

# Methoden zur Transformation von Linear Assets in geografische Koordinatenreferenzsysteme

Martin Heiss

IQSOFT Gesellschaft für Informationstechnologie, Wien · m.heiss@iqsoft.at

Short paper

## Zusammenfassung

Die Österreichischen Bundesbahnen betreiben ein Streckennetz von ca. 4.865 Kilometern. Das knapp 10.000 Kilometer lange Gleisnetz unterliegt einem permanenten Neu- bzw. Ausbau.

Im Auftrag der ÖBB-Infrastruktur AG, Streckenmanagement und Anlagenentwicklung, Stab LCM und Innovationen und des Fachbereichs Bautechnik – Vermessung und Geoinformation werden Möglichkeiten untersucht Instandhaltungskosten zu reduzieren und das Gleisnetz und den Gleisverlauf aktuell zu halten. Nachfolgende Informationen wurden im Rahmen eines dieser Forschungsprojekte gewonnen.

Die geometrischen Informationen eines Gleisverlaufes sowie die Infrastrukturelemente entlang des Gleises werden entlang desselben verortet. Die Gleisgeometrieelemente werden mit deren traditionellen Trassierungsparametern hochgenau relativ beschrieben. Liegen hingegen die Geometrieelemente und – allgemeiner – die am Gleis verorteten Assets in geografischen Koordinaten vor, können darauf aufbauende Fragestellungen, zum Beispiel im Umfeld des Katasters, gelöst werden. Um diese relativen Geometrieelemente absolut zu verorten, benötigt es Identpunkte in beiden Systemen, mit denen Transformationsparameter berechnet werden können. In diesem Beitrag wird eine automatisierte Methode der Identifizierung von Identpunkten, auf Basis von Mastbolzenkoordinaten und der anschließenden Robusten-Helmert-Transformation in geografische Koordinaten, vorgestellt. Dabei beschränkt sich die Methode der Identifizierung auf die ausschließliche Verwendung der Koordinaten und auf den Ausschluss allfälliger Metadaten, die ebenfalls zur Identifizierung in beiden Systemen herangezogen werden könnten.

## 1 Einleitung

Für Strecken und Gleise gibt es unterschiedliche geometrische Repräsentationsebenen, deren Implementierungen aus entsprechenden Anwendungsfällen resultieren und dort den geforderten Genauigkeiten entsprechen.

Auf Streckenebene existiert ein lineares Verortungssystem für verschiedene Kilometrierungssysteme und „Eisenbahn-Adressen“. Die Präzision dieses Systems ist für die Verortung entlang der Strecke geeignet. Die Geometrien liegen als ISO-konforme 2D-Simple-Features in einem Koordinatenreferenzsystem vor. Die Kilometrierung ist an Stützstellen an

die Geometrie gebunden. Dadurch wird es ermöglicht, beliebige Streckenpunkte in ein absolutes Koordinatenreferenzsystem zu transformieren.

Ein in diesem Zusammenhang verwendetes Feature funktioniert analog zum bekannten Geocoding. Eine einfache Abfrage der Kilometrierung bzw. der „Eisenbahn-Adresse“ auf Streckenebene wird durch die Angabe eines Punktes in geografischen Koordinaten ermöglicht. Liegen die Koordinaten nicht exakt auf der Strecke werden zusätzlich die kürzeste räumliche Distanz und die Koordinaten des Lotfußpunktes zurückgegeben. Die umgekehrte Abfrage mit Kilometrierung liefert geografische Koordinaten.

Auf Gleisebene wird mittels Station entlang der Gleisachse verortet. Die Gleisgeometrie-elemente, wie zum Beispiel Kreisbögen, Geraden und Klothoiden, werden durch Radius, Länge und andere Trassierungsparameter hochgenau beschrieben. Aus der Angabe dieser Parameter lassen sich lokale Koordinaten berechnen, einerseits für die Gleisachse und andererseits für die darauf verorteten Assets.

Zur Beantwortung verschiedener räumlicher Fragestellungen und zur Ermöglichung einer Qualitätskontrolle zwischen relativ gemessenen Gleisgeometrieelementen und absolut, durch terrestrische Messung bestimmten Koordinaten, wurde eine Methode entwickelt, die Identpunkte automatisiert festlegt und basierend auf diesen relativen Gleisgeometrieelementen in absolute Koordinatenreferenzsysteme transformiert. Es steht damit für die Darstellung in der GIS-Umgebung eine höhere Genauigkeit zur Verfügung. Darüber hinaus lassen sich die Eigenschaften der Geometrielemente mit anderen technischen Eigenschaften des Gleises korrelieren. Weiters bieten sich vielfältige Möglichkeiten der geospazialen Verschneidung und räumlichen Analyse mit anderen Anlagendokumentationen an. Die Bezugnahme zum Kataster wird ebenfalls ermöglicht.

Grundlage sind präzise verortete Assets entlang der Gleisachse, für die auch absolute Koordinaten bekannt sind. In diesem Anwendungsfall handelt es sich um punktförmige Aufnahmen aus terrestrischen Vermessungen oder anderen Quellen, die zeitlich getrennt zur Bestimmung der Gleisgeometrieelemente entstehen.

Das Ziel ist, automatisiert erzeugte Transformationsparameter, jeweils für räumlich beschränkte Gleisgeometrieabschnitte, die unter anderem die Funktionalität des Geocodings von der Streckenebene auf die Gleisebene erweitern. Die Zuordnung der Identpunkte zur Berechnung der Transformationsparameter soll hinreichend robust erfolgen und in den automatischen Prozess integriert werden.

## **2 Transformation relativer Gleisgeometriepunkte**

Aus der terrestrischen Vermessung stammen in der Regel punktuell hochpräzise Stützpunkte entlang der Gleisachse. Bogenhauptpunkte werden nicht koordinativ vermessen. Diese sind in den meisten Fällen in der Natur nicht ausgezeichnet. Sie sind aber von spezieller Relevanz, um die beschriebenen Fragestellungen zu lösen.

### **2.1 Gemeinsamer Nenner zur Transformation**

Grundlage für eine Transformation der relativ beschriebenen Geometrieelemente in ein absolutes Koordinatenreferenzsystem sind Punkte, die in diesen beiden Systemen bekannt

und eindeutig sind. Für diese Identpunkte werden die Transformationsparameter berechnet, auf deren Basis alle weiteren Objekte in das absolute System übergeführt werden können.

Gleisvermarkungspunkte, üblicherweise als Bolzen an Fahrleitungsmasten ausgeführt, dienen bei der laufenden Messung der Gleisgeometrie als Referenzpunkte und werden auch bei einer terrestrischen Messung aufgenommen. Sie bilden dadurch den gemeinsamen Nenner der Transformation.

Zur Verwendung der Mastbolzenpunkte als Identpunkte ist es notwendig, dieselben Punkte in beiden Systemen zu identifizieren. Die Metadaten, die den absoluten Koordinaten anhängen, werden z. B. wegen Mehrdeutigkeiten nicht verwendet.

## **2.2 Ansatz zur automatisierten Zuordnung**

Der zu entwickelnde Algorithmus soll ohne teure manuelle Abgleich- und Zuordnungsarbeit auskommen. Ohne Verwendung der Mastbezeichnungen bleiben für eine automatisierte Zuordnung nur die absoluten Koordinaten als Ansatzpunkt.

Eine Identifikationsmethode basiert auf dem Vergleich bzw. der Korrelation der Abstände der Masten, im linearen Verortungssystem des Gleises mit jenen des kartesischen Koordinatensystems der absolut gemessenen Masten.

Die Positionen der Masten variieren entlang der Strecke, da diese nicht mit exakt den gleichen Abständen gesetzt werden. Diese Abstände verringern sich in der Regel vor allem in kurvigeren Abschnitten. Je größer die Abfolgen dieser Abstände, desto wahrscheinlicher sind diese eindeutig einer Strecke zuzuordnen und können somit zur Identifikation herangezogen werden.

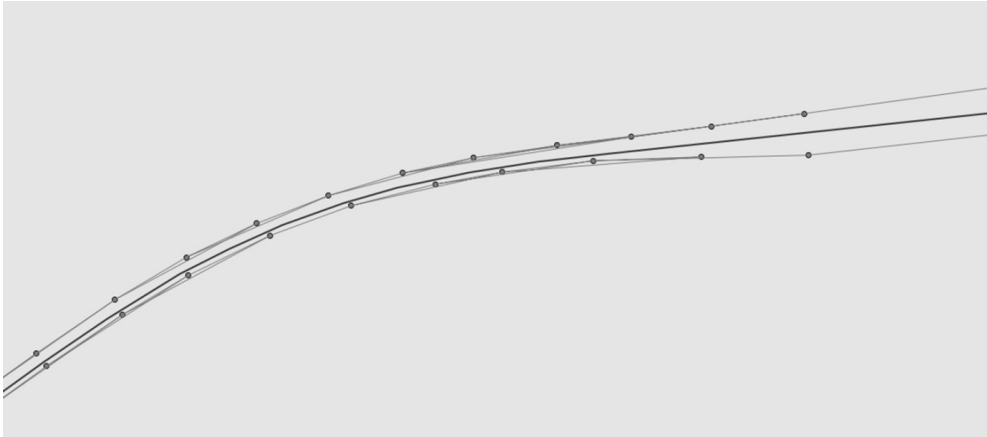
Voraussetzung zur Anwendung sind also hinreichend große zusammenhängende Mastfolgen, die jeweils nur für höchstens eine Position denselben Korrelationswert liefern, sowie eine vergleichbare Sortierung der absolut gemessenen Mastbolzen. Daher ist die Sortierung nach Gleis und Stationierung notwendig, wobei ohne Metadaten auf eine heuristische Sortierung, der absoluten Koordinaten, zurückgegriffen werden muss.

## **3 Automatisierte Zuordnung der Mastbolzenkoordinaten zur Verwendung als Identpunkte**

Die Sortierung der Mastbolzenkoordinaten im Raum, ohne auf verwertbare Metadaten wie Punktbezeichner zuzugreifen, ist nicht deterministisch. Für diesen Anwendungsfall ist aber eine Sortierung möglichst nach dem Verlauf des Gleises und den darauf verorteten Assets notwendig. Eine Interims-Geometrie der Strecke, verfügbar als Polylinie, wird neben der Angabe einer durchschnittlichen Mastdistanz im Suchbereich für die Verbesserung des Sortierergebnisses verwendet.

Bei mehrgleisigen Strecken sollen die Masten für jedes Gleis separat sortiert werden. Dies ist als zusätzliches Kriterium zum Mastabstand zu berücksichtigen.

Realisiert wird die Sortierung durch die Verwendung eines A\*-Such-Algorithmus (siehe ORACLE, 2014) mit entsprechender Gewichtung der Verbindungen nach den Kriterien: Mastabstand und Richtungsabweichung (vgl. Abb. 1).



**Abb. 1:** Gewichtete Verbindungen (dünn) von unsortierten Mastpunkten unter Zuhilfenahme einer Hilfsgeometrie (dick), an einer mehrgleisigen Strecke

Durch Berechnung des kürzesten Weges (Shortest-Path) über die gewichteten Verbindungen, wird die wahrscheinlichste Sortierung der Punkte analog zur linearen Verortung entlang des Gleises retourniert.

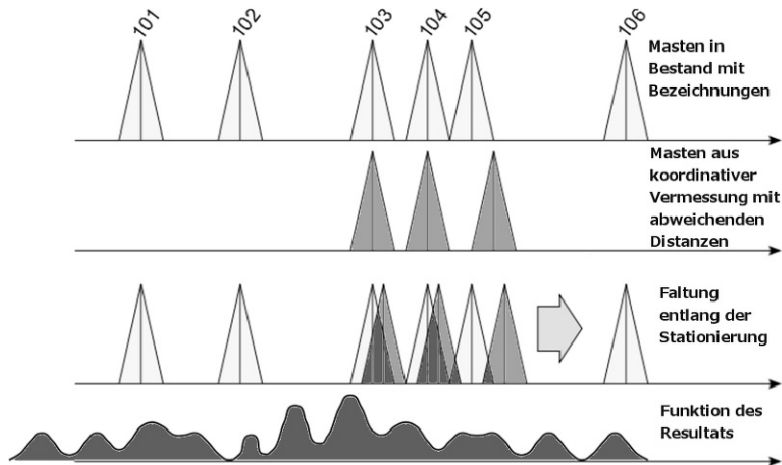
Aus dieser Sortierung gehen die Abstände der Mastfolgen hervor, die für die Identifizierung herangezogen werden.

## 4 Korrelation mittels Faltung

Die berechneten Mastabstände entlang der Stationierungen werden für die Berechnung der Korrelationswerte herangezogen. Durch Eingrenzung der Bereiche auf Basis des Strecken-Geocoding-Services wird die Ausführungszeit reduziert.

Die Korrelationswerte werden mittels diskreter Faltung berechnet. Dabei fließt ein durchschnittlicher Lagefehler in die Berechnung ein, der die Differenz in der Distanz aus den beiden Systemen berücksichtigt. Bis zu einem bestimmten Grad stellen fehlende oder überzählige Masten kein Problem dar. Für den automatisierten Ablauf ist dies wesentlich.

Das Maximum aus der Faltung ergibt die Position mit der höchsten Korrelation und damit, mit höchster Wahrscheinlichkeit, die Bezeichnungen derselben Masten im System der relativen Verortung (vgl. Abb. 2).



**Abb. 2:** Skizze der Faltung euklidischer Mastdistanzen über die Mastdistanzen aus Stationierungsdifferenzen des Suchbereiches (mit Bezeichnern). Die laufende Summe wird in der letzten Zeile dargestellt. Der höchste Wert zeigt auf die wahrscheinlichste Position.

Für alle gerechneten Bereiche werden die Ergebnisse aus der Faltung vorgehalten, sodass in weiteren Iterationsschritten, die die Berechnung der Transformationsparameter mit einschließen, die Ergebnisse verbessert werden können.

## 5 Berechnung der Transformationsparameter

Berechnet werden die Parameter einer 2D-Ähnlichkeitstransformation (siehe KAHMEN 2006). Es gilt die Annahme, dass der Maßstabsfaktor für beide Koordinatenachsen ident ist.

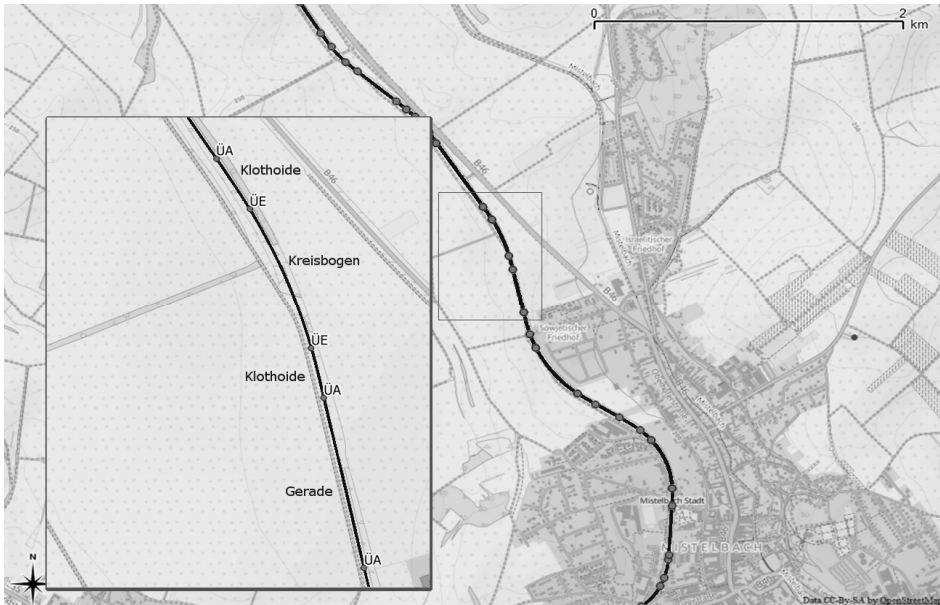
Da anzunehmen ist, dass sich einzelne Masten signifikant in ihrer Lage geändert haben können, wird ein robustes Schätzverfahren für die Helmert-Transformation (nach CASPARY & BEINEKE 2003) angewendet. Ein weiterer Grund für die Wahl dieses Verfahrens ist die Möglichkeit, fehlerhaft zugeordnete Identpunkte zu erkennen und in einem weiteren Iterationsschritt aus den Berechnungen auszuschließen.

In der Anwendung wird derzeit von einer Mindestanzahl von fünf bis sechs Masten erfolgreich identifizierten Masten ausgegangen, mit denen die Transformationsparameter bestimmt werden. Daraus ableitbaren Punktlagefehler sind als Bewertungskriterium verwendbar.

Bei zu großen Mastfeldern erfolgt eine Teilung, und die Berechnung der Transformationsparameter für die Teilbereiche wird durchgeführt.

## 6 Ergebnis

Als Beispiel für das Ergebnis aus der Transformation wird ein Gleisabschnitt im Bereich Mistelbach in Abbildung 3 dargestellt. Die Bogenhauptpunkte (z. B. Anfangs- und Endpunkte der Übergangsbögen) wurden dabei in die Kartenansicht eines GIS integriert. Der Gleisverlauf besteht aus den diskretisierten Gleisgeometrieelementen, die anhand der umgebenden Masten in das absolute System transformiert wurden.



**Abb. 3:** Ausschnitt eines transformierten Gleisgeometriebereiches inklusive Bogenhauptpunkte im Bereich Mistelbach. Unterlegt ist eine Darstellung der OpenStreetMap.

## Literatur

- CASPARY, W. & BEINEKE, D. (2003), Robuste Helmert-Transformation. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, 7/2003.
- ISO 19125-1:2004 (2013), Geographic information – Simple feature access.
- KAHMEN, H. (2006), Angewandte Geodäsie, Vermessungskunde. Walter de Gruyter, Berlin.
- ORACLE SPATIAL AND GRAPH TOPOLOGY DATA MODEL AND NETWORK DATA MODEL GRAPH DEVELOPER'S GUIDE, 12C RELEASE 1 (2014), [www.oracle.com](http://www.oracle.com).