betätigung des Buttons „Berechnen“ werden die Berechnungen erneut durchgeführt und Krümmungsbild und Lageplan aktualisiert.

### 2.1 Digitalisierung der Trassenpunkte

Der erste Programmbereich beschäftigt sich mit der Erhebung der Achspunkte, die die Grundlage der Berechnungen bilden. Hier kann zwischen zwei Varianten gewählt werden. Hat man bereits Trassenpunkte in einem Vektorlayer digitalisiert, so kann man diesen Layer in einem Dropdownmenü wählen. Das Dropdownmenü listet alle im Projekt gespeicherten Layer auf, es ist jedoch darauf zu achten, dass der Layer Punktgeometrien enthält. Des Weiteren muss die Reihenfolge der Punkte innerhalb des Layers der Reihenfolge der Punkte innerhalb der Trasse entsprechen, damit sinnvolle Ergebnisse erzielt werden können.

Möchte man die Punkte zur Laufzeit des Plugins digitalisieren, so kann dies in der Auswahlmöglichkeit „Achspunkte digitalisieren“ gewählt werden. Durch Betätigung des Buttons „Digitalisierung starten“ wird ein temporärer Layer `'Digitalisierung'` erstellt und der Bearbeitungsmodus für diesen Layer gestartet. Nun können im Kartenfenster mit der Maus Trassenpunkte digitalisiert werden. Hierfür macht es Sinn, ein georeferenziertes Orthofoto mit analog eingezeichneter Freihandlinie zu hinterlegen und auf diese im Rasterformat des Orthofotos vorliegende Linie Trassenpunkte zu digitalisieren. Auch hierbei ist auf die Reihenfolge der Punkte zu achten, das Einfügen von Punkten zwischen bereits digitalisierten macht eine saubere Berechnung unmöglich.

Nach Digitalisierung des letzten Trassenpunktes wird der Bearbeitungsmodus durch Betätigung des Buttons „Digitalisierung beenden“ verlassen. Die Punktgeometrien sind nun im Layer Digitalisierung gespeichert und werden als Grundlage für die weitere Berechnung verwendet.

Da eine saubere Digitalisierung für eine sinnvolle Berechnung unerlässlich ist, werden im Kapitel 4 weitere Hinweise zur Digitalisierung gegeben.

### 2.2 Berechnung der Krümmungen

Im Programmbereich „Krümmungen“ kann nun zwischen den verschiedenen Berechnungsvarianten zur Berechnung des Krümmungsbildes gewählt werden.

Voreingestellt erfolgt die Krümmungsberechnung mit der Methode des Sinussatzes (in der Steuerdatei muss bei dieser Art der Berechnung in der entsprechenden Zeile `p` stehen) und einem Glättungsfaktor von neun. Dieser Glättungsfaktor sollte je nach der Dichte der Digitalisierung und der Größe der zu ermittelnden Radien variiert werden.

Der Glättungsfaktor neun bedeutet, dass jeweils der neunte Punkt links und rechts zur Berechnung der lokalen Krümmung des aktuellen Punktes herangezogen wird. Bei einer geringen Punktzahl pro Bogenelement sollte ein geringerer Glättungsfaktor gewählt werden, da durch eine hohe Glättung insbesondere die Randbereiche der Bogenelemente stark geglättet werden, was eine fachgerechte Bestimmung der Geradenparameter im Krümmungsbild erschwert. Aus diesem Grund ist eine enge Digitalisierung im Vergleich zu den Radiengrößen angeraten. Bei der Digitalisierung von bestehenden Straßen aus einem Orthofoto bietet der Abstand der unterbrochenen Fahrbahnmarkierung einen guten Anhaltspunkt. Ist im Krümmungsbild ersichtlich, dass für jedes Bogenelement sehr viele Punkte zur Verfügung stehen, so kann ein durchaus höherer Glättungsfaktor gewählt werden. Hierbei kann es nötig werden, den Prozentsatz der benutzten Punkte je Bogenelement niedriger zu wählen, da dann weniger der geglätteten Randpunkte eines jeden Bogenelements in die Berechnung der Geradenparameter miteinfließen.

Alternativ zur Berechnungsmethode mittels Sinussatzes können die Krümmungen auch über das Richtungswinkelpolygon berechnet werden (in der Steuerdatei muss bei dieser Art der Berechnung in der entsprechenden Zeile ein `t` stehen). Hierbei ist darauf zu achten, dass sowohl die Krümmungen als auch die Richtungswinkel geglättet werden. Dieser Ansatz kann zu geringfügig anderen Ergebnissen führen als die Berechnung mittels Sinussatzes. Die Varianten sind im Einzelfall ergebnisabhängig gegeneinander abzuwägen. In diese Überlegungen sollte stets das Ergebnis im Krümmungsbild und die berechnete Trasse im Lageplan miteinfließen.

Zu beachten ist, dass die Wahl höherer Glättungen auch höhere Extrapolationsbereiche an den Trassenrändern mit sich zieht. Dies fällt vor allem bei geringen Punktdichten ins Gewicht und sollte ebenfalls abgewogen werden.

## 2.3 Berechnung der Geraden im Krümmungsbild

Nach der Berechnung der Krümmungen erfolgt die Ermittlung von Geraden, um die Trassierungselemente automatisch aus dem Krümmungsbild zu extrahieren. Dies basiert auf der Einrechnung von Klothoidengeraden in vorher ermittelte Achsparallelen. Scheiteltklothoiden können somit nicht abgebildet werden.

Der umfangreiche Algorithmus macht eine Vielzahl von Steuerparametern nötig, die im Programmbereich „Ausgleichende Geraden im Krümmungsbild“ eingestellt werden müssen. In Spalte vier sind die voreingestellten Werte aufgelistet, mit denen bei einer Vielzahl von Trassen schon akzeptable Ergebnisse erzielt werden können, die als Startpunkt genutzt werden sollten.

Parameter im Programmbereich „Ausgleichende Geraden im Krümmungsbild“

	Beschreibung im Dialogfenster	Erklärung	Standardwert
1	2	3	4
1	Anzahl der horizontalen $\kappa$ -Bereiche	Das Krümmungsbild wird in horizontale Krümmungsbereiche eingeteilt. In jedem Bereich wird dann nach Punktfolgen gesucht, aus denen Achsparallelen errechnet werden.	15
2	min. Punktzahl für Achsparallelen	In jedem $\kappa$ -Bereich werden Punktmengen verworfen, die weniger Punkte enthalten. Aus den übrigen werden Achsparallelen errechnet.	8
3	Benutzte Punkte je Bogenelement [%]	Aufgrund des Einflusses benachbarter Bogenelemente bei der Glättung der Randbereiche, wird nur der mittlere Prozentsatz der Punktmenge zur Ermittlung der Geradenparameter genutzt, Randpunkte werden ignoriert	80
4	Kreis => Geraden [% des $\kappa$ -Medians]	Prozentsatz des Medians der Absolutwerte aller Krümmungen, unter dem eine Achsparallele zu einer Geraden mit $\kappa$ -Achsenabschnitt = 0 wird. Im Lageplan wird aus einem Kreis mit hohem Radius eine Gerade.	10
5	Neues BE im $\kappa$ -Bereich [Faktor s-Median]	Falls in einem $\kappa$ -Bereich mehrere Achsparallelen an verschiedenen Stationierungen bestimmt werden sollen, wird hier ein Faktor bestimmt, der durch Multiplikation mit dem Median der Punktabstände den Abstand definiert, ab dem im selben $\kappa$ -Bereich eine neue Punktmenge begonnen wird.	20
6	min. Länge Kreis zw. Eiklothoiden [m]	Werden in einem Krümmungsbild Kreisbögen zwischen zwei Klothoidengeraden mit Steigungen unterschiedlichen Vorzeichens ermittelt, die kürzer als die gewählte Länge sind, so werden sie durch eine einzelne Klothoide generalisiert (Unterdrückung kleinteiliger Eilinen).	10

Bei jeder Nutzung des Plugins sollte zunächst ein Ergebnis mit den voreingestellten Werten berechnet werden. Auf der Grundlage dieses Ergebnisses in Lageplan und Krümmungsbild, sollten die Glättungsparameter der Krümmungsberechnung so angepasst werden, dass die Trasse im Lageplan möglichst nah an die Digitalisierung angenähert ist. Danach können die Parameter im Programmbereich „Ausgleichende Geraden im Krümmungsbild“ nach folgenden Gesichtspunkten angepasst werden:

#### 1. Anzahl der horizontalen $\kappa$ -Bereiche

Ist in den Punkten im Krümmungsbild nur eine geringe Streuung erkennbar, so sollten mehr Krümmungsbereiche erzeugt werden, da dann weniger Punkte des Übergangsbereiches zweier Bogenelemente in die Punktmenge einfließen. Nachteil bei vielen  $\kappa$ -Bereichen ist, dass es passieren kann, dass bei großen Streuungen die Punktmenge als Ganzes nicht mehr erkannt wird. Deshalb sollten in diesem Fall weniger  $\kappa$ -Bereiche gewählt werden. Nachteil hierbei ist, dass größere Teile der Übergangsbereiche zu anderen Bogenelementen in die Punktmenge einfließen. Um dies zu beheben, sollte im gleichen Zuge der Prozentsatz der benutzten Punkte je Bogenelement niedriger gewählt werden. Ein weiterer Nachteil bei wenigen Krümmungsbereichen ist, dass Achsparallelen erkannt werden können, wo keine existieren, da nun die minimale Punktzahl schon durch Punkte einer Klothoidengeraden in

einem Krümmungsbereich erreicht werden kann. Hier muss die minimale Länge der Kreisbögen zwischen Klothoidengeraden mit Steigungen gleichen Vorzeichens erhöht werden.

## 2. Minimale Punktzahl für Achsparallelen

Bei der Voreinstellung wird davon ausgegangen, dass mindestens acht Punkte je Achsparallele digitalisiert werden. Bei einer geringeren Punktdichte muss dieser Parameter nach unten angepasst werden. Nun werden auch Achsparallelen mit weniger Punkten detektiert, bei zu wenigen Punkten wird jedoch die Berechnung des Mittelwertes instabil. Auch können nun falsche Achsparallelen detektiert werden, dann müssen mehr Krümmungsbereiche gewählt werden oder die minimale Länge eines Kreisbogens zwischen zwei gleichsinnigen Klothoiden nach oben angepasst werden. Bei einer hohen Punktdichte pro Bogenelement kann der Wert angehoben werden, was zu einer geringeren Falschdetektion von Achsparallelen führt.

## 3. Prozentsatz benutzter Punkte je Bogenelement

Dieser Wert soll die Berechnung der Geradenparameter unabhängig von den Randbereichen zu anderen Geraden machen und sollte bei großen Glättungen und wenigen Krümmungsbereichen niedriger als die voreingestellten 80% gewählt werden. Dadurch fallen die Randbereiche aus der Berechnung. Nachteil hierbei ist, dass weniger Punkte für die Berechnung zur Verfügung stehen. Dies kann insbesondere bei kurzen Klothoidengeraden zu Problemen führen, da wenn hier zu wenige Punkte zur Verfügung stehen, nur symmetrische Wendeklothoiden ermittelt werden. Dies kann von der Realität abweichen. Bei geringen Glättungen kann der Prozentsatz höher gewählt werden, was durch die Verarbeitung von mehr Punkten zu stabileren Ergebnissen führen kann.

## 4. Prozentsatz des Medians der Krümmungen, ab dem ein Kreis zur Geraden wird

Hier sind zwei Fälle zu unterscheiden. Existieren im Krümmungsbild wenige Punkte, die nah an der L-Achse liegen, aber viele, die große Krümmungen besitzen, so führt dies zu einem großen Median der Punktabstände zur L-Achse. Um nun eine Achsparallele mit geringer Krümmung zu einer Achsparallele mit Krümmung null zu wandeln, reicht ein geringer Prozentsatz aus. Sind jedoch die meisten Punkte im Krümmungsbild nah an der L-Achse verortet, so führt dies zu einem kleinen Median und der Prozentsatz muss größer gewählt werden. Wählt man 0%, so bleiben alle Kreisbögen Kreisbögen, wählt man 100% so werden alle Kreisbögen, deren Krümmung kleiner als oder gleich groß wie der Median sind, zu Geraden. In Ausnahmefällen können hier auch größere Werte als 100% gewählt werden.

## 5. Faktor des s-Medians, ab dem eine neue Punktmenge im selben $\kappa$ -Bereich gewählt wird

Stellt man nach dem ersten Durchlauf fest, dass in einem  $\kappa$ -Bereich eine zweite Achsparallele nicht als solche erkannt wird, sondern mit der ersten eine einzige Geraden bildet, so sollte der Wert gesenkt werden. Wird hingegen eine zweite Gerade im selben  $\kappa$ -Bereich erkannt, deren Punkte noch zur vorherigen Achsparallele gehören sollen, so muss der Wert angehoben werden.

## 6. Minimale Länge eines Kreisbogens zwischen zwei Klothoidengeraden mit Steigungen gleichen Vorzeichens

Die hier voreingestellten 10m sind auf kurze Trassen mit geringen Radien ausgelegt, da vor der Generalisierung der Kreisbögen deren Lage oftmals interessant ist. Bei Bundesstraßen und Autobahnen sollte dieser Wert auf eine Größenordnung von circa 100m angehoben werden. Wenn als minimale Anzahl für die Erkennung von Achsparallelen eine geringe Zahl gewählt werden muss oder eine geringe Anzahl von  $\kappa$ -Bereichen gewählt wird, können hiermit unliebsame Eiliniien generalisiert werden, während kurze Kreisbögen innerhalb von Korbbögen erhalten bleiben. Der Wert ist individuell auf die Länge vorhandener Kreisbögen, die generalisiert werden sollen, anzupassen.

Sind die Parameter optimal gewählt, folgt die Trassierung und Ausgabe der Daten.

### 2.4 Trassierung

Im Programmbereich Trassierung kann nun gewählt werden, ob die Beschreibung der Punkte durch das Attribut „Stationierung“ als Kilometrierung oder als Hektometrierung erfolgen soll. Weiterhin kann hier der Punktabstand der Bogenzwischenpunkte unabhängig von den Bogenhauptpunkten bestimmt werden.

Zuletzt kann die Drehstreckung der Bogenelemente deaktiviert werden. Dies ist nützlich, wenn man ungenau ermittelte Bogenelemente bestimmen will. Oftmals schwenkt die Trasse ab einem solchen Element weg. Zu beachten ist, dass nun der Richtungswinkel der Startrichtung identisch ist mit dem Richtungswinkel vom ersten digitalisierten Punkt zum fünften.

Ist man zufrieden mit dem Endergebnis kann das Plugin mit „OK“ verlassen werden. Ergebnis ist das Krümmungsbild mit den eingezeichneten Geraden, die Achsliste, die auf der Python-Konsole ausgegeben wird und die gerechneten Punkte im Lageplan, die im temporären Layer `'Trassenpunkte'` gespeichert sind. Der temporäre Layer `'Digitalisierung'` wird bei ordnungsgemäßigem Verlassen gelöscht.



### 3 Beispielhafte Bearbeitungsvorgehensweise

In diesem Kapitel wird eine beispielhafte Vorgehensweise zur Benutzung des Plugins durch Einladen eines Layers mit digitalisierten Punkten erläutert. Hierbei handelt es sich um keine bereits bestehende Trasse, sondern um eine neu geplante Trasse mit vergleichsweise geringen Radiengrößen. In der Datei `Digi_Volkspark.shp` befinden sich die digitalisierten Punkte.

#### a) Freihandlinie auf ausgedrucktem Orthophoto mit Kurvenlineal entwerfen

Zuerst wird eine Trasse mit einem Kurvenlineal klassisch analog auf dem ausgedruckten Orthophoto mit Stift und Kurvenlineal oder auf einem Touch-Device entworfen. Abbildung 1 zeigt die so entwickelte Freihandlinie. Nun wird das so manipulierte Orthofoto mit dem QGIS-Kernplugin „Georeferencer GDAL“ georeferenziert.



Abbildung 1 – Freihandlinie.

Kartengrundlage: Stadtgebiet Mainz [online], Google Earth © 2020 GeoBasis-DE/BKG (© 2009)

#### b) Digitalisierung der Trassenpunkte

In diesem Beispiel werden die Trassenpunkte bereits vor der Laufzeit des Plugins digitalisiert, sie können jedoch auch durch Nutzung der integrierten Digitalisierungsfunktion digitalisiert werden. Erfolgt die Digitalisierung vor der Laufzeit des Plugins, muss ein Punktlayer erstellt werden, in den dann die Trassenpunkte in ihrer Reihenfolge digitalisiert werden. Das Koordinatenreferenzsystem des Layers kann frei gewählt werden, da eine Umprojektion zu ETRS89/UTM32 im Plugin integriert ist. Wichtig ist eine enge und sorgsame Digitalisierung,

da hierdurch die Grundlage für eine saubere Berechnung gelegt wird. Die Digitalisierung beginnt im Beispiel im Nordwesten.

c) Anwenden des Plugins, Ermitteln der Parameter und Trassierung

Nun wird das Plugin gestartet und im Dropdownmenü der erstellte Layer ausgewählt. Durch Betätigung des Buttons „Berechnen“ wird eine erste Näherung mit den voreingestellten Parametern erzeugt. Abbildung 2 und Abbildung 3 zeigen das Ergebnis dieser ersten Näherung im Krümmungsbild und im Lageplan, wobei die blauen Kreuze die digitalisierten Punkte (Punktabstand circa 1 m) und die roten Linien bzw. Punkte die gerechneten Bogenelemente/Trassenpunkte darstellen. Die gelben Linien stellen die Begrenzungen der horizontalen Krümmungsbereiche dar.



Abbildung 2 – Ergebnis mit voreingestellten Parametern (Lageplan).  
Kartengrundlage: Stadtgebiet Mainz [online], Google Earth © 2020 GeoBasis-DE/BKG (© 2009)

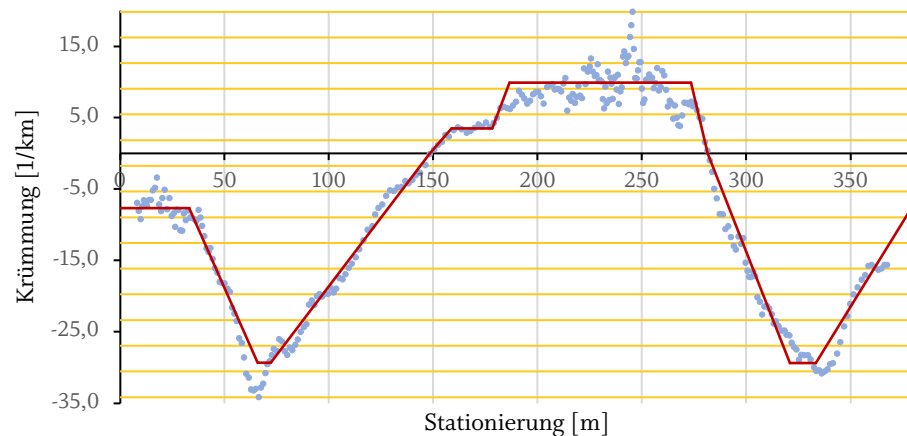


Abbildung 3 – Ergebnis mit voreingestellten Parametern (Krümmungsbild)

Auffällig ist, dass die Trasse im Krümmungsbild recht gut angepasst ist, im Lageplan jedoch noch abweicht. Auch fällt auf, dass die Streuung im Krümmungsbild noch recht hoch ist. Deshalb wird im nächsten Durchlauf der Glättungsfaktor zu 12 erhöht. Damit einher geht eine Erhöhung der Anzahl der Krümmungsbereiche auf 18, um die Randbereiche, die in die Berechnung der einzelnen Bogenelemente einfließen zu minimieren. Optional kann zusätzlich der Prozentsatz der benutzten Punkte je Bogenelement etwas herabgesetzt werden, um diesen Effekt zu verstärken. Da die beiden kurzen Kreisbögen erkannt werden, obwohl sie so kurz sind und im selben Krümmungsbereich liegen, müssen bei der Minimalanzahl an Punkten, ab der eine Achsparallele erkannt wird und beim Faktor, ab dem ein neues Bogenelement im selben  $\kappa$ -Bereich erkannt wird, keine Änderungen vorgenommen werden. Dasselbe gilt für den Parameter, der bestimmt, ab wann ein Kreisbogen zur Geraden wird, da augenscheinlich keine Geraden vorhanden sind. Nach erneutem Durchlauf mit Anpassung der Parameter wird folgendes Ergebnis erzielt:

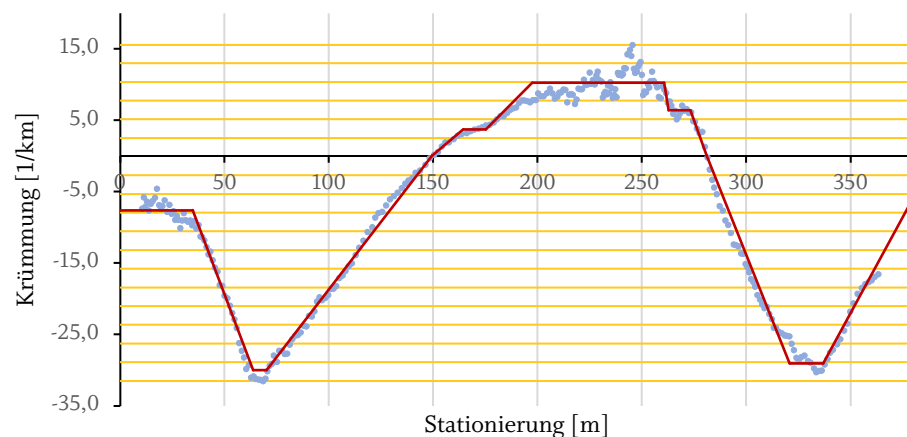


Abbildung 4 – Ergebnis nach erster Anpassung der Parameter

Um nun die beiden Eilinen zwischen den Stationierungen 0+160,00 und 0+260,00 zu generalisieren, wird zuletzt die minimale Länge von Kreisbögen zwischen zwei

Klothoidengeraden mit Steigungen gleichen Vorzeichens auf 20m hochgesetzt. Da die beiden Kreisbögen kürzer sind, fallen sie aus dem Krümmungsbild und werden durch jeweils eine einzige Klothoide ersetzt, die neu eingerechnet wird. Abbildung 5 zeigt das Krümmungsbild des Endergebnisses.

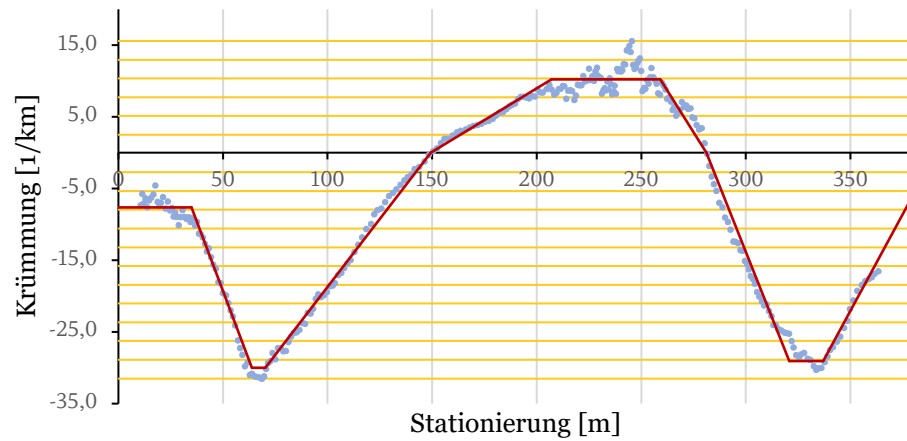


Abbildung 5 – Krümmungsbild des Endergebnisses

Nun kann im letzten Programmbereich die gewünschte Stationierung der Trassierung eingestellt werden und durch erneute Betätigung des Buttons „Berechnung“ können die Ergebnisse aktualisiert werden. Möchte man die Achsliste ausgeben, muss vorher die Python-Konsole geöffnet sein ([Erweiterungen]>[Python-Konsole]). Durch „OK“ kann das Plugin verlassen werden. Das Krümmungsbild kann als JPG gespeichert und die Achsliste in einen Texteditor kopiert werden. Der Temporärlayer ‚Trassenpunkte‘ kann nun in eine dauerhafte Datei gespeichert und die Punkte im Kartenfenster zum Beispiel nach Bogenhaupt und Bogenzwischenpunkten getrennt dargestellt werden oder mit der Stationierung beschriftet werden (in Abbildung 6 sind die Zwischenpunkte im Abstand von 5m schwarz dargestellt, während die Hauptpunkte rot dargestellt sind).





Abbildung 6 – Endergebnis im Lageplan.

Kartengrundlage: Stadtgebiet Mainz [online], Google Earth © 2020 GeoBasis-DE/BKG (© 2009)

## 4 Hinweise zur Digitalisierung

Grundlage eines guten Endergebnisses ist eine saubere Digitalisierung. In diesem Kapitel seien einige Hinweise gegeben, um die Digitalisierung bereits so zu optimieren, dass im Krümmungsbild und im Lageplan durch geringe Glättung gute Ergebnisse erzielt werden können. Weiter werden Funktionalitäten von QGIS beschrieben, die bei der Vorbereitung der Digitalisierung und der Digitalisierung selbst nützlich sind.

### 4.1 Wahl der Punktdichte und Punktlage

Das vorgestellte Softwaretool basiert darauf, im ersten Schritt Achsparallelen im Krümmungsbild zu detektieren. Für jede Achsparallele wird eine bestimmte Anzahl von Punkten in einem Krümmungsbereich benötigt (acht Punkte voreingestellt), um sie als solche erkennen zu können. Um die Parameter stabil berechnen zu können, sind jedoch mehr Punkte wünschenswert. Bedenkt man nun, dass eine Kurve in der Regel aus der Bogenfolge Klothoide – Kreisbogen – Klothoide besteht, erhöht sich die benötigte Punktzahl einer Kurve schnell. Es ist also angeraten für eine stabile Berechnung in Abhängigkeit der Bogenlängen und Radiengrößen enge Punktdichten zu wählen.

Ein gutes Ergebnis kann bei Trassen erzielt werden, bei denen Radien und Bogenlängen aufeinanderfolgender Bogenelemente in einem harmonischen Verhältnis zueinanderstehen (Relationstrassierung). Dies hat den weiteren Vorteil, dass dann eine erhöhte Verkehrssicherheit gegeben ist. Trassen, die aus kurzen Kreisbögen im Wechsel mit langen Geraden bestehen und bei denen auf die Verwendung von Übergangsbögen verzichtet wird, können durch das vorliegende Softwaretool nur schwer abgebildet werden.

Wichtig ist, dass die Trassenpunkte in ihrer richtigen Reihenfolge in der Trasse digitalisiert werden, da sonst keine sinnvolle Berechnung möglich ist.

Weiterhin sollten die Punkte gerade bei hohen Punktdichten möglichst exakt auf der zu ermittelnden Trasse liegen, um stabile Krümmungswerte zu erhalten. Um dies zu erleichtern kann eine bereits analog mit einem Kurvenlineal gezeichnete Freihandlinie hinterlegt werden. Bei der Digitalisierung von bestehenden Straßenzügen ist der Abstand der gestrichelten Straßenmarkierung ein guter Anhaltspunkt für die Punktdichte. Zu einer Verbesserung der Ausgangsdaten kann auch die vermessungstechnische Aufnahme der Achspunkte im Außendienst führen.

Bei sehr langen Trassen mit vielen Kurven kann es sinnvoll sein, die Trasse in mehreren Abschnitten zu berechnen, da sonst insbesondere im Bereich der Trassenmitte bedingt durch die Drehstreckung erhöhte Abweichungen zur Digitalisierung auftreten können.

Die Punkte sollen etwa im gleichen Abstand digitalisiert werden. Dies ist nötig, da die Krümmungsberechnungen und die Berechnung der Glättung mittels gleitenden Mittelwertes symmetrisch zur Anzahl der Punkte berechnet erfolgt, nicht zu deren Abständen entlang der Trasse. Insbesondere bei der Berechnung des gleitenden Mittelwertes macht sich dies bemerkbar. Bei unregelmäßigen Punktabständen sollte die Berechnung der Krümmungen deshalb über den Sinussatz erfolgen. Abbildung 7 zeigt das Krümmungsbild einer mit einer 2m-Stationierung gerechneten Trasse, deren Punkte unregelmäßig ausgedünnt wurden. Die Krümmungen wurden mittels Richtungswinkelpolygon berechnet, wobei die Richtungswinkel nicht und die Krümmungen über 3 Punkte geglättet wurden.

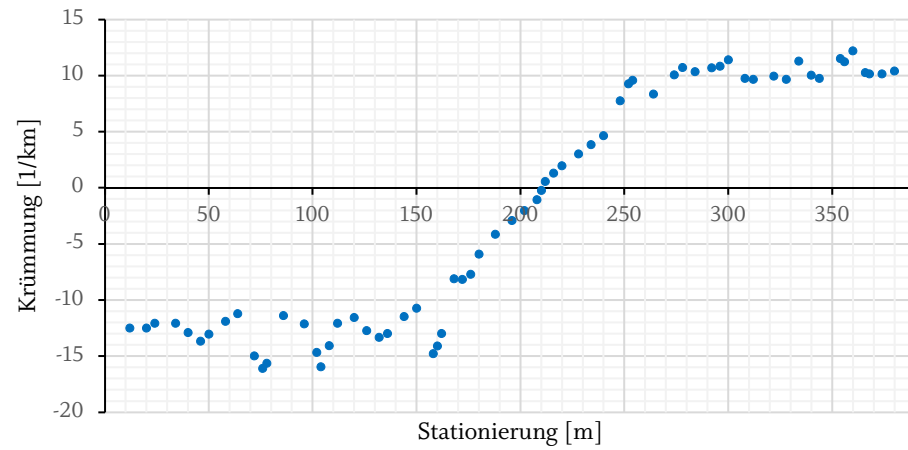


Abbildung 7 – Krümmungsbild der unregelmäßig ausgedünnten, gerechneten Trasse

Auch sollten keine Lücken in der Digitalisierung gelassen werden. Sind Teile der zu digitalisierenden Trasse verdeckt (zum Beispiel durch Schatten oder Tunnel), sollten die einzelnen Abschnitte der Trasse, die durch den verdeckten Bereich getrennt werden, separat berechnet werden.

## Literaturverzeichnis

- Albert, W.** (2019): Ingenieurbau – Straßenbau, WS 2019/20. Vorlesungsmanuskript. Unveröffentlicht. Hochschule Mainz.
- Bernasocchi, M., Möri, C. & Ziegler, S.** (2011): QGIS Plugins mit Python programmieren. Workshopunterlagen. [qgis.ch/de/ressourcen/20110506\\_workshop\\_qgis\\_python\\_stefan\\_cedric\\_marco.pdf](http://qgis.ch/de/ressourcen/20110506_workshop_qgis_python_stefan_cedric_marco.pdf) (Datum des Zugriffs: 16.08.2020)
- Czommer, R.** (2019): Spezielle Methoden der Ausgleichungsrechnung und Statistik – Approximationen, WS 2019/20. Foliensatz. Unveröffentlicht. Hochschule Mainz.
- Czommer, R.** (2019): Vermessung 4 – Trassierung, SS 2019. Foliensatz. Unveröffentlicht. Hochschule Mainz.
- Ernesti, J. & Kaiser, P.** (2012): Python 3, Das umfassende Handbuch, 3. Aufl. Galileo Press Bonn
- Gandhi, U.** (2019): Ein Python Plugin erstellen (QGIS3). [qgistutorials.com/de/docs/3/building\\_a\\_python\\_plugin.html](http://qgistutorials.com/de/docs/3/building_a_python_plugin.html) (Datum des Zugriffs: 16.08.2020)
- Gipper, P.** (2018): Entwicklung von Plug-Ins für QGIS 3 – Eine Einführung. Foliensatz. FOSSGIS Bonn. [geosysnet.de/custom/downloads/Gipper\\_QGIS3Plugins\\_FOSSGIS\\_2018.pdf](http://geosysnet.de/custom/downloads/Gipper_QGIS3Plugins_FOSSGIS_2018.pdf) (Datum des Zugriffs: 16.08.2020)
- Gruber, F. J. & Joeckel, R.** (2017): Formelsammlung für das Vermessungswesen, 18. Aufl. Springer Vieweg Wiesbaden
- Kapusta, P.** (2013): Freehand Editing, Version 0.3.1, QGIS Python Plugins Repository. [plugins.qgis.org/plugins/freehandEditing/](http://plugins.qgis.org/plugins/freehandEditing/) (Datum des Zugriffs: 16.08.2020)
- Kern, F.** (2018): Ausgleichungsrechnung und Statistik, WS 2018/19. Vorlesungsmanuskript. Unveröffentlicht. Hochschule Mainz.
- Möser, M., Müller, G. & Schlemmer, H.** (Hrsg.) (2012): Handbuch Ingenieurgeodäsie, Band Grundlagen, 4. Aufl. Wichmann Berlin.
- Niemeier, W.** (2008): Ausgleichungsrechnung, Statistische Auswertemethoden, 2. Aufl. de Gruyter Berlin
- Oberholzer, G.** (1984): Die landschaftsgerechte Wegeführung, erschienen in: Schriftenreihe des wissenschaftlichen Studiengangs Vermessungswesen der Hochschule der Bundeswehr München, Heft 13 - Landespflege in der Flurbereinigung, München
- Richter, Th.** (2016): Planung von Autobahnen und Landstraßen, Springer Vieweg Wiesbaden
- Sammer, G. et al.** (2008): Verkehrswegeplanung und Umwelt (LV.Nr. 856103) J – Straßenplanung, SS 2008, Vorlesungsmanuskript. Institut für Verkehrswesen. Universität für Bodenkultur. Wien.
- Sherman, G.** (2018): The PyQGIS Programmer's Guide, Extending QGIS with Python 3, Locate Press Chugiak
- Welch, B. L.** (1937): The Significance oft he Difference Between Two Means When the Population Variances are Unequal, Biometrika Oxford



**Witte, B. & Sparla, P.** (2015): Vermessungskunde und Grundlagen der Statistik für das Bauwesen, 8. Aufl. Wichmann Berlin

**Bedienungsanleitungen, Dokumentationen und Software:**

**Card\_1 Hilfe:** Version 9.100, IB&T Software GmbH, Norderstedt, 2018.

**Card\_1:** Webauftritt der Software, IB&T Software GmbH, Norderstedt.  
[card-1.com/startseite](http://card-1.com/startseite) (Datum des Zugriffs: 16.08.2020)

**Google Earth WMS für QGIS (2020):** Google LLC, Mountain View, 2020. Capabilities:  
[mtl.google.com/vt/lyrs=s&x={x}&y={y}&z={z}](http://mtl.google.com/vt/lyrs=s&x={x}&y={y}&z={z}) (Datum des Zugriffs: 16.08.2020)

**iTWO civil Benutzerhandbuch:** RIB Software SE, Stuttgart (Stand 25.02.2019)

**iTWO civil:** Webauftritt der Software, RIB Software SE, Stuttgart.  
[rib-software.com/loesungen/cad-tiefbau](http://rib-software.com/loesungen/cad-tiefbau) (Datum des Zugriffs: 16.08.2020)

**NumPy Manual:** Release v1.19, The SciPy Community, 2020. [numpy.org/doc/stable/index.html](http://numpy.org/doc/stable/index.html) (Datum des Zugriffs: 16.08.2020)

**PyCharm:** Webauftritt der Software, JetBrains s.r.o., Prag.  
[jetbrains.com/de-de/pycharm/](http://jetbrains.com/de-de/pycharm/) (Datum des Zugriffs: 16.08.2020)

**PyQGIS Developer Cookbook:** Release 3.10 – A Coruña, QGIS Project, 2020.  
[docs.qgis.org/3.10/en/docs/pyqgis\\_developer\\_cookbook/index.html](http://docs.qgis.org/3.10/en/docs/pyqgis_developer_cookbook/index.html) (Datum des Zugriffs: 16.08.2020)

**Python:** Webauftritt der Programmiersprache, Python Software Foundation.  
[python.org/](http://python.org/) (Datum des Zugriffs: 16.08.2020)

**QGIS Benutzerhandbuch:** Release 3.10 – A Coruña, QGIS Project, 2020.  
[docs.qgis.org/3.10/de/docs/user\\_manual/index.html](http://docs.qgis.org/3.10/de/docs/user_manual/index.html) (Datum des Zugriffs: 16.08.2020)

**QGIS Python API Documentation:** Release 3.10 - A Coruña, QGIS Project, 2020.  
[qgis.org/pyqgis/3.10/](http://qgis.org/pyqgis/3.10/) (Datum des Zugriffs: 16.08.2020)

**QGIS:** Webauftritt der Software, QGIS Project.  
[qgis.org/de/site/](http://qgis.org/de/site/) (Datum des Zugriffs: 16.08.2020)

**Qt Creator:** Webauftritt der Software, The Qt Company, Helsinki.  
[qt.io/product/development-tools](http://qt.io/product/development-tools) (Datum des Zugriffs: 16.08.2020)

**Qt Documentation:** Release Qt 5.15, The Qt Company Ltd., 2020. [doc.qt.io/qt-5/index.html](http://doc.qt.io/qt-5/index.html)  
(Datum des Zugriffs: 16.08.2020)