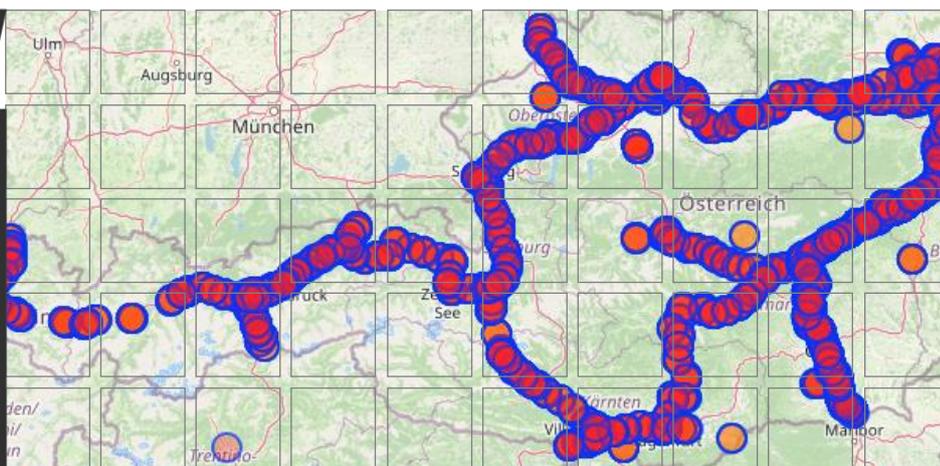


EBW



GIS als Applikation zur Darstellung und Dokumentation von Zustandsdaten des Eisenbahnfahrweges

Masterarbeit

Abgabedatum 20.07.2021

Franz Wechtitsch

BSc

01031925

franz.wechtitsch@student.tugraz.at

Betreuer:

Stefan Marschnig

Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn.

stefan.marschnig@tugraz.at

Michael Fellinger

Dipl.-Ing. Dr.techn. BSc Ing.

michael.fellinger@tugraz.at





Franz Wechtitsch, BSc

GIS als Applikation zur Darstellung und Dokumentation von Zustandsdaten des Eisenbahnfahrweges

MASTERARBEIT

Zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Bauingenieurwissenschaften - Infrastruktur

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Assoc.Prof. Dipl.-Ing Dr.techn Stefan Marschnig

Dipl.-Ing. Dr.techn. Michael Fellingner, BSc

Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft

Graz, 20.07.2021

Danksagung

Ein herzliches Dankeschön an alle, die mich während meines Studiums und beim Verfassen dieser Arbeit unterstützt haben.

Besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mir durch ihren Fleiß während ihres Lebensweges dieses Studium überhaupt erst ermöglicht haben.

Außerdem bedanke ich mich bei meinen Betreuern Herrn Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Stefan Marschnig und Herrn Dipl-Ing. Dr.techn. Michael Fellingner, BSc für ihre wertvolle Unterstützung während der gesamten Arbeit.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

Graz, am 20.07.2021

.....

(Unterschrift)

Kurzfassung

Zur besseren Darstellung und Übersicht sollen Zustandsdaten von Eisenbahnfahrwegen, in diesem Fall wird die Südbahn vom Hauptbahnhof Wien über den Semmering bis nach Spielfeld betrachtet, in eine geografische Informationssystem (GIS) überführt werden. Mittels dieser Applikation können die Zustandsdaten dargestellt und teilweise automatisiert ausgewertet werden. Dabei soll eine farbliche Kodierung den Zustand der Streckenabschnitte visualisieren. Außerdem sind damit ebenfalls eine Vielzahl anderer Auswertungen möglich, welche teilweise in dieser Arbeit aufgezeigt werden.

Als Datengrundlage dienen einerseits Messdaten, sowie Statusdaten wie Oberbaukennwerte und Gleisalter, die von den Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) bereitgestellt werden und andererseits die frei zugänglichen Daten der Webseite Openstreetmaps (OSM). Die Daten der ÖBB werden mittels eines Messwagens, welcher die Eisenbahnstrecken Österreichs in bestimmten Intervallen befährt und dabei kleinste Abweichungen registrieren kann, aufgenommen. Die von OSM bereitgestellten Daten weisen Koordinaten der Eisenbahnstrecken sowie zahlreiche zusätzliche Attribute der Strecke aus, welche einem vergleichsweise hohen qualitativen Standard entsprechen. In weiterer Folge werden die Daten aufbereitet um zwischen ihnen Kompatibilität zu gewährleisten, womit diese miteinander verknüpft werden können. Die Daten werden in eine GIS Applikation eingebettet und können auf diese Weise in einer digitalen Karte dargestellt werden.

Abstract

For a better presentation and overview, condition data of railroad tracks, in this case the southern railroad line from Vienna central station via Semmering to Spielberg, are to be transferred into a geographic information system (GIS). By means of this application, the condition data can be displayed and partially evaluated automatically. Colour coding is used to visualize the condition of the sections of railway line. In addition, a multitude of other evaluations are possible, which are partially shown in this work.

The data basis is on the one hand measurement data, as well as status data such as superstructure characteristics and track age, which are provided by the Austrian Federal Railways (OeBB) and on the other hand the freely accessible data of the website Openstreetmaps (OSM). The data of the OeBB are recorded by means of a measurement vehicle that travels along Austria's railway tracks at certain intervals and can register even the smallest deviations. The data provided by OSM includes coordinates of the railway lines as well as numerous additional attributes of the line, which correspond to a comparatively high qualitative standard. Subsequently, the data is processed to ensure compatibility between them so that they can be linked together. The data is embedded in a GIS application and can thus be displayed in a digital map.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	3
Eidesstattliche Erklärung	4
Kurzfassung	5
Abstract	6
Inhaltsverzeichnis	7
Allgemeine Hinweise	9
1 Einleitung	10
1.1 Projektbeschreibung.....	11
1.2 Zielsetzung	12
1.3 Gliederung	14
2 Grundlagen	16
2.1 OpenStreetMap	16
2.1.1 Die Entstehung und Konzeption der OpenStreetMap	17
2.1.2 Die Qualität und Quantität der verarbeiteten Daten	19
2.1.3 Funktionsweise von OpenStreetMap.....	20
2.1.4 Verwertbarkeit der OpenStreetMap Daten	21
2.2 Messwagen der ÖBB.....	22
2.2.1 Messwägen im Einsatz	22
2.2.2 Datenerfassung.....	23
2.2.3 Messsystem.....	23
2.3 Technische Grundlagen.....	28
2.3.1 Geographische Koordinaten	28
2.3.2 Geoinformation - Datenformate.....	30
2.3.2.1 .osm – Format	30
2.3.2.2 .kml - Format	30
2.3.2.3 .gpx - Format	31
2.3.3 Softwarelösungen.....	31
2.3.3.1 Overpass API.....	31
2.3.3.2 Merkaartor	33
2.3.3.3 Arcmap	33
2.3.3.4 Shapefile.....	33
2.3.3.5 Python	34
2.3.3.6 Web basierte Datenkonvertierung	34
3 Eingangsdaten.....	35
3.1 Südbahn - OSM basierte Daten.....	35
3.1.1 Overpass Turbo.....	36
3.1.2 Nachbearbeitung der Datensätze aus Overpass API	39
3.1.3 Sortierung der Knoten nach Nachbar	41
3.1.4 Konvertierung XML basierte Daten in CSV/XLS basierte Daten	43
3.1.5 Verknüpfung GPS-Koordinaten mit verlorenen Attributen	44
3.1.6 Erste Validierung und Nachbearbeitung der OSM Daten auf CSV/XLS Basis.....	44
3.2 Datenstruktur Messwagen und ÖBB	46
3.2.1 Messwagen - Daten der Südbahn	47
3.3 Ermittlung der Streckenlänge der OSM Daten.....	47
3.3.1 Summenlinienverfahren	48
4 Darstellung der Daten in Arcmap	50

4.1	Vereinigung der OSM Daten mit den Messwagen Daten	50
4.1.1	Homogenisieren der OSM Daten	50
4.1.2	Algorithmus zur Homogenisierung der Abstände	51
4.1.3	Validierung	54
4.1.4	Kalibrierung	56
4.2	Aufbereiten der Daten für Arcmap	58
4.3	Import und Darstellung als Shape-Datei	59
5	Verarbeitung der Daten – Ergebnisse	61
5.1	Visualisierungen	61
5.1.1	Schwellen	61
5.1.2	Gleisstopfmaschine	63
5.1.3	Krümmung und Höchstgeschwindigkeit	65
5.2	Möglichkeiten	66
5.3	Grenzen	67
6	Zusammenfassung und Ausblick	68
	Literaturverzeichnis	71
	Abbildungsverzeichnis	74
	Tabellenverzeichnis	76
	Codeverzeichnis	77

Allgemeine Hinweise

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in dieser Masterarbeit die männliche Sprachform bei personenbezogenen Inhalten verwendet und gilt für beide Geschlechter gleichermaßen.

Abkürzungen

GIS	Geografisches Informationssystem
OSM	OpenStreetMap
ÖBB	Österreichische Bundesbahnen
KML	Keyhole Markup Language
GPS	Global Positioning System
GPX	GPS Exchange Format
CSV	Comma-separated values
XLS	Excel Spreadsheets
Vzg	Verzeichnis der örtlich zulässigen Geschwindigkeiten

1 Einleitung

Schon vor hunderten von Jahren wurden die ersten schienengebunden Fahrzeuge im Bergbau eingesetzt. Als der Nutzen für eine breite Mehrheit der potentiellen Investoren ersichtlich wurde und die Wissenschaft samt den damit einhergehenden technischen Möglichkeiten rasant voranschritten, wurde der Bau von Eisenbahnen weltweit immer weiter vorangetrieben. Das Verkehrsmittel Zug war für damalige Verhältnisse ohne Konkurrenz das schnellste und sicherste Verkehrssystem, das überdies die Möglichkeit entsprechend große Mengen an Gütern von einem Ort zum nächsten zu schaffen, mit sich brachte. Die Eisenbahn leitete damit das Industriezeitalter ein – größere Entfernungen zwischen der Rohstoffentnahmestelle und dem Werk wurden modern. [1]

Bis zum heutigen Tage hat die Existenz der Eisenbahn seine Berechtigung. Mittlerweile wurde sie in Europa größtenteils elektrifiziert. Die nunmehr technischen Möglichkeiten erlauben es, die Kapazitäten und Reisegeschwindigkeiten des Eisenbahnsektors auf ein nie dagewesenes Niveau zu steigern. Damit gewinnen die teilweise stagnierten Strukturen und Wegenetze wieder an Bedeutung. Infolgedessen wird die Infrastruktur für Hochgeschwindigkeitszüge in weiten Teilen der Welt umgesetzt und ausgebaut. Der Eisenbahnsektor erlangt damit wieder einen Aufschwung. Auf diese Weise können Mittelstrecken, die für einen Flug zu kurz, jedoch für das Pendeln mit einem Kraftfahrzeug zu weit sind, in gewissen Regionen bereits mit einem Hochgeschwindigkeitszug überbrückt werden. Die Reisezeit, die Menschen für die tägliche Fahrt zur Arbeit in Kauf nehmen, ist seit hunderten von Jahren annähernd gleichbleibend. Durch höhere Reisegeschwindigkeiten und aufgrund der damit einhergehenden kürzeren Reisezeiten können so zusätzliche Regionen um ein Ballungszentrum und damit beispielsweise mehr Arbeitnehmer in weiter entfernten Orten lukriert werden. [2]

Um mit hohen Geschwindigkeiten sicher reisen zu können, muss eine einwandfreie Infrastruktur (in diesem Falle sei explizit der Eisenbahnfahrweg erwähnt) vorausgesetzt werden. Um dies zu gewährleisten, ist eine regelmäßige Kontrolle, Wartung und Instandsetzung der Infrastruktur in einem wirtschaftlich verhältnismäßigen Rahmen notwendig. Unplanmäßige Instandhaltungsarbeiten, oder gar akute Versagen der Eisenbahninfrastruktur, können einerseits um ein vielfaches teurer sein als planmäßige Arbeiten an der Infrastruktur und könnten andererseits zu

enormen Problemen in der Logistik von Betreibern oder Betrieben führen, welche sich auf dieses Verkehrssystem verlassen.

1.1 Projektbeschreibung

Da alle Verkehrsmittel gewissen ökonomischen Gesetzen unterliegen, muss, um für die Gesellschaft überhaupt relevant zu sein, auch die Infrastruktur der Bahn, im Speziellen die Gleise, mit einem Minimum an finanziellen Aufwänden auf einem betriebssicheren und nach Möglichkeiten uneinschränkenden Niveau gehalten werden. Dabei spielt die frühzeitige Erkennung von Fehlstellen im Gleis, beziehungsweise vorbeugende Maßnahmen eine entscheidende Rolle. Da eine Begehung, Vermessung und Dokumentation von tausenden Kilometern Strecken einerseits einen enormen Aufwand bedeuten würde und andererseits aufgrund der für diese Arbeiten notwendige Dauer nicht im Sinne einer Früherkennung sein kann und damit nicht dem ökonomischen Prinzip entspricht, werden diese Daten soweit möglich automatisiert erhoben und digital zur Verfügung gestellt. Das Einbaujahr von Schwellen und Schienen kann zwar als möglicher Indikator für notwendige Wartungsarbeiten betrachtet werden, ist jedoch meist von nachrangiger Bedeutung. Eine Summe an Parametern haben Einfluss auf den Zustand eines Streckenabschnittes, so kann ein in Bezug auf das Baujahr älterer Abschnitt einer Strecke einen guten Zustand aufweisen und damit kein Einschreiten erfordern, wohingegen jüngere Streckenabschnitte aufgrund verschiedener Gegebenheiten (Untergrund, Belastung, Schwellentyp, Qualität, Verschleiß etc.) eine Instandsetzung benötigen. Damit ist das Einbaujahr alleine von peripherer Bedeutung.

Zur Ermittlung der Zustandsdaten von Eisenbahnstrecken in Österreich werden von den ÖBB verschiedene schienengebundene Messwägen eingesetzt. Diese werden in einem vorgegebenen Intervall (meist zwei- bis viermal pro Jahr) auf einer Strecke eingesetzt, womit stets aktuelle Zustandsdaten zur Verfügung stehen. Der Messwagen ist mit empfindlichen Messeinrichtungen ausgestattet, welche kleinste Abweichungen vom Idealzustand in Zahlen darstellt. Ist die Abweichung groß, scheint es bei diesem Abschnitt ein Problem zu geben, welches in weiterer Folge eine Besichtigung und eventuell notwendige Konsequenzen nach sich zieht. Die gemessenen Daten werden in einer Datenbank abgelegt. Für die Querschnittsbe-

1. Einleitung

trachtung des Gleises werden die gemessenen Daten in fünf Meter Segmente aufgeteilt und in einem Graph dargestellt. Die Datenbank besteht somit aus tausenden Einträgen, die jeweils einen fünf Meter Abschnitt der befahrenen Strecke repräsentieren. Zur besseren Übersicht und Verwertung der Daten zu Visualisierungszwecken sollen diese Zustandsdaten mit einer Georeferenz ausgestattet werden. Ohne die Georeferenz beschreiben die Messdaten nur eine Linie, die pro fünf Meter einen Zustand ausweist. Als Georeferenz werden die öffentlich zugänglichen Datenbanken der OSM genutzt. Für die Verknüpfung und Synchronisation der Datensätze von OSM mit denen der ÖBB, ist im Vorfeld ein umfangreiches Aufbereiten der Daten notwendig, welches im Zuge dieser Arbeit erläutert wird.

Nach erfolgreicher Verknüpfung der Datensätze hat nun jeder Messeintrag eine entsprechende GPS-Koordinate, sowie umfangreiche Informationen wie Einbaujahr, Schwellentyp, Krümmung, Schienengüte, zulässige Geschwindigkeit etc. sowie weiterführende ortsabhängige Informationen, wie z.B. Kunstbauwerke oder Weichen. Nach Implementierung in die Geoinformationssoftware „Arcmap“ von ESRI, wird eine 2D Karte dieser Daten generiert. Nun können weiterführende Applikationen auf GIS-Basis erstellt werden, wie beispielsweise eine farblich kodierte Auswertung der Zustandsdaten, Visualisierung aller Holzschwellen auf einer Strecke oder Darstellung aller Streckenabschnitte, die vor dem Jahr 2000 gebaut wurden. Außerdem soll der Einfluss einer Stopfmaschine für einen konkreten Abschnitt betrachtet und in geeigneter Form dargestellt werden. Auf diesen Grundlagen können mit verschiedensten Auswertungen Notwendigkeiten für die Entscheidungsträger auf verständliche Weise dargelegt werden.

1.2 Zielsetzung

Die Qualität der Daten und deren Visualisierung sollen in dieser Arbeit eine vorrangige Rolle spielen. Dabei ist eine penible Extraktion der Datensätze aus den OSM sowie die anschließende Aufbereitung der Daten und in weiterer Folge Adaption der selben unbedingt erforderlich, um eine gemeinsame Basis für alle relevanten Daten zu schaffen. Erst wenn alle notwendigen Eingangsdaten untereinander kompatibel sind, ist eine weitere Betrachtung und Verarbeitung für die nächsten Schritte möglich.

Da die OSM Datensätze über eine browserbasierte und filtergesteuerte Anwendung aus der digitalen Karte über eine SQL-Abfrage abgegriffen werden, werden die ausgelesenen Daten in willkürlicher Reihenfolge in eine „Keyhole Markup Language“ (KML) Datei geschrieben. Diese Datei beinhaltet Geoinformationen sowie weitere Attribute (Typ, Abhängigkeiten, Zugehörigkeiten, Betreiber etc.) für jeden Punkt, welche in Summe eine Strecke eines Eisenbahnweges ergeben. Für die Darstellung dieser Punkte spielt es keine Rolle in welcher Reihenfolge diese aus dieser Datei zeilenweise ausgelesen werden. Nach Abschluss des Lesevorganges werden letztlich alle Punkte in einer 2D Karte dargestellt. Die ID, mit welcher die Punkte aufsteigend je nach Auslesezeitpunkt vermerkt werden, lässt dann keine Aussage mehr über den Standort zu, da benachbarte Punkte eine gänzlich andere ID, nicht etwa in aufsteigender Reihenfolge, erhalten. Dieser Umstand führt jedoch in der weiteren Betrachtung zu einem Problem in der Synchronisation der Daten, welches im Laufe dieser Arbeit noch näher erläutert wird.

Die Daten des Messwagens sind Eingangsvariable, welche sich bei jeder Messfahrt aufgrund von Messungenauigkeiten und einem gewissen zeitlichen Abstand zu vorherigen Messfahrten ändern. Es ist daher sinnvoll alle anderen Datensätze (OSM), welche sich meist nur geringfügig über mehrere Jahre ändern, dem Standard der Messwagen-Daten zu überführen. Die Datensätze des Messwagens beinhalten unter anderem die Kilometrierung, durch welche die spätere Synchronisation der Daten stattfinden soll. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Kilometrierung über eine Abrollung der Räder des Messwagens auf den Schienen ermittelt wird. Zeitgleich wird zwar ebenso eine GPS Koordinate vom Messwagen aufgenommen, um einen räumlichen Bezug herzustellen, diese sind jedoch für weiterführende Bearbeitungen oft zu ungenau. Genau hier werden die Daten von OSM relevant, da diese Geoinformationen beinhalten, die, wie später erläutert, äußerst genau in Bezug auf die tatsächliche Lage sind. Da die Geoinformationen jedoch nur Punkte in einer 2D Umgebung sind und alle nachfolgenden Punkte einen beinahe willkürlichen beziehungsweise jedenfalls komplexen Regeln folgenden Abstand auf den jeweiligen Nachfolger besitzen, müssen die Abstände zwischen jeweils zwei Punkten homogenisiert werden. Jedes Segment der neuen Abstände muss genau dem Abstand der Messdaten entsprechen, die in diesem Fall fünf Meter betragen sollen. Dabei sind für die Abstände zwischen zwei GPS-Koordinaten Erdkrümmungen zu berücksichtigen, da eine Vernachlässigung einerseits nicht dem geforderten genauen Standard entspräche und andererseits ohnehin enorme Längendifferenzen

1. Einleitung

auf die vom Messwagen abgerollten und der aus den GPS-Koordinaten errechneten Strecke zustande kämen. Da die Berechnung von Abständen zwischen einer von GPS-Koordinaten definierten Strecke über hunderte von Kilometern immer aufgrund eines nicht idealen Systems (die Erde ist keine Kugel, sondern eine komplexe Oberfläche) gewisse Fehler beinhaltet, müssen diese in einem Kalibrierungsvorgang mit einem Delta pro Segment der zerlegten Abstände kompensiert werden. Als Resultat erreicht man auf diese Weise eine Synchronisation beider Datensätze. Durch entsprechende Weiterbearbeitung können diese Daten verknüpft und so in eine GIS-Applikation überführt werden. Mithilfe des Softwareproduktes Arcmap können verschiedene Visualisierungen und Datenbearbeitungen durchgeführt werden, um so eine erleichterte Bedienung, Verwaltung und Darstellung der Zustandsdaten sowie aller anderen vorliegenden Daten zu erhalten.

Es gibt jedoch vereinzelt Abweichungen in Bezug auf die genaue Lage von Einbauteilen wie beispielsweise von Weichen, weswegen ein rein automatisierter Prozess in Bezug auf Wartung noch nicht möglich ist, eine entsprechende Validierung durch einen TechnikerIn ist somit erforderlich. Dennoch können Bereiche eines problematischen Streckenabschnittes auf diese Weise erfasst und Maßnahmen eingeleitet werden. Nicht zuletzt können so auch wirtschaftliche Aspekte in eine positive Richtung gesteuert werden.

Die von den OSM zur Verfügung gestellten Daten haben bereits auch in anderen wissenschaftlichen Abhandlungen Einzug gefunden, was für die Qualität und Verwertbarkeit dieser Datensätze spricht. Inwieweit diese Datengrundlagen verwertet werden können, welche Grenzen gezogen werden müssen und welche Möglichkeiten sich ergeben, soll Teil dieser Arbeit sein. Am Ende der Arbeit werden verschiedene Möglichkeiten zur Auswertung der neu geschaffenen Daten aufgezeigt. [3]

1.3 Gliederung

Diese Arbeit gliedert sich in einen einleitenden Teil mit einem kurzen historischen Einblick und Überleitung zur behandelten Thematik. Außerdem sollen dort die Eckpunkte der Arbeit, sowie deren Problemstellung nähergebracht werden. In weiterer Folge werden die notwendigen Grundlagen zum tieferen Verständnis dieser Arbeit ausgearbeitet. Dabei wird unter anderem auf die Datengrundlagen, mathematische Formeln, Softwareprodukte und Datenformate eingegangen. Im Hauptteil der

Arbeit werden zum einen die notwendigen Schritte zur Umsetzung der zuvor definierten Ziele beschrieben und zum anderen die damit entstehenden Möglichkeiten wie beispielsweise Auswertungen und Visualisierungen aufgezeigt. Auf Basis dieser Erkenntnisse wird ebenso eine ökonomische Betrachtung eingeflochten und die mögliche Entwicklung in der Zukunft thematisiert.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden die Herkunft der Daten sowie deren Entstehung und Entwicklung näher beschrieben. Außerdem werden die für diese Arbeit notwendigen technischen Grundlagen betrachtet, um Aussagen über deren Gültigkeitsbereich und deren Definition treffen zu können

2.1 OpenStreetMap

Die Benutzung von kartographischen Plänen ist längst ein fester Bestandteil unseres alltäglichen Lebens. Sei es zur Navigation einer unbekannteren Fahrtenstrecke mittels Navigationsgerät, oder etwa zur Orientierung in einer fremden Stadt mittels entsprechender Stadtpläne. Die Benutzung von Landkarten ist ein notwendiges Instrument um sich an unbekannteren Orten zurechtzufinden.

Bei der Verwendung von herkömmlichen Landkarten, sowie Navigationsgeräten zur Orientierung können jedoch einige Probleme auftreten. Zum einen ist hier zu erwähnen, dass herkömmliche Landkarten, welche zumeist auf Papier gedruckt sind, in ihrer Handhabung durchaus umständlich sind, zum anderen sind diese meistens nicht auf den aktuellsten Stand gebracht. Das Problem der Aktualität kann sich auch bei der Benutzung von Navigationsgeräten ergeben. Diese sind auch nur dann auf aktuellem Stand, wenn man vor ihrer Benutzung eine entsprechende Aktualisierung vorgenommen hat, sofern eine solche zur Verfügung steht. Natürlich stellen auch eine Vielzahl von Anbietern digitale Karten online zur Verfügung, deren Nutzung jedoch meist nicht freizugänglich und überdies mit Kosten verbunden ist. [4]

Das System der OpenStreetMap nimmt unter den verfügbaren kartographischen Orientierungshilfen eine Sonderstellung ein. Es hat gegenüber bereits existenter Kartensysteme erwähnenswerte Vorteile. Neben der Aktualität der OpenStreetMap ist diese auch benutzerfreundlich, freizugänglich und werbefrei. [4]

2.1.1 Die Entstehung und Konzeption der OpenStreetMap

Gegründet wurde das Projekt OpenStreetMap im Jahre 2004 von dem Informatikstudenten Steve Coast in London. Mittlerweile ist das System der OpenStreetMap das aktuell größte Open-Data-Projekt im Bereich digitaler Geoinformationen, welches weltweit operiert. [5]

Stellt man sich die Frage, warum die Nutzung frei zugänglicher Geodaten in der Gegenwart eine solche Bedeutung erlangt hat, dass die Gründung eines Projektes wie OpenStreetMap daraus entsprang, so kann man an diesem Punkt festhalten, dass dies vor allem an der veränderten Nutzung von digitalen Geodaten in den letzten Jahrzehnten liegt. Wurden diese Daten vormals hauptsächlich von Behörden, Versicherungs- und Bauunternehmen oder etwa zu militärischen Zwecken genutzt, so hat sich der Nutzungsradius digitaler Geodaten in den letzten Jahrzehnten enorm erweitert. Dies liegt vor allem an jenem Umstand, dass die Nutzung dieser digitalen Daten durch günstige Endgeräte, hierbei sind etwa Smartphones und auch Navigationsgeräte zu erwähnen, auch für Privatpersonen an Relevanz gewonnen hat. Doch auch viele Unternehmen unterschiedlichster Branchen, besonders zu erwähnen sind hier alle Unternehmen, die ihren Schwerpunkt in der Logistik von Waren definieren, haben die Nutzung digitaler Ortsangaben in ihre Unternehmensstrategien aufgenommen. [5]

Alle diese neuen Nutzer, welche die Verwendung digitaler Ortsangaben für sich entdeckt haben, sind auf digitales Kartenmaterial angewiesen, welches in seiner Beschaffenheit möglichst genau und aktuell sein sollte. Über eine lange Zeitspanne oblag die Sammlung von Geoinformationen staatlichen Behörden. Die gesammelten Daten wurden hauptsächlich für staatliche Agenden wie zum Beispiel Grundstücksfragen, Ressourcenabbau oder auch militärische Angelegenheiten genutzt. Neben der staatlichen Datenerfassung sind nur zwei privatwirtschaftliche Unternehmen, welche die Erfassung von Geodaten als Unternehmensgegenstand haben zu erwähnen. Neben der Firma TomTom Global Content (Tele Atlas), erreicht nur die US-amerikanische Firma Navteq einen nennenswerten internationalen Marktanteil im Geodatengeschäft. Beide Unternehmen stellen wie bereits erläutert Geodaten für entsprechende Lizenznehmer zur Verfügung. Die wachsende Bedeutung der Gewinnung von aktuellen und hochwertigen Geodaten ist für viele Unternehmen bereits unabdingbar geworden. Dies führte in weiterer Folge dazu, dass ein

Kampf um die Eigentumsanteile dieser beiden monopolartigen Unternehmen entstand, welcher im Jahre 2007 in der Übernahme von Navteq durch das Unternehmen Nokia, sowie der Einverleibung von Tele Atlas durch den Navigationshersteller TomTom endete. Die Nutzung von Geodaten ist jedoch nicht nur für marktführende Unternehmen, wie Nokia oder TomTom, von Relevanz. Auch viele kleinere Unternehmen arbeiten mit der Verarbeitung dieser Daten. [5]

Ist nun ein Abnehmer an der Nutzung von digitalen Geodaten interessiert, so kann dieser bei der Beschaffung eben dieser Daten vor einigen weitreichenden Problemen stehen. Zum einen ist in diesem Zusammenhang zu erwähnen, dass Geodaten wie bereits erläutert nicht kostenlos zur Verfügung gestellt werden. Der Umfang und die geforderte Genauigkeit der gewünschten Daten kann den Preis dieser erheblich beeinflussen. Neben der preislichen Frage stehen viele Abnehmer von Daten, welche sich über einen breiten geographischen Raum erstrecken meist vor dem Problem, dass sie mehrere Anbieter von Geodaten kontaktieren müssen, um die gewünschte geographische Breite an Daten zu bekommen. Hierbei ergibt sich wiederum eine nicht zu unterschätzende Problematik für die Datenabnehmer. Denn meist arbeiten die einzelnen Anbieter von Geodaten weder mit den gleichen Nutzungsrechten, noch mit gleichen Preisschemata. Darüber hinaus stellt sich auch noch die Frage, in welcher Form die Daten an den Abnehmer übermittelt werden sollen. Auch hier arbeiten die verschiedenen Anbieter meist mit unterschiedlichen Methodiken. Überdies ist in diesem Zusammenhang zu erwähnen, dass vor allem für Entwicklungsstaaten keine flächendeckenden Geodaten vorhanden sind, da es schlichtweg keine Behörden gibt, welche entsprechende Aufzeichnungen vornehmen und kommerzielle Gründe meist nicht gegeben sind. Auch werden von gewissen Staaten, wie zum Beispiel China und Russland sowie einigen südamerikanischen Staaten, kaum Geodaten freizugänglich zur Verfügung gestellt. Spezielle Hürden ergeben sich besonders für Privatpersonen, welche oft gar nicht an geographische Rohdaten gelangen können, da diese von den entsprechenden Anbietern nicht für diese angeboten werden. Es lässt sich an diesem Punkt also zusammenfassend festhalten, dass die Erlangung digitaler Geodaten durch herkömmliche Anbieter, für den Abnehmer dieser Daten äußerst komplex, undurchsichtig und teuer sein kann. [5]

Das Projekt OpenStreetMap versucht nun durch sein neuartiges Konzept, viele dieser aufgezeigten Probleme zu beseitigen. Steve Coast der Gründer dieses Projektes stand einst selbst vor der Problematik, für eines seiner Projekte keine geeigneten Geodaten zu finden. Zusammen mit einiger Kommilitonen begann er so selbst mittels GPS eigene Daten aufzunehmen und in einen gemeinsamen Datenbestand einzufügen. Nach der Programmierung einer entsprechenden Software wurde OpenStreetMap im Jahre 2006 zu einer offenen für jedermann frei zugänglichen Plattform für digitale Geodaten. Jeder der sich auf der Seite OpenStreetMap.org registriert und seine gesammelten Daten zur Verfügung stellt, ist Teil des Projekts OpenStreetMap. Die ebenfalls im Jahre 2006 gegründete OpenStreetMap Foundation ist eine non profit Organisation, welche neben der Förderung freizugänglicher Geodaten auch mit dem technischen Betrieb der OpenStreetMap befasst ist. [5]

2.1.2 Die Qualität und Quantität der verarbeiteten Daten

Die Erhebung der in diesem System verwendeten Daten erfolgt hierbei nach dem sogenannten Wiki-Prinzip. Hierbei kann jeder, der sich auf der Projektwebsite der OpenStreetMap registriert, seine eigenen gesammelten Geodaten dem Datensystem der OpenStreetMap beifügen. [5]

Die Datensammlung erfolgt folgendermaßen. Jeder, der Teil des Projektes sein möchte, zeichnet seine zurückgelegten Wegstrecken, welche er bei Autofahrten, Wandertouren, Spaziergängen oder sonstigen Fortbewegungen tätig, mittels GPS Gerät auf. Die sodann am Rechner nachgezeichneten Daten werden mit zusätzlichen Informationen, wie Ortsbezeichnungen und vielen zusätzlichen Parametern versehen und anschließend in die Zentraldatenbank von OpenStreetMap eingespeist. Obwohl dieses Konzept der Datensammlung von einigen Stimmen durchaus kritisch betrachtet wird (die Kritik bezieht sich hierbei vor allem auf die Genauigkeit der aufgezeichneten Daten durch Privatpersonen), konnte durch das Projekt OpenStreetMap bereits Beachtliches erreicht werden. Dabei ist zu erwähnen, dass die Qualität unter der Vielzahl an Stiftern von Geodaten durchaus profitiert. So haben die kartographischen Daten einiger Städte im System der OpenStreetMap bereits eine solche Detailliertheit erlangt, dass die Daten anderer Anbieter wie

etwa Google oder Yahoo diesem Grad an Genauigkeit nicht mehr Rechnung tragen können. [6]

Im Gegensatz zu anderen Open Data Initiativen, welche lediglich den freien Zugang zu Daten von anderen Providern fordern, werden die in OpenStreetMap verwendeten Daten völlig neu erschaffen. OpenStreetMap wird hierdurch selbst zur primären Datenquelle. Mithilfe der Community konnten mittlerweile weite Teile der Erde geografisch erfasst und mit Informationen ausgestattet werden. [6]

Während OpenStreetMap in vielen Gebieten meist ohne vorhandene Geodaten beginnt, wurden in der Vergangenheit jedoch auch von anderen Unternehmen, welche bereits Geodaten zu den entsprechenden Gebieten gesammelt hatten, Daten an OpenStreetMap gestiftet. [6]

Die Arbeitsweise und Funktion von OpenStreetMap lässt sich in vielen Punkten mit Wikipedia vergleichen. So wie auch Wikipedia, gibt OpenStreetMap nicht vor, in welcher Weise die von den Teilnehmern zur Verfügung gestellten Daten zu verarbeiten sind. Jeder Nutzer von OpenStreetMap kann seine Daten in der für ihn am sinnvollsten erscheinenden Form an die Plattform weitergeben. Allerdings lässt sich feststellen, dass sich, wie dies auch bei Wikipedia der Fall ist, eine gewisse Richtlinie zur Einheitlichkeit gebildet hat. In anderen Bereichen hingegen sind sich beide Plattformen wiederum sehr unähnlich. So besteht etwa die Datenbank von OpenStreetMap im Gegensatz zu jener von Wikipedia nicht aus eigenständigen Artikeln, sondern bildet etwas Ganzheitliches. [6]

2.1.3 Funktionsweise von OpenStreetMap

Im Prinzip kann jeder einen Beitrag zur Weiterentwicklung und Vervollständigung des Projektes leisten. Dabei nimmt man seinen eigenen Reiseweg, es spielt dabei keine Rolle ob auf der Straße, mit der Eisenbahn oder im Wasser, mithilfe eines GPS-Trackers auf. Nach Beendigung des Weges werden die Messdaten auf den Computer gespielt. Die Daten müssen entsprechend aufbereitet und ergänzt werden. Mittlerweile gibt es dazu innerhalb der OpenStreetMap Community Leitfäden und Konventionen. Meist werden die Daten erst einer Plausibilitätsprüfung unterzogen. Dies geschieht durch Abfragen mehrerer GPS Punkte in alternativen digitalen Karten, die eine andere Datenquelle als Ursprung besitzen. Es besteht auch die

Möglichkeit vorhandene Karten als Hintergrund-Referenz für die aufgenommene Strecke zu nutzen, um seinen Weg einerseits zu validieren und andererseits um Anhaltspunkte für „Points of Interest“ herauszufinden. Abhängig davon, wie detailliert und zeitaufwendig eine neue Strecke bearbeitet wird, erhält die Community beziehungsweise alle die OpenStreetMap nutzen mehr oder weniger vollständige Einträge eines Kartenabschnittes. Aufgrund des Wiki-Prinzips spielt es jedoch nur eine nachrangige Rolle, ob von Anfang an alle Daten und Informationen zu einem gewissen Kartenabschnitt vorhanden sind, denn andere Mitglieder der Community können die Einträge ergänzen und berichtigen. Das System lebt insofern von einem iterativen Prozess, dessen Ziel in einer umfassenden und aktuellen Datenbank und digitalen Weltkarte liegt.

2.1.4 Verwertbarkeit der OpenStreetMap Daten

Die Struktur der OpenStreetMap Daten ergibt sich im Allgemeinen zu Nodes, Ways und Relations. Diese drei Objekte verbindet eine Hierarchie. Dabei stellen Nodes die unterste Ebene dar. Sie beinhalten Informationen über die geographische Lage und bilden in ihrer Summe Ways. Ways sind dementsprechend mindestens aus zwei Nodes aufgebaut, deren Verbindung eine Linie darstellt. Der Way beinhaltet dabei wesentlich mehr Informationen. Im Prinzip ist eine Strecke in viele Ways segmentiert. Innerhalb eines Ways besitzt die betrachtete Strecke dieselben Informationen. Als Beispiel wird hier die Eisenbahn herangezogen. Entlang eines Ways ist unter anderem eine Höchstgeschwindigkeit für den darauf fahrenden Zug vorgegeben. Ändert sich dann diese Höchstgeschwindigkeit, oder ein beliebiger anderer Parameter, mit Ausnahme der Georeferenz, wird der Way an dem Punkt der Änderung beendet und ein neuer beginnt. Der jeweilige Endpunkt weist dabei einen Node auf, welcher auf diesen verweist. Über die Relation werden wiederum alle Ways zu einer Strecke verknüpft. Die Relations bringen, wie der Name enthüllt, alle Teile einer Strecke in Relation zueinander. Damit weiß nun jedes Objekt in OpenStreetMap, zu welchem übergeordneten Objekt es gehört. Dabei kann die Strecke wiederum in Relation zu beispielsweise einer Stadt, Bezirk, Land oder Kontinent stehen. In Abbildung 1 wird die Struktur schematisch dargestellt. [6]

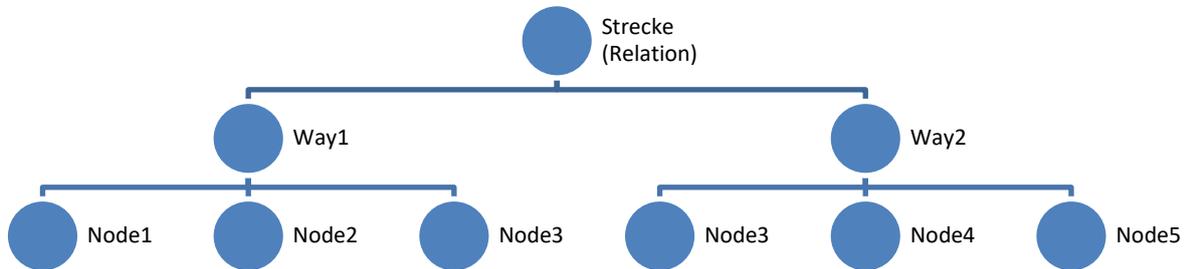


Abbildung 1: Hierarchie der OpenStreetMap Struktur

Für die weitere Betrachtung sind vorrangig die Nodes von essentieller Bedeutung, da dort die Georeferenzen gespeichert sind.

2.2 Messwagen der ÖBB

Um eine nach Möglichkeiten betriebssichere Eisenbahninfrastruktur zu gewährleisten, setzen die ÖBB auf elektrifizierte Messwägen, die alle Strecken Österreichs bis zu viermal jährlich befahren. Auf diese Weise können die ÖBB fortlaufend ihre Bestandsstrecken bewerten und Maßnahmen ab- und einleiten. Neben den dringenden Wartungsarbeiten können mit Hilfe dieser Messdaten mittel- und langfristige Sanierungspläne und Reinvestitionen der Eisenbahnstrecken erarbeitet werden, was den Messwägen letztlich neben der Betriebssicherheit eine umfassende wirtschaftliche Komponente verleiht.

2.2.1 Messwägen im Einsatz

Auf den österreichischen Eisenbahnstrecken wird derzeit der EM250 und der EM160 WZ eingesetzt. Der EM250 kann bei den Messfahrten Geschwindigkeiten

von bis zu 250 Km/h erreichen, während der EM160 WZ mit einer Maximalgeschwindigkeit von 160 Km/h Daten aufnimmt. Prinzipiell nehmen beide Messwägen dieselben Daten auf, wenngleich teilweise andere Messsysteme zum Einsatz kommen. Sie vermessen die Gleis- und Schienenprofile unter Zuhilfenahme von Satellitennavigation in Abständen von wenigen Millimetern bis zu mehreren Metern, je nach zu messenden Parametern.

2.2.2 Datenerfassung

Unter anderem wird bei diesen Messfahrten die Geometrie des Gleisrostes aufgenommen, aus der dann die vertikale Standardabweichung (SIGMA-h) und die Komfortziffer (MDZ-A), welche sich aus Beschleunigungsdifferenzen ergibt, berechnet werden. Durch die fortlaufende Aufnahme über mehrere Jahre, kann so das Qualitätsverhalten, sowie allfällige Verschlechterungen des Gleises für jeden Punkt bestimmt werden. Umgekehrt können auch Verbesserungen am Gleis sichtbar gemacht werden, wenn etwa Instandhaltungen wie zum Beispiel Stopfen der Gleise vorangegangen sind. Die so erlangten Daten wurden in Kooperation mit den ÖBB und der Technischen Universität Graz, mit der Datenbank der Technischen Universität Graz verknüpft. Diese enthält notwendige Randbedingungen wie Krümmung, Längsneigung, Geschwindigkeit und Überhöhung für jeden Punkt. Die einzelnen Punkte haben dabei einen fixen Abstand zueinander. Zwischen zwei Punkten kann keine Aussage getroffen werden. Ist die Kilometrierung entsprechend fein dargestellt ist dieser Umstand vernachlässigbar. Durch diese Koppelung der Daten ist es nun überhaupt erst möglich, genauere Aussagen über das Verhalten des Gleises unter Berücksichtigung der entsprechenden Randbedingungen zu treffen. [7]

2.2.3 Messsystem

Der EM250 nimmt verschiedene Parameter in unterschiedlichen Abständen auf. In Abbildung 2 wird eine Aufnahme der Messeinrichtungen des EM250 vorgestellt. Im Folgenden wird eine Auflistung der Parameter, welche von den ÖBB bekanntgegeben wurden, dargestellt: [8]

5 Millimeter Abstand

- Rauheit der Schienenoberfläche (Riffel, Schlupfwellen...)

0,25 m Abstand

- Spurweite
- Ortsbestimmung mittels korrigierter GPS-Signale (dGPS)
- Längshöhe, Richtung, Verwindung etc.
- Überhöhung, Querhöhe

1,00 m Abstand

- dGPS
- Messung der Schienenquerschnitte (2.000 Messpunkte je Messung)
- Erkennen des Neuprofils und Vergleich zur Messung
- Höhen- und Seitenabnützung

2,00 m Abstand

- Berechnung der äquivalenten Konizität

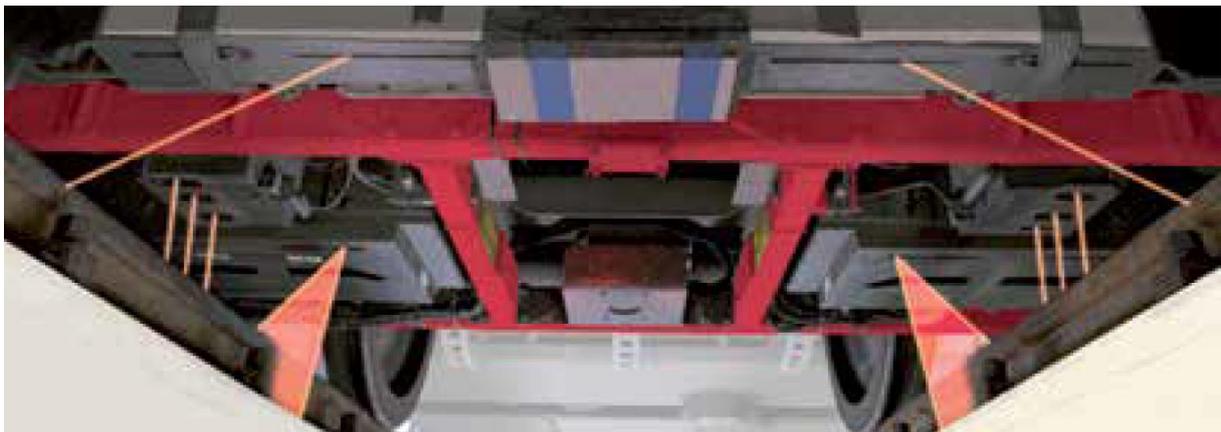


Abbildung 2: Aufnahme der Messeinrichtungen des Messwagens EM250 [8]

Da die Kilometrierung in den Datenbanken der Technischen Universität Graz mit einer Rauigkeit von fünf Metern angegeben ist, wurden die durch den Messwagen erhobenen Daten bereits auf das System der Technischen Universität Graz bereinigt und hochskaliert. In der nachfolgenden Abbildung 3 werden die erhobenen Messdaten, so wie sie während einer Messfahrt vom Messwagen dargestellt werden, vorgestellt. Dabei werden unter Einhaltung der zuvor genannten Abstände verschiedene Parameter in Bezug auf die Gleisgeometrie mit einer Amplitude um die Kilometrierungsachse aufgezeichnet und dargestellt. Außerdem werden die Überhöhung sowie der Querschnitt des Gleises mit Lasern vermessen und digital präsentiert. Im so sichtbaren Schienenprofil können Abweichungen von der Norm und diverse Versagenserscheinungen mithilfe visueller Suchalgorithmen automatisiert aufgezeigt werden. Die Messergebnisse werden unter Berücksichtigung der geltenden Normen und Regelwerke von den Datenbankprogrammen überprüft. Alle Fehler die aufgrund einer zu großen Abweichung (man spricht hier von der Eingriffsschwelle) erkannt werden, werden im Report-Manager aufgelistet. Die Fehler werden in Hinblick auf den Standort als Kilometrierungspunkt, auf welcher Länge der Fehler gesichtet wurde, eines Fehlerkommentares und der Abweichung als Zahlenwert aufgezeigt. Jedem Einzelfehler muss von einem Techniker nachgegangen und durch ihn validiert werden. Erst nach diesem Schritt können Maßnahmen für die Behebung von aufgetretenen Fehlstellen im Gleis mittels den der ÖBB zur Verfügung stehenden Messtechnik Applikation abgeleitet werden. [9]

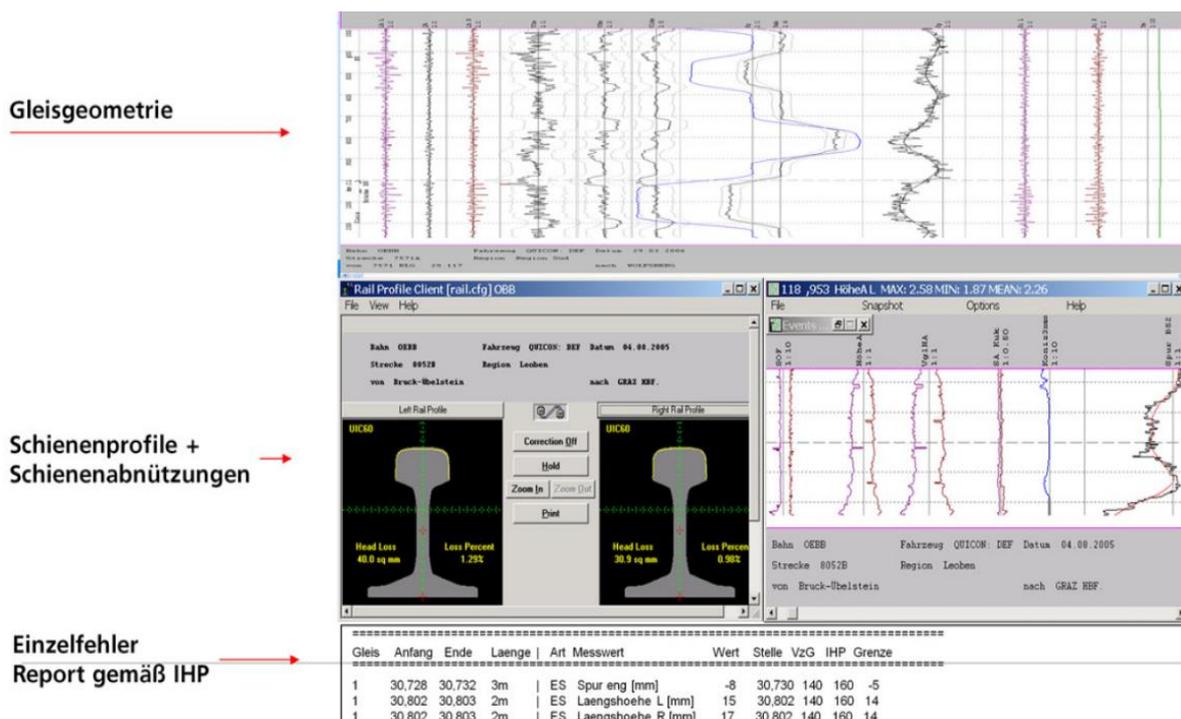


Abbildung 3: Bildschirm im Präsentationsraum des EM250 [9]

Nachfolgend wird in Abbildung 4 die optische Schienenprofilmessung für die äquivalente Konizität dargestellt. Dabei nehmen zwei Laser aus verschiedenen Blickwinkeln das Profil auf, wobei zusätzlich ein Videomitschnitt aufgezeichnet wird, um im Fehlerfall das Profil an der Schadensstelle begutachten zu können. Die betrachteten Parameter umfassen dabei die Schienenhöhe, Kopfbreite, Kopfhöhe, Stegbreite und den Fuß der Schiene. Bei einer Abweichung, die größer als die maximal erlaubte ist, wird ein Fehler aufgezeichnet.

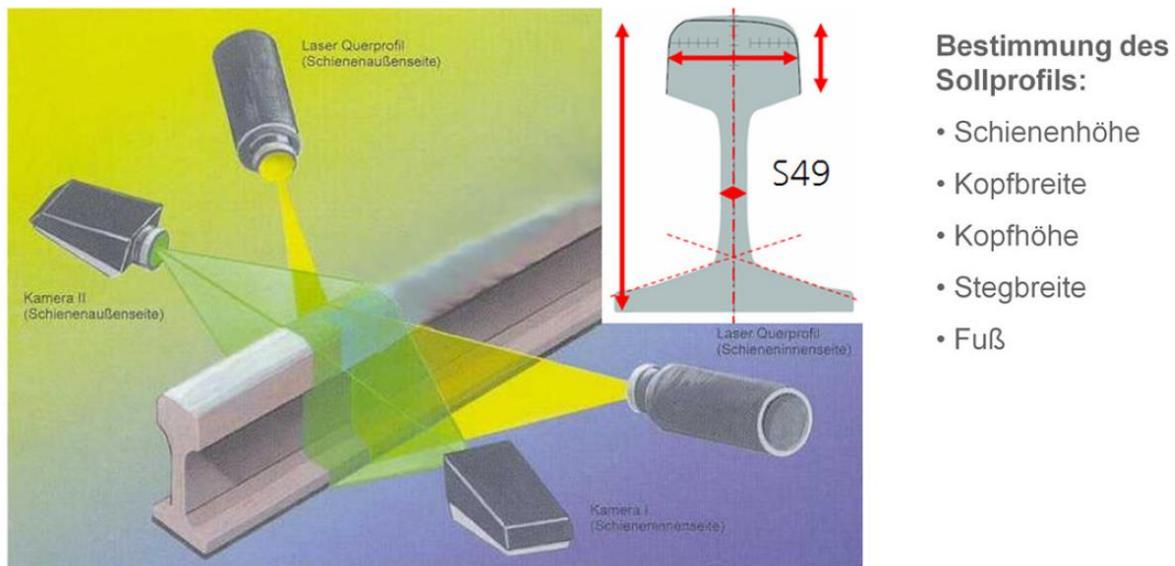


Abbildung 4: Schienenprofilmessung [9]

Wie in Abbildung 5 dargestellt wird, müssen in den Abweichungen zur Norm auch Einbauten, die enorme Unstetigkeitsstellen im Gleis verursachen, berücksichtigt werden. In diesem Fall ist kein Fehler im eigentlichen Sinn für den Auschlag verantwortlich, sondern eine Weiche welche die Messsysteme aufgrund der Überfahrt der Weichengeometrie anschlagen lässt. Ähnliche Fälle können unter anderem bei einer Änderung der Schwellen oder zwischen elastischen (Schotter) und starren (Beton) Untergründen bei Kunstbauwerken auftreten. Diese Einflüsse müssen vor einer Maßnahmeneinleitung herausgefiltert werden, sofern die Ausschläge nicht atypisch sind.

2. Grundlagen

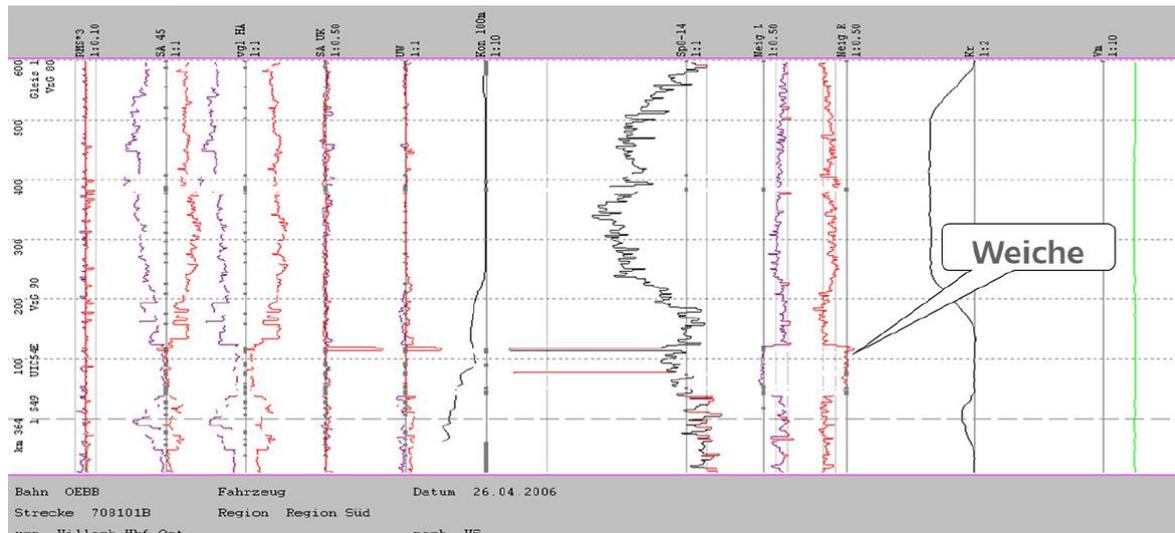


Abbildung 5: Differenzierung zwischen Fehlstellen und Einbauten [9]

Die ÖBB verwendet zur Wartung, Einsichtnahme und Bearbeitung der aufgezeichneten Messfahrten eine Messtechnik Applikation. Mit Hilfe dieser können die zentral gespeicherten Daten aller Messfahrten unter Zuhilfenahme diverser Bearbeitungstools entsprechend ausgewertet werden. In Abbildung 6 wird die Applikation schemenhaft dargestellt.

KW	Datum	von - nach	Fahrzeug	Messart	Messergebnis	Länge[km]
KW14	04.04.2014	Abzw Hallw.-Elixhausen 2 - Ausf Innsbruck Hbf W193	ETMW	Inspektion	Laser	248,312
KW14	04.04.2014	Ausf Wels Hbf W133 - Sbg Gnigl Aus-/Durchgr.	ETMW	Inspektion	Laser	123,253
KW14	03.04.2014	Ausf Nettingsdorf W55 - Linz Hbf AG	ETMW	Inspektion	Kraft	12,346
KW14	03.04.2014	Abzw Wartberg3 W100 - Linz Hbf AG	ETMW	Inspektion	Laser	27,484
KW14	03.04.2014	Ausf Kirchdorf W53 - Einf Wartberg W1	ETMW	Inspektion	Kraft	9,828
KW14	03.04.2014	Salzburg Hbf. AG - Einf Kirchdorf W1	ETMW	Inspektion	Laser	152,261
KW14	03.04.2014	Linz Hbf AG - Ausf Bischofshofen W310	ETMW	Inspektion	Kraft	201,475
KW14	02.04.2014	Einf St.Valentin W1 - Ausf Wels Hbf W133	ETMW	Inspektion	Laser	63,740
KW14	02.04.2014	Hieflau W2 - Amstetten AG	ETMW	Inspektion	Kraft	46,787
KW14	02.04.2014	Hieflau Ybf. AG - 1021 ASC-Gr. (km 28,100)	ETMW	Inspektion	Laser	35,440

Abbildung 6: Verwaltung der Messfahrten in der Messtechnik Applikation [9]

Neben den aufgezeigten Messmöglichkeiten und deren Verarbeitung werden noch eine Vielzahl anderer Parameter aufgenommen und bearbeitet. Beispielsweise ist in diesem Zusammenhang die Ortung via dGPS, oder auch die Lichtraummessung zu erwähnen. Dieses Kapitel soll einen groben Überblick über den Ursprung der in dieser Arbeit verarbeiteten Daten schaffen, insofern werden nur die relevanten Parameter aufgezeigt.

2.3 Technische Grundlagen

In diesem Abschnitt werden alle technischen Grundlagen spezifiziert, welche für die Umsetzung dieses Projektes benötigt werden. Neben der verwendeten Software, werden auch unterschiedliche Dateiformate für Georeferenzen vorgestellt.

2.3.1 Geographische Koordinaten

Da sich die Koordinatenpunkte jeder Strecke auf der Erde ideal gesehen auf einer Kugel befinden, ist eine entsprechende Berücksichtigung der auftretenden Differenzen bei Abstandsbestimmungen zwischen zwei Koordinaten vorzusehen. Dabei spielen die Längen- und Breitengrade eine entscheidende Rolle, welche im allgemeinen die Erdkrümmung berücksichtigen sollen. Die Erde wird in 180 Breitengrade und 360 Längengrade aufgeteilt, diese wiederum in 60 Minuten und 60 Sekunden. Dabei bilden jeweils zwei Längen- und Breitengrade in Äquatornähe annähernd ein Quadrat, wohingegen in Richtung Polnähe zunehmend Fehler auftreten, die aus einer anwachsenden Verzerrung resultieren. Dies wird in Abbildung 7 ersichtlich. Diese Verzerrungen gilt es zu kompensieren, um daraus resultierende Abweichungen in Bezug auf den Abstand zwischen zwei geographischen Koordinaten zu minimieren. Da die geographischen Koordinaten auf einer 2D Ebene liegen, muss die räumliche Komponente, also die Längendifferenz zufolge der zurückgelegten Höhendifferenz ebenso Berücksichtigt werden, was durch die gebogene Form der Längen- und Breitengrade in 2D Karten realisiert wird.

Der Abstand zwischen zwei Breitengraden ergibt sich aufgrund der gegebenen Erdgeometrie zu 111,3 km. Die Längengrade hingegen variieren in ihrer Ausdehnung zwischen 0 und 111,3 km. So ergibt sich am Äquator rechnerisch ein Quadrat mit

den Seitenlänge 111,3 km x 111,3 km, während an den Polen eine Seite 111,3 km beträgt und die zweite Seite gegen 0 verläuft. Eine Annäherung an die Realität kann mit einer Funktion in Abhängigkeit der Längengrade zu den Breitengraden bestimmt werden. Zu diesem Zweck wird die Distanz mit dem pythagoreischen Lehrsatz ermittelt, und zwar unter der Annahme, dass in einem ausreichend kleinen Betrachtungssystem Längen- und Breitengrade jeweils parallel zueinander stehen und somit ein rechtwinkeliges Raster bilden. Die Eingangsgrößen für den pythagoreischen Lehrsatz werden dabei als Funktion in Abhängigkeit des jeweiligen Länge- und Breitengrades definiert. [10]

$$\text{Distanz} = \sqrt{dx * dx + dy * dy}$$

Mit:

$$dx = 111,3 * \cos(z) * (\text{Längengrad}_i - \text{Längengrad}_{i+1})$$

$$z = \frac{(\text{Breitengrad}_i + \text{Breitengrad}_{i+1})}{2} * \frac{\pi}{180} [\text{rad}]$$

$$dy = 111,3 * (\text{Breitengrad}_i - \text{Breitengrad}_{i+1})$$

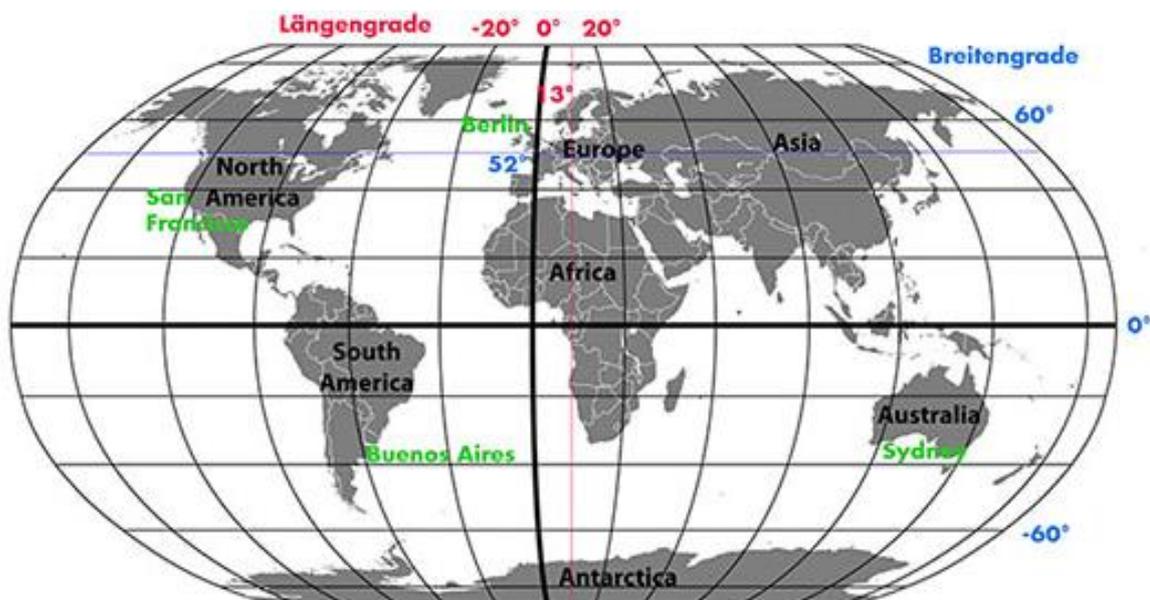


Abbildung 7: Schematische Darstellung der Längen- und Breitengrade [11]

Mithilfe dieser Grundlage können die notwendigen Berechnungen im späteren Verlauf der Arbeit in ausreichender Präzision dargestellt werden.

2.3.2 Geoinformation - Datenformate

Es gibt eine Vielzahl an Formaten und Variationen derer zur kompakten Speicherung von Geoinformationen.

Nachfolgend werden die wichtigsten Datenformate in Bezug auf Geoinformationen erläutert und auf die Vor- und Nachteile der jeweiligen Datenstruktur eingegangen, aufgrund derer die Wahl der im späteren Verlauf genutzten Formate dargelegt wird. Allen Formaten sind der XML-Standard und damit eine Bearbeitung als Text gemein, was grundsätzlich für eine hohe Kompatibilität spricht. Dennoch sind nicht zuletzt die gegebenen Softwarelösungen meist ein maßgebender Faktor, welche meist nur bestimmte Formate in ausreichendem Umfang unterstützen.

2.3.2.1 .osm – Format

Dieses Format ist ein eigens für OpenStreetMap kreierte Speichersystem für Geoinformationen und diversen zusätzlichen Informationen. Möchte man die Daten innerhalb von OpenStreetMap benutzen, ist dieses Format für die Implementierung neuer Informationen in das Universum von OpenStreetMap optimal. So werden eigene Editoren für .osm - Formate bereit gestellt und eine Kompatibilität mit vorhandenen Daten sichergestellt. [12]

2.3.2.2 .kml - Format

Die Keyhole Markup Language (KML) findet vorrangig in Google-Applikationen wie beispielsweise in Google-Maps und Google-Earth Anwendung. KML-Formate können dabei verschiedene Darstellungsformen wie Punkte, Linien und Polygone beschreiben. Außerdem können diesen Geometrien Attribute zugewiesen werden. Als Referenzsystem kommt das World Geodetic System 1984 zum Einsatz. [13]

2.3.2.3 .gpx - Format

Hierbei handelt es sich um das GPS Exchange Format (GPX), welches Wegpunkte, Wege und Routen speichern kann. Bei den Wegen handelt es sich um die Aufzeichnung der GPS-Geräte, welche in einem bestimmten vordefinierten Abstand einen Koordinatenpunkt setzen. Routen hingegen bestehen aus mehreren Wegpunkten, die einen beliebigen Abstand zueinander einnehmen können, hierbei ist wichtig, dass die Route über genau jene Punkt geleitet wird. In Verbindung mit einer „Routing“ fähigen Karte, wird eine Route über in der Nähe der Wegpunkte liegende Verkehrswege aufgebaut. [14]

2.3.3 Softwarelösungen

Zur übersichtlicheren und leichteren Bearbeitung von Daten mit Georeferenzen werden von verschiedenen Anbietern spezielle Softwarelösungen zur Verfügung gestellt. Im Folgenden werden die einzelnen Softwarelösungen kurz vorgestellt und erläutert.

2.3.3.1 Overpass API

Overpass API ist ein Tool welches speziell für OSM entwickelt wurde. Es handelt sich dabei um eine webbasierendes Datensammelwerkzeug, dessen Zweck es ist Daten entsprechend nach selbst zu definierenden Filtern, aus einer digitalen OSM Karte auszulesen und hervorzuheben. Im Anschluss besteht die Möglichkeit zur Exportierung der Daten in den zuvor genannten Formaten. Der Filter kann dabei eine Reihe von verschiedenen Parametern umfassen.

Nachfolgend (Code 1) ein Beispiel für einen Filter für eine Datenbankabfrage. Dabei sollen alle Eisenbahntrecken steiermarkweit durchsucht werden und nur jene ausgegeben werden, die als Betreiber die „ÖBB-Infrastruktur AG“ und den Streckennamen „Südbahn“ aufweisen. [15]

```

way ["railway"="rail"]

      ["operator"="ÖBB-Infrastruktur AG"]

      ["name"="Südbahn"]

({{geocodeBbox: Styria}})

```

Code 1: Filterabfrage um alle Strecken in OSM auszuwählen, welche „ÖBB-Infrastruktur“ und „Südbahn“ als Tag aufweisen.

Unter Zuhilfenahme dieses Werkzeuges, können klar definierte, komplexe und je nach Verwendung zugeschnittene Daten aus dem Gesamtprojekt OSM entnommen werden.

In Abbildung 8 werden mithilfe einer Overpass API Abfrage, die wie eine SQL-Abfrage funktioniert, alle Eisenbahnstrecken Österreichs die als Attribut den Betreiber als ÖBB besitzen, ausgelesen und dargestellt.

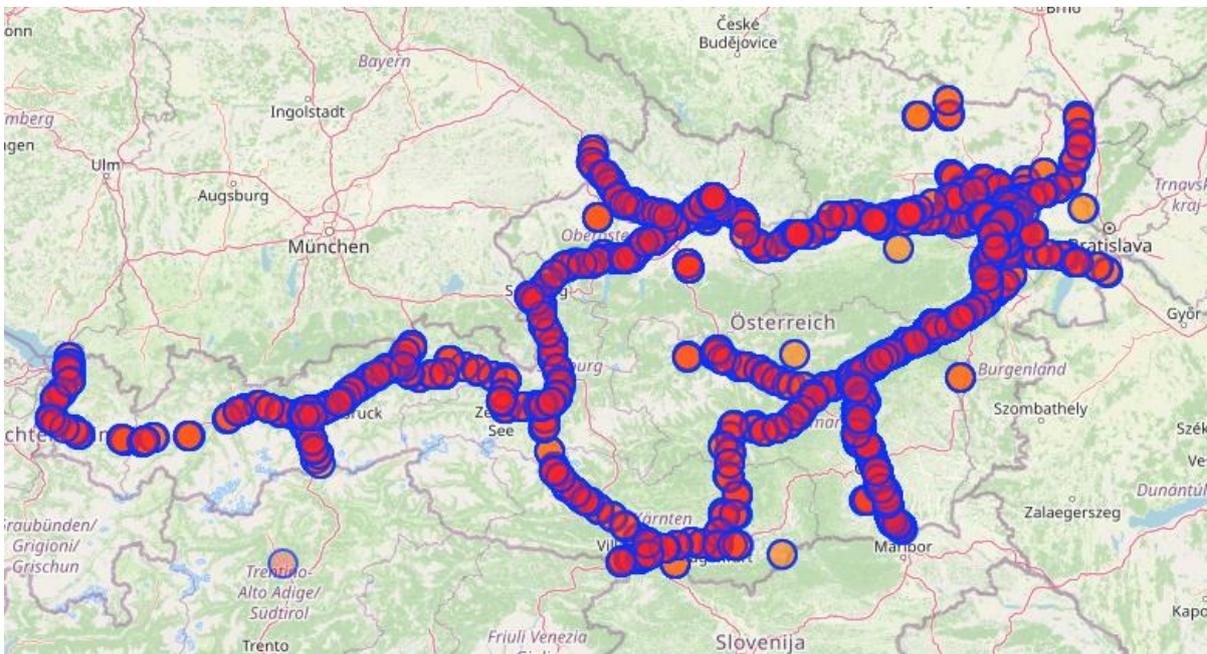


Abbildung 8: Abfrage und Darstellung aller ÖBB betriebenen Eisenbahnstrecken mithilfe von Overpass API in OSM. © OpenStreetMap-Mitwirkende [16]

2.3.3.2 Merkaartor

Hierbei handelt es sich um einen freien Editor für OpenStreetMap. Als Lizenz wird hier die GNU General Public License vereinbart, wodurch die Software von jeder Person benutzt, verändert und verbreitet werden darf. Der Editor beinhaltet eine Funktion zur Glättung der Kanten und wurde dazu programmiert, Verkehrswege sowie Gebäude transparent darzustellen, dies mit der Möglichkeit zur Hinterlegung von digitalen Karten um Positionen abzugleichen. Außerdem können GPS-Tracks von Messfahrten mit einem GPS-Tracker eingelesen, ausgewertet und geändert werden. In erster Linie kommt diese Software hier zum Einsatz, da sie mit Datensätzen von OSM arbeiten und diese nach erfolgreicher Bearbeitung wieder in die OSM Cloud hochladen kann. Das am umfangreichsten unterstützte Format ist das GPS Exchange Format, weswegen im Zuge dieser Arbeit jenes Format Verwendung findet. [17]

2.3.3.3 Arcmap

Arcmap ist ein spezielles Softwareprodukt der übergeordneten Software ArcGIS von ESRI (Environmental Systems Research Institut). ArcGIS wurde dazu entwickelt geografische Daten zu verwalten, darzustellen, zu analysieren und zu erfassen. Es verfügt dabei über eine äußerst qualitativ hochwertige Wiedergabe von kartographischen Daten. Aus diesem Grund wird dieses System vielfach von staatlichen Behörden, der Polizei und auch im militärischen Bereich eingesetzt. Die enorme Bandbreite an kompatiblen Daten wie Satellitenbilder, Fotos, vektorspezifische Datensätze, CAD-Daten und eine Vielzahl an geografischen Datensätzen verleihen dem Programm umfangreiche Möglichkeiten, um Datensätze verschiedener Quellen zusammenzufügen und abzugleichen. Über Abfragen und Filterfunktionen können dabei ausgewählte Datensätze fokussiert bearbeitet werden. [18]

2.3.3.4 Shapefile

Shapefiles werden innerhalb der Arcmap Oberfläche eingesetzt. Sie nutzen dabei ein nicht topologisches Format und legen dort Informationen zur geografischen

Lage und aller dazugehörigen Attribute von geografischen Objekten ab. Ein Shapefile stellt sich in der grafischen Oberfläche entweder als Punkt, Linie oder einer beliebigen Fläche dar. Jeder Punkt, jede Linie oder Fläche ist im Hintergrund mit Informationen bestückt, welche beispielsweise über den Attribut Table eingesehen werden können. Dort sind alle Objekte zeilenweise abgelegt, wobei alle Attribute zum betrachteten Objekt spaltenweise abgelegt sind. Innerhalb dieser Arbeit werden vor allem die Shapefiles mit Punkt-Objekten relevant, da alle Georeferenzen in OSM punktförmig abgelegt sind. [19]

2.3.3.5 Python

Python ist eine Programmiersprache, welche unter anderem in der Geoverarbeitung Anwendung findet. Das Erweiterungspaket für Python ArcPy wurde speziell für ArcGIS entwickelt, um eine breitgefächerte Kompatibilität sicher zu stellen. Für dieses Projekt sollen verschiedene geografische Datenformate (siehe dazu Kapitel 2.3.2) in einander überführt werden. Da die hier verwendeten Daten teilweise unterschiedliche Datenformate besitzen, und nur spezielle Formate mit beispielsweise Merkaartor kompatibel sind, ist es notwendig ein Format in ein anderes zu konvertieren. Für genau diese Problemstellung kann Python unter anderem Abhilfe schaffen. [20]

2.3.3.6 Web basierte Datenkonvertierung

Für eine Konvertierung von geografischen Datenformaten in ein CSV-Format, wie es beispielsweise bei Excel von Microsoft Office verwendet wird, wurde hier eine web basierte Datenkonvertierung gewählt, da hier eine einschlägige alternative Software nicht kostenfrei zu beschaffen ist. Mit Hilfe der Website www.mygeo-data.cloud/converter wurden die notwendigen Konvertierungen erfolgreich umgesetzt, um die Datensätze in ein Tabellenformat zu überführen und anschließend zu bearbeiten. In weiterer Folge sind die so aufbereiteten Daten wiederum als CSV-Format importfähig für die Software Arcmap.

3. Eingangsdaten

3 Eingangsdaten

Dieses Kapitel soll die Beschaffung und Verarbeitung der spezifischen Daten für die zu betrachtende Strecke, in diesem Fall die Südbahn, beinhalten. Dabei werden die in den Grundlagen erläuterten Lösungen zum Einsatz kommen.

3.1 Südbahn - OSM basierte Daten

Die Südbahn besitzt in OSM eine Vielzahl von Attributen, welche in Abbildung 9 dargestellt werden. Neben den geographischen Informationen des betrachteten Abschnittes, der aus mehreren Knoten mit GPS-Koordinaten besteht, wird auch Aufschluss über die Antriebstechnologie, Volt, Spurweite, Namen, Betreiber, Verkehrstyp, Referenzen zu anderen Objekten und vieles mehr gegeben. All diese Informationen sind in Summe für spätere Auswertungen relevant.

Tags

electrified	contact_line
frequency	16.7
gauge	1435
name	Südbahn
operator	ÖBB-Infrastruktur AG
passenger_lines	2
proposed	rail
proposed:railway	rail
railway	proposed
railway:bidirectional	regular
railway:pzb	yes
railway:radio	gsm-r
railway:track_class	D4
railway:track_ref	1
railway:traffic_mod e	mixed
ref	105 01
structure_gauge	GC
usage	main
voltage	15000

Knoten

4330648715 (Teil des Wegs — Südbahn
(435109098))
4330648538
4330648543
4330648542
34834394 (Teil des Wegs — Südbahn
(435109095))

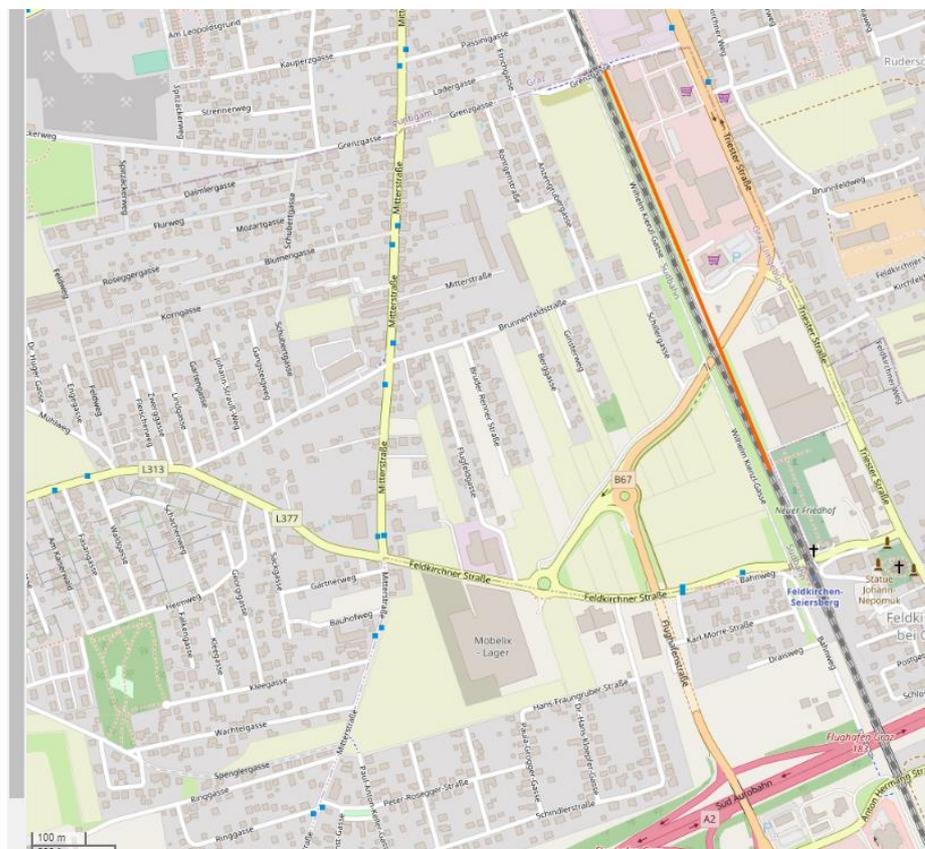


Abbildung 9: Attribute eines Teilsegments der Südbahn. © OpenStreetMap-Mitwirkende [16]

3. Eingangsdaten

Es besteht die Möglichkeit, alle OSM Daten für beispielsweise ganz Österreich über verschiedene Partner-Webseiten herunterzuladen. Diese Daten haben aber meist nicht die aktuellsten Änderungen implementiert und besitzen zudem eine Vielzahl an Informationen, die für diese Betrachtung bei weitem zu umfangreich ist. Neben allen Eisenbahnstrecken werden alle Straßen, Gebäude, Grünflächen etc. dargestellt. Um die Datenmenge schon im Vorhinein deutlich zu reduzieren, werden nur spezifische Daten mit Overpass API ausgelesen.

3.1.1 Overpass Turbo

Um ausschließlich relevante Daten zu selektieren, werden die nachfolgenden programmierten Filter mit den jeweiligen Abbildungen erläutert.

Wie in Abbildung 10 gezeigt, wird der Filter ausschließlich über den Namen und den Betreiber angewendet, was zu dem Problem führt, dass die Semmeringbahn, die zur Südbahn gehört, nicht selektiert wurde, da der Name als „Semmeringbahn“ und nicht als „Südbahn“ deklariert wurde. Eine eindeutige Identifizierung einer gesamten Strecke über den Namen alleine ist in OSM so nicht möglich.

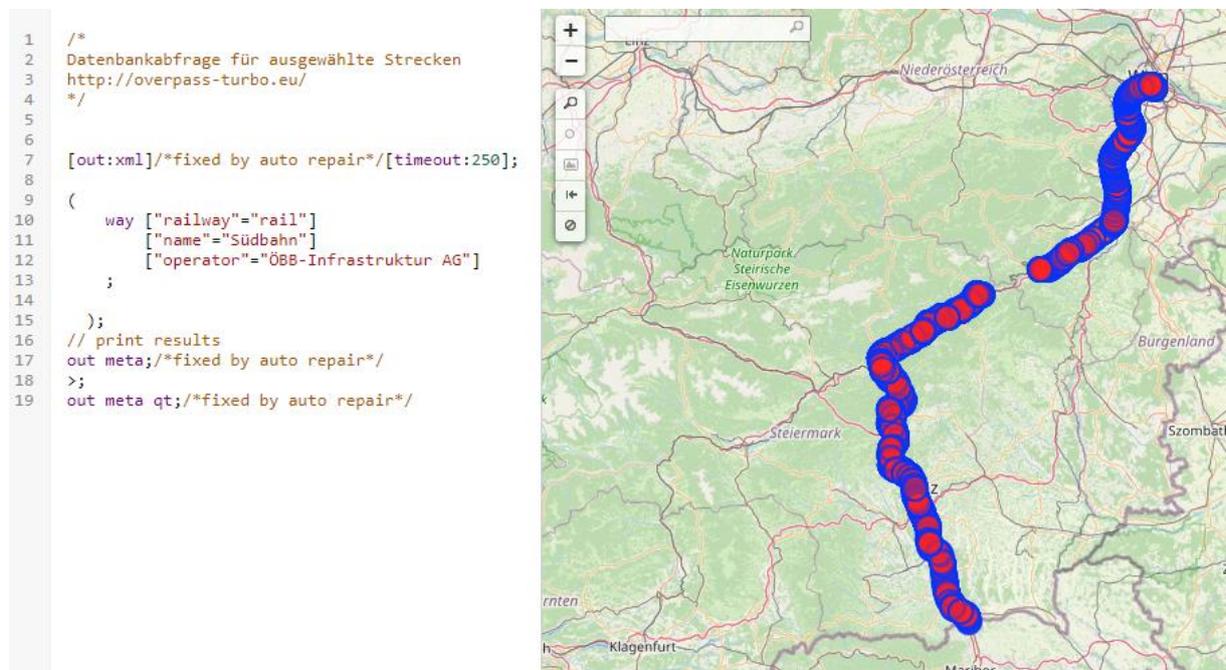


Abbildung 10: Filter für die Eisenbahnstrecke „Südbahn“ – Unterbrechung Semmeringbahn. © OpenStreetMap-Mitwirkende [16]

3. Eingangsdaten

In OSM kann jedoch die hierarchische Anordnung aller Objekte genutzt werden. Für jede Eisenbahnstrecke existiert eine Referenznummer, denen alle untergeordneten Objekte eindeutig zugewiesen werden. So ist die Referenznummer „105 01“ die Kennung für die Südbahn. Diese Referenznummer kann aus einem beliebigen Teilstück der Südbahn in OSM unter dem Tag „ref“ ausgelesen werden. In Abbildung 11 wird gezeigt, wie die Südbahn über ihre Referenznummer selektiert wird.



Abbildung 11: Selektion der Südbahn über die Referenznummer. © OpenStreet-Map-Mitwirkende [16]

Nebenstrecken und Weichen werden in beiden Varianten nicht selektiert. Da für die spätere Verwertung der Daten lediglich die Hauptstrecken betrachtet werden soll, ist dies ein praktikabler Umstand, obgleich Verschiebgleise in Bahnhöfen und vereinzelte Gabelungen manuell nachbearbeitet werden müssen. Dennoch ist die Anordnung der Weichen für spätere Visualisierungen und Auswertungen von Interesse. In den Attributen der Knoten wird zwar ausgewiesen, dass hier entweder ein Anfangs- oder Endpunkt einer Weiche liegt, jedoch fehlt die diagonale Verbindung (Weiche) dieser beiden Knoten, in der Visualisierung. Wie in Abbildung 12 dargestellt, haben die Weichen keine eindeutige Referenz zur Südbahn, sondern

3. Eingangsdaten

jeweils nur eine Referenz zu Teilsegmenten der Südbahn, deren Berücksichtigung zu einer komplexen Aufgabe anwachsen kann.

Weg: 33089569

passenger lines edited

Bearbeitet vor über einem Jahr von Negjana
Version #8 - Änderungssatz #63994765

Tags

electrified	contact_line
frequency	16.7
gauge	1435
maxspeed	120
operator	ÖBB-Infrastruktur AG
passenger_lines	1
railway	rail
railway:track_type	main
service	crossover
tracks	1
voltage	15000

Teil von

Relation S5: Graz Hbf => Spielfeld-Sträß (67185)

Knoten

103 (2584009036) (Teile der Wege —
Südbahn (692436891) und — Südbahn
(252344368))
2584009031 (Teile der Wege Südbahn
(264236389) und — Südbahn (264236406))

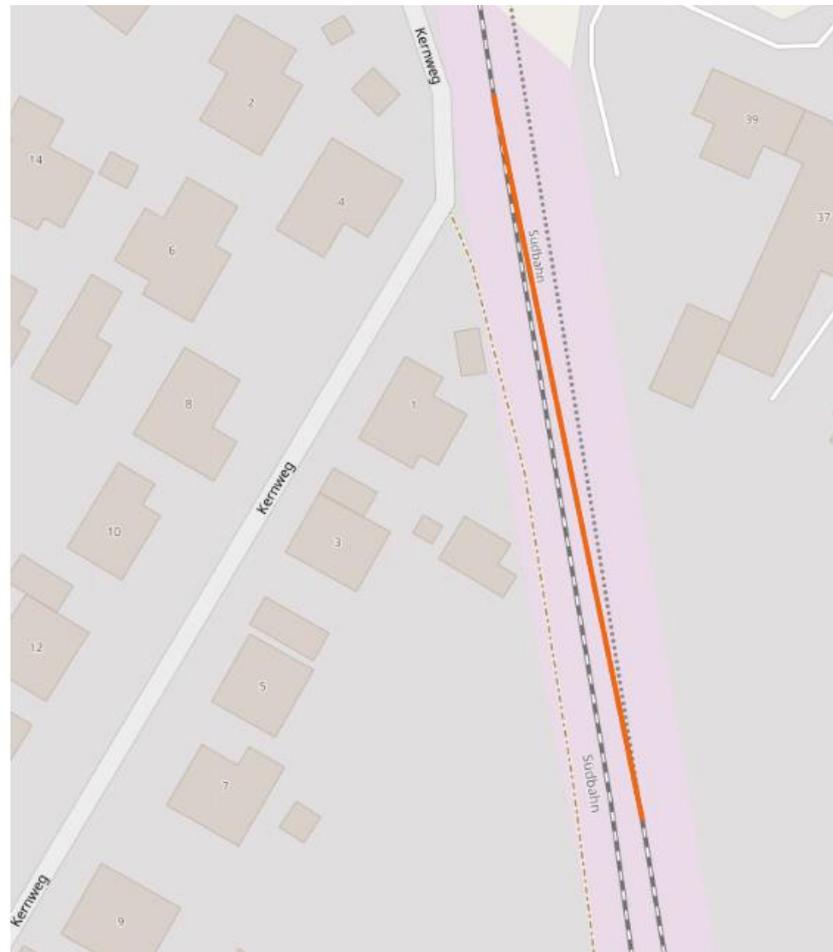


Abbildung 12: Tag Weichen Südbahn. © OpenStreetMap-Mitwirkende [16]

Dieses Problem wurde umgangen, indem über einen Filter in Overpass API alle Weichen mit den Tags „crossover“ sowie „ÖBB-Infrastruktur AG“ innerhalb den von der Südbahn durchlaufenen Bundesländern selektiert werden. Mit dieser Methode werden auch Weichen anderer Eisenbahnstrecken selektiert, die in einem Nachbearbeitungsprozess eliminiert werden müssen, wofür sich der OSM-Editor Merkaartor eignet.

Nach Verknüpfung dieser beiden Filter und Ausführung der Abfrage werden die entsprechenden Daten der Südbahn zweigleisig und mit Weichen selektiert. Innerhalb der Overpass API Applikation können diese Daten als KML Datei exportiert werden. Die Exportierung und Weiterverwendung einer OSM Datei wäre zwar in

3. Eingangsdaten

Bezug auf die Bearbeitbarkeit die bessere Variante, da es sich einerseits um das hauseigene Format von OpenStreetMaps handelt und andererseits der Editor Merkaartor eine Applikation ist, welche vorrangig für OSM Dateien entwickelt wurde, aber dennoch erweist sich die OSM Datei als nicht praktikabel, da eine spätere notwendige Konvertierung in ein CSV/XLS Format, die den Datenbanken des Messwagens entspricht, äußerst aufwendig wäre.

3.1.2 Nachbearbeitung der Datensätze aus Overpass API

Nach dem Export der Daten als KML Datei werden die Datensätze in einer 2D Umgebung manuell nachbearbeitet. Dabei müssen, wie vorhin erwähnt, vereinzelt Fehler sowie überschüssige Weichen, wie in Abbildung 13 dargestellt, eliminiert werden.

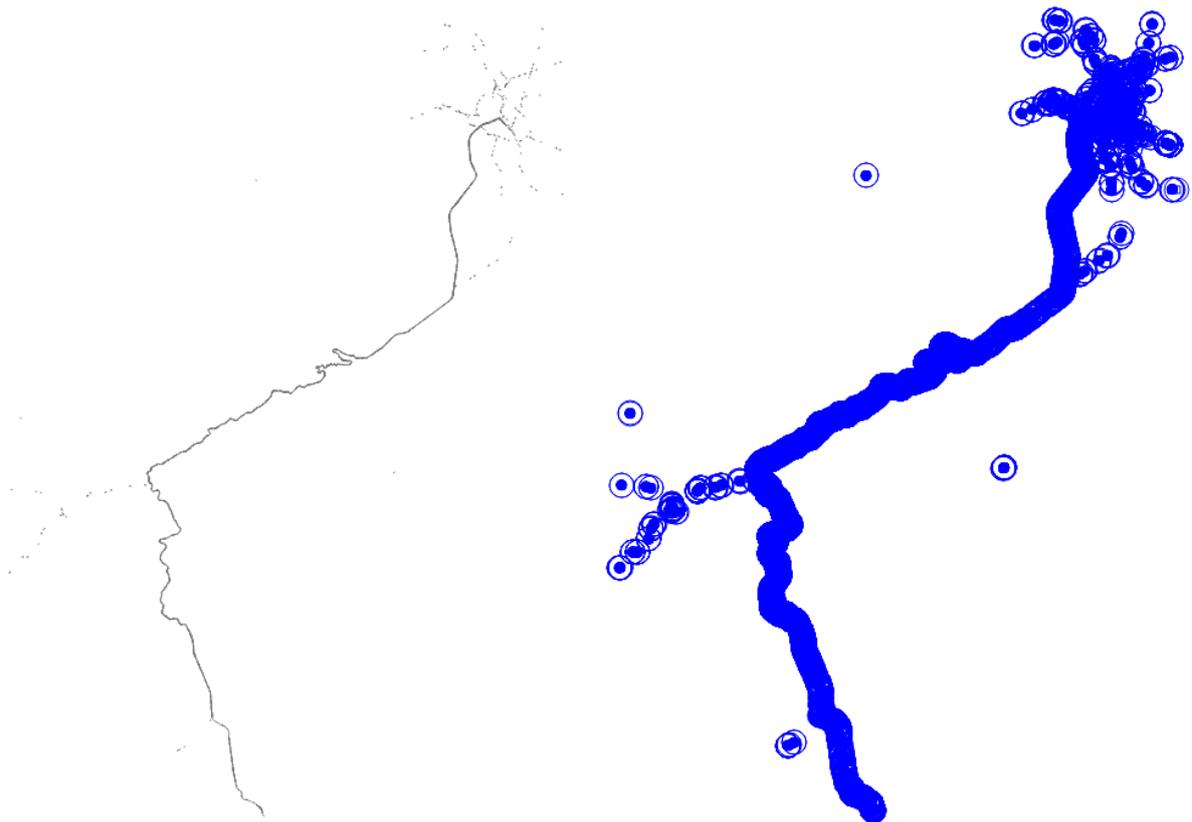


Abbildung 13: Rohdaten nach Export von Overpass API im KML Format, importiert in Merkaartor

3. Eingangsdaten

Dabei werden alle überschüssigen Knoten und Linien manuell gelöscht. Nach diesem Bearbeitungsschritt erhält man eine zweigleisige Strecke mit all ihren Weichen und Attributen, welche in Summe die Südbahn darstellen (siehe dazu Abbildung 14).

Da die Zustandsdaten des Messwagens pro Richtung aufgenommen werden, muss die zweigleisige Strecke in zwei einzelne Strecken aufgegliedert werden. Dazu wird ein weiterer manueller Bearbeitungsschritt notwendig. Nun werden alle Knoten von einer der beiden Strecken selektiert und separat in ein eigenes Projekt gespeichert. Die Auswahl wird umgekehrt und der Schritt wiederholt. Am Ende erhält man drei separierte Datensätze in drei Dateien: Strecke 1, Strecke 2 und Weichen. Diese Datensätze enthalten nach wie vor alle Attribute der Südbahn und sind somit mit einer Vielzahl an Informationen bestückt.

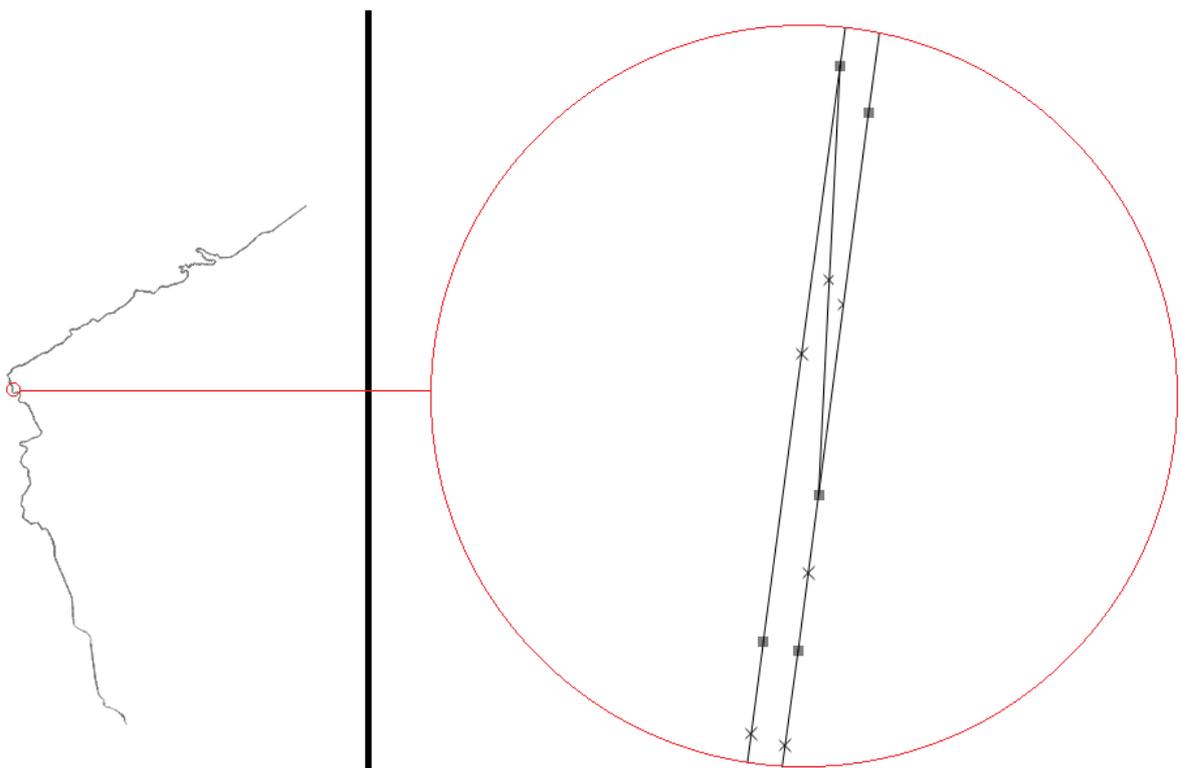


Abbildung 14: Darstellung der Südbahn als zweigleisige Eisenbahnstrecke mit Weichen in Merkaartor.

3.1.3 Sortierung der Knoten nach Nachbar

Würden die zuvor erstellten Datensätze in der vorliegenden Form in ein CSV/XLS Format konvertiert werden, erhielte man alle Knoten mit GPS Koordinaten und zugehörigen Attributen in Tabellenform, welche für den nächsten Bearbeitungsschritt notwendig wäre. Jedoch tritt dabei ein Problem mit der Reihenfolge der Knoten, so wie sie in die Tabelle eingeschrieben werden, auf. Dadurch, dass der Suchalgorithmus von Overpass API alle Daten die dem Filter entsprechen in der Reihenfolge in die KML Datei schreibt, in der das Objekt gefunden wird, sind die Knoten nicht sortiert. Das bedeutet, dass beispielsweise in der ersten Zeile ein Knotenpunkt vom Hauptbahnhof Wien und in der darauffolgenden Zeile ein Knotenpunkt vom Hauptbahnhof Graz möglich wäre. Da die Knotenpunkte aber untereinander eine Referenz aufweisen, ist es für die Darstellung von nachrangiger Bedeutung, wenn diese Daten nicht in sortierter Form vorliegen. Nach Einlesen der Daten würde die Gesamtstrecke dargestellt werden. Um die Daten des Messwagens mit denen von OSM synchronisieren zu können, ist eine Gegenüberstellung der jeweiligen Gesamtlängen der Strecken notwendig. In weiterer Folge müssen die Knotenpunkte sortiert, also Nachbar an Nachbar, vorliegen, um die Distanz von einem Knotenpunkt zum nächsten bestimmen zu können und auf diese Weise eine Homogenisierung der Distanz über lineare Interpolation vorzunehmen. In weiterer Folge kann so jedem Messpunkt des Messwagens genau eine GPS-Koordinate zugewiesen werden.

Da diese Problemstellung im weitesten Sinne dem „Problem des Handlungsreisenden“ (eng. salesman problem) entspricht, würde die Lösung dieser Aufgabe den Rahmen sprengen. Es existiert jedoch für genau diese Problemstellung ein alternativer Lösungsweg. Dazu wird die Sortierung der Knotenpunkte im Merkaartor Editor forciert. Zu diesem Zweck wird die Gesamtstrecke, beispielsweise Strecke 1 der Südbahn, selektiert und zu einem durchgehenden Segment verbunden. Dies bedeutet, dass alle einzelnen Segmente, die für sich jeweils Attribute, wie beispielsweise zugelassene Höchstgeschwindigkeit, Spurweite, Volt etc., besitzen, zu einem durchgehenden Segment zusammengefügt werden, wie in Abbildung 15 (oberer Teil) und Tabelle 1 zu sehen ist. Nach erneutem Export der Daten als KML Datei liegen die Knotenpunkte nun in sortierter Form vor, die Attribute aller der zuvor noch existenten einzelnen Segmente der Strecke 1 werden damit jedoch zerstört. (Siehe dazu Abbildung 15, unterer Teil). Eine Attributtabelle wie in Tabelle

3. Eingangsdaten

1 ist damit nicht mehr verfügbar, die Knotenpunkte selbst bleiben jedoch erhalten und sind nun sortiert.

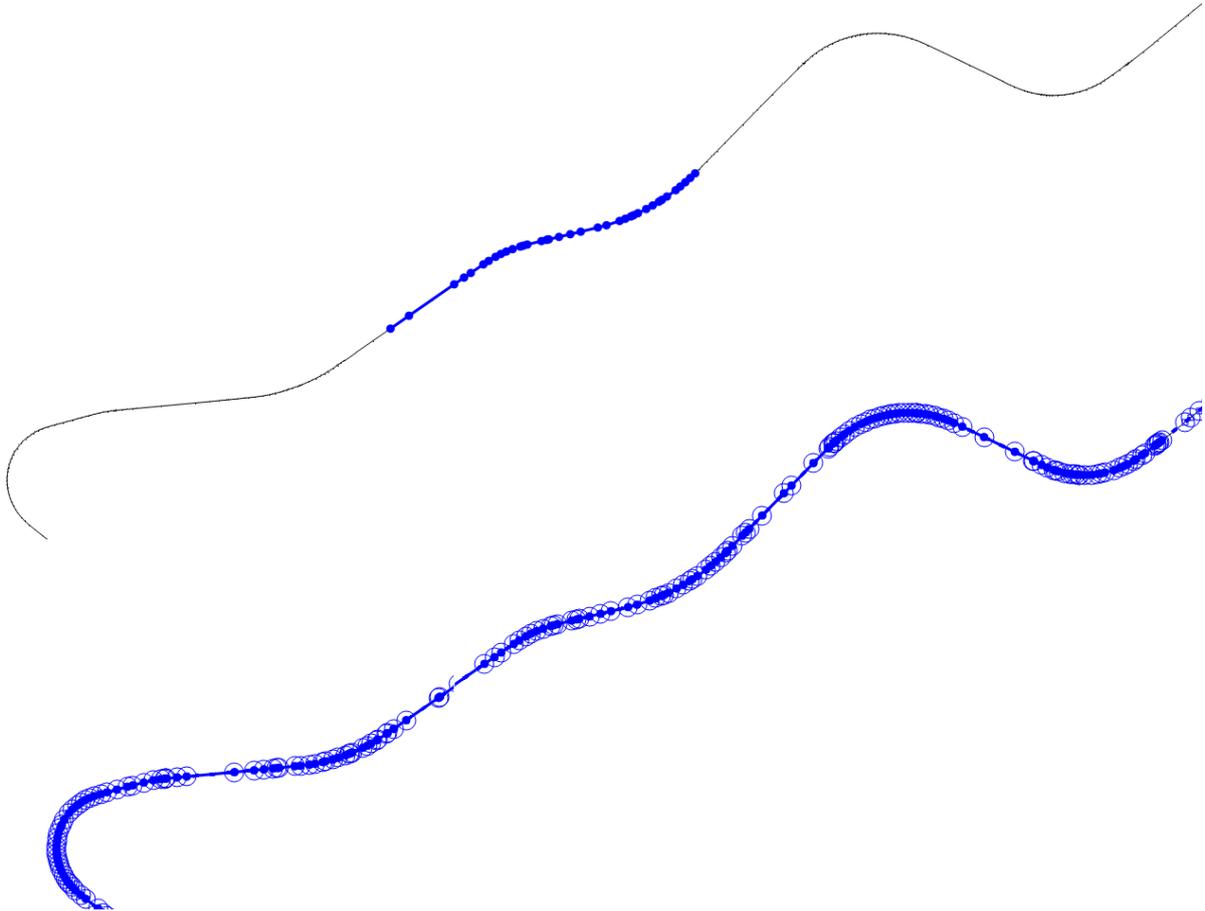


Abbildung 15: Oben ist die Selektion eines Segmentes zu erkennen, die dazugehörigen Attribute werden in Tabelle 1 dargestellt. Im Unteren Teil ist die Strecke zu einem Segment zusammengefügt, wobei alle Attribute verloren gehen.

Tabelle 1: Auswahl von Attributen des oben selektierten Segmentes

Name	Südbahn
ID	Way/238430857
Railway	Rail
Bridge?	No
Electrified	Contact line
Frequency	16,7
Gauge	1435
Maxspeed	130
Operator	ÖBB-Infrastruktur
Passanger	2

Rail-	Yes
Reference	105 01
Structure	GC
Usage	Main
voltage	15000

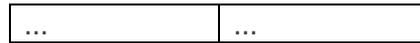
Da nun nur mehr die Geoinformationen der Knotenpunkte relevant ist, werden diese Daten als GPX Datei, welches das schlankste Format auf XML-Basis darstellt, exportiert. Die Knotenpunkte liegen nun in sortierter Form in einer GPX Datei vor.

3.1.4 Konvertierung XML basierte Daten in CSV/XLS basierte Daten

Die Daten des Messwagens liegen in CSV/XLS Basis vor. Daher sollen die von OSM exportierten Daten letztlich derselben Basis entsprechen. Es gibt verschiedene Möglichkeiten die Daten der GPX Datei in eine CSV/XLS Datei zu überführen. Dazu existieren eine Vielzahl an freier Software, die dies bewerkstelligen können, die meisten jedoch sind webbasierend. Je nach Datenstruktur der Input-Daten eignen sich dazu jedoch nur bestimmte Programme, um ein befriedigendes Ergebnis zu erhalten. In diesem Fall wurde die webbasierte Anwendung, welche unter dem Link „<https://mygeodata.cloud/conversion>“ abrufbar ist und unter allen Alternativen die besten Daten lieferte, genutzt. Dabei wird die GPX Datei hochgeladen und automatisiert in eine CSV/XLS Datei umgewandelt. Als Output stehen mehrere strukturell verschiedene Daten zur Verfügung. Der für diese Arbeit relevante Output ist die „route_points.xlsx“. In dieser CSV/XLS basierten Datei werden alle GPS-Koordinaten von jedem einzelnen Knotenpunkt zeilen- und in die spaltenweise aufgelistet. Die Spalte „x“ steht hier für den Längen- und die Spalte „y“ für den Breitengrad. Das Ergebnis wird in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Darstellung der Längen- und Breitengrader aller Knotenpunkte

X	Y
15.3443535	47.2018733
15.3443201	47.2016451
15.3442574	47.2013952
15.3441411	47.2010228
15.3440774	47.2008562
15.3439468	47.2005217



Für die Südbahn erhält man auf diese Weise mehr als 5000 Einträge. Die Summe aller Einträge ergibt wieder die Gesamtstrecke der Südbahn als GPS-Knotenpunkte.

3.1.5 Verknüpfung GPS-Koordinaten mit verlorenen Attributen

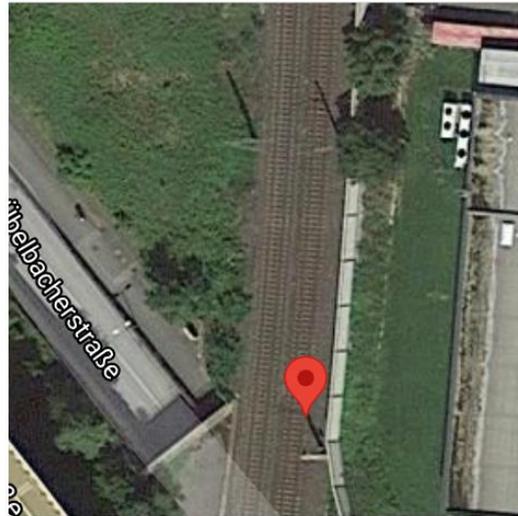
Da bei der Sortierung der GPS-Koordinaten in Kapitel 3.1.3 alle Attribute verloren gehen, wird hier die Wiederherstellung derselben gezeigt. Dazu exportiert man die Daten von Merkaartor vor dem Zusammenfügen aller Teilsegmente zu einem großen Segment (siehe Kapitel 3.1.3) als GEOJSON Datei. Über die webbasierte Anwendung „<https://mygeodata.cloud/conversion>“ kann man nun wiederum diese GEOJSON Datei in eine CSV/XLS Datei konvertieren. Auf diese Weise erhält man wiederum alle GPS-Koordinaten, diesmal in zusätzlichen Spalten angelegt mit allen dazugehörigen Attributen, jedoch in unsortierter Reihenfolge. Die gemeinsame Basis bilden hier die GPS-Koordinaten, die nun wie eine einmalige ID fungieren und über welche diese Daten wieder verknüpft werden sollen. Somit liegen alle Daten sortiert und mit allen Attributen aus OSM vor.

3.1.6 Erste Validierung und Nachbearbeitung der OSM Daten auf CSV/XLS Basis

Um die Korrektheit der Daten vorläufig zu verifizieren, bietet es sich an, verschiedene GPS-Koordinaten der neu erhaltenen Daten auszuwählen und auf Plausibilität zu prüfen. Hier wurde dazu einer der ersten Einträge der Längen- und Breitengrade herangezogen und über Google-Maps gesucht. Da es sich um GPS-Koordinaten einer Eisenbahnstrecke handelt, müssen alle Punkte, sofern die Datenbanken von OSM eine entsprechende Qualität bieten, entlang der von Google-Maps eingetragenen Route liegen. Aufgrund von Messungenauigkeiten und verschiedener Datenquellen, die OSM und Google-Maps nutzen, können dabei diverse Offsets auftreten. Trotzdem müssten die GPS-Koordinaten zumindest in unmittelbarer Nähe liegen. Nach Überprüfung mehrerer zufällig ausgewählter Punkte, wird klar, dass die Übereinstimmung einen äußerst hohen Grad erreicht. In der nachfolgenden Abbildung 16 werden zwei zufällig gewählte Punkte gezeigt, welche die Übereinstimmung der Daten darstellen soll.

47°12'06.7"N 15°20'39.7"E

47.201873, 15.344353



47°09'45.5"N 15°19'01.7"E

47.162636, 15.317126

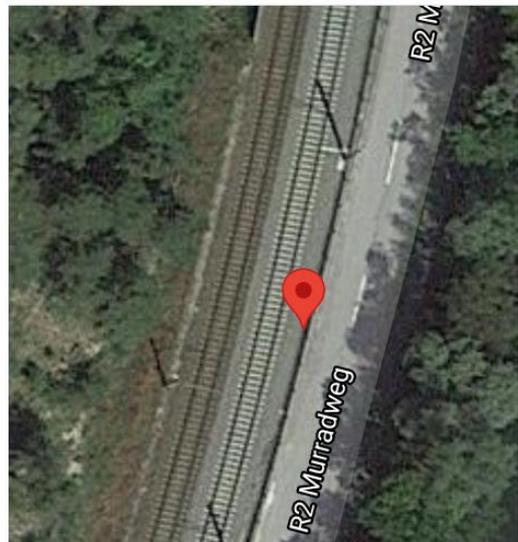


Abbildung 16: Erste Validierung der Daten von OSM nach Konvertierung [21]

Nach erfolgreicher Validierung sind weiterführende Arbeiten dieser Daten überhaupt erst sinnvoll. Dabei werden in der CSV/XLS Datei überschüssige Spalten sowie Zeilen gelöscht, da sie für diese Betrachtung nicht relevant sind. Am Ende sollen lediglich alle Längen- sowie Breitengradeinträge, für die je eine Spalte vorgesehen wird, übrigbleiben.

3.2 Datenstruktur Messwagen und ÖBB

An dieser Stelle werden die Datenstrukturen der vom Messwagen und von den ÖBB bereitgestellten Daten näher betrachtet, um die weiteren Bearbeitungsschritte für die OSM basierten Daten abzuleiten.

Die Daten werden in einem CSV/XLS Format bereitgestellt. Auf dieser Basis sollen, wie eingangs erwähnt, alle Daten zusammengefügt werden. Dies macht vor allem deswegen Sinn, da sich die Daten des Messwagens in kurzen Intervallen (je Messfahrt) ändern können und daher künftige Kopplungen der OSM Daten mit den neuesten Daten der Messfahrten äußerst schnell vollzogen werden können.

Mit den von den ÖBB zur Verfügung gestellten Daten besteht die Datenbank der Technischen Universität Graz aus den folgenden Kategorien: [7]

- Interne Index Nummer
- Gleisnummer
- Kilometrierung
- Belastung
- Krümmung/Radius
- Überhöhung
- Schientyp
- Schwellentyp
- Einbaujahr Schienen
- Einbaujahr Schwellen
- Schienengüte
- Maximalgeschwindigkeit
- Bahnhof (Ja/Nein)
- Brücke (Ja/Nein)
- Weiche (Ja/Nein)
- EKS (Ja/Nein)
- Tunnel (Ja/Nein)
- Zustandsdaten (SIGMA-h, MDZ-a)
- Verwindung, Spurweite
- Maschineneinsätze (Gleisneulage SUZ, Unterbausanierung AHM, Schotterbetteinigung RM, Stopfen und Stabilisieren von Gleisen MDZ, Weichenstopfen PLM und Schleifen)

Mithilfe dieser Datenbestände können umfangreiche Aussagen über den Allgemeinzustand einer Strecke getroffen werden. Neben dem Einbaujahr, Schienen- und Schwellentyp, Belastungen, Schienengüte und Vorkommen von Kunstbauwerken sind die durch den Messwagen erhobenen Zustandsdaten relevante Größen um Investitionsmaßnahmen und Strategien zu entwickeln. Da es nicht nur auf die Daten und in diesem Sinne auf deren Qualität und Quantität ankommt, sondern auch deren Darstellung, Verwertbarkeit und Präsentation eine große Rolle spielt,

3. Eingangsdaten

widmet sich diese Arbeit der strategischen und übersichtlichen Darstellung eben jener Daten. Dabei werden diese Daten, die auf CSV/XLS Basis vorliegen mit GPS-Koordinaten verknüpft und so für eine GIS-Applikation und Verwertung innerhalb dieser visuell nutzbar gemacht.

3.2.1 Messwagen - Daten der Südbahn

Laut Abrollung und Messeinträgen beträgt die Länge der Südbahn 257.915 Meter. Dabei wird je fünf zurückgelegter Meter ein Messeintrag erstellt, welcher die oben genannten Daten enthält. So stellt etwa der Messpunkt km 257,915 den Endpunkt, also den letzten Bahnhof der Südbahn, in diesem Falle der Bahnhof Spielfeld, dar. Den Startpunkt der Südbahn bildet der Hauptbahnhof in Wien, dieser wurde jedoch nicht innerhalb der Messdaten erfasst. Aus diesem Grund beginnt die Messung erst mit km 11,000, was dem Bahnhofs Perchtoldsdorf entspricht. In Summe ergibt das über 50.000 Dateneinträge für je eine Strecke der Südbahn.

3.3 Ermittlung der Streckenlänge der OSM Daten

Da die Gesamtstreckenlänge der Südbahn nun bekannt ist, soll hier die Berechnung der Gesamtstreckenlänge der OSM basierten Daten stattfinden und damit die inhaltliche Fortsetzung zu Kapitel 3.1.6 bilden.

Zuerst müssen der Start- und Endpunkt der Südbahn in den GPS-Koordinaten der OSM Daten identifiziert werden. Für dies stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Entweder über eine iterative Suche mithilfe der Plattform Google Maps, mittels der man versucht, die zum Bahnhof Perchtoldsdorf und Spielfeld gehörenden GPS-Koordinaten innerhalb der in Kapitel 3.1.6 erstellten Daten über einen iterativen Prozess zu finden, oder man liest die GPS-Koordinaten der beiden Bahnhöfe direkt in OpenStreetMaps aus und sucht nach diesen in der in Kapitel 3.1.6 erstellten Datenbank. Hier wurde die letztere Variante gewählt, um unabhängig von Google Maps operieren zu können.

Nach erfolgreicher Identifikation des Start- und Endpunktes, können alle Einträge vor dem Startpunkt, sowie alle Einträge nach dem Endpunkt gelöscht werden. Dies ist deswegen notwendig, weil die von OSM mit „Südbahn“ behafteten Datensätze

3. Eingangsdaten

umfangreicher sind, als die vom Messwagen mit „Südbahn“ deklarierten Datensätze. So sind einige Kilometer vor dem Hauptbahnhof Wien und nach dem Bahnhof in Spielfeld, bis zur Grenze nach Slowenien in den Datensätzen von OSM vorhanden. Dies stellt den ersten Schritt der Synchronisation der Daten dar.

Nun wird eine weitere Spalte im zuvor bearbeiteten Excel-Sheet mit dem Titel „Distanz [m]“ erstellt. Hier wird die Distanz zwischen zweier aufeinander folgenden GPS-Koordinaten wie in Kapitel 2.3.1 berechnet. Wie in Tabelle 3 dargestellt, werden nun zwischen allen GPS-Koordinaten untereinander die Entfernungen zum nächsten Nachbarn berechnet.

Tabelle 3: Entfernungsberechnung zwischen zwei GPS-Koordinaten

	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]
1.	48.1848548	16.3777869	79 34
2.	48.1850124	16.3767476	
3.	48.1850605	16.3762992	

3.3.1 Summenlinienverfahren

Nachdem alle Entfernungen berechnet wurden, wird nun eine weitere Spalte genannt „Summenlinienverfahren“ eingefügt. Hier wird die Summe zwischen dem aktuellen Zeilenwert und dem Nachfolger gebildet. Ist dies geschehen, wird der neu errechnete Wert wieder mit dem Nachfolger summiert. Dieser Schritt wird bis zum letzten Eintrag, also dem Bahnhof Spielfeld, wiederholt. Man erhält auf diese Weise den Abstand von jeder beliebigen GPS-Koordinate zur Anfangs-Koordinate, welche der Hauptbahnhof Wien ist. Der letzte Wert des Summenlinienverfahren stellt dabei die Gesamtlänge der Strecke dar, die sich mit 257891 Metern und den GPS-Koordinaten 46,7086068, 15,6309931 (siehe dazu Abbildung 17) ergibt. Damit ergibt sich in Längsrichtung ein Delta von $257915 - 257891 = 24$ Metern auf

3. Eingangsdaten

eine Gesamtlänge von rund 258 Kilometern. Damit ist die Grundlage für eine mögliche Synchronisation der Daten gesetzt.

46°42'31.0"N 15°37'51.6"E
46.708607, 15.630993



Abbildung 17: Endpunkt der Südbahn laut GPS-Koordinaten aus OSM [21]

4 Darstellung der Daten in Arcmap

In diesem Kapitel werden die finalen Schritte für den Import der Daten in das GIS basierte Programm Arcmap dargelegt.

4.1 Vereinigung der OSM Daten mit den Messwagen Daten

Wie in Kapitel 3.3.1 festgestellt, gibt es eine für diese Größenordnung geringe Abweichung der beiden Längen, welche für die Synchronisation gegenübergestellt werden. Um jeden einzelnen Datensatz des Messwagens auch in Arcmap darstellen zu können reicht es nicht die rund 50000 Messdaten der Südbahn, mit den über 4000 GPS-Koordinaten und Attributen von OSM zu koppeln. Da jede GPS-Koordinate genau einen Punkt in der GIS-Applikation darstellt und jeder Datensatz des Messwagens genau einen Punkt entlang der Eisenbahnstrecke darstellen soll gibt es nur eine logische Konsequenz. Die GPS-Koordinaten von OSM müssen so aufbereitet werden, dass es für jeden Messpunkt des Messwagens genau eine GPS-Koordinate zur Verfügung steht.

4.1.1 Homogenisieren der OSM Daten

Die Entfernung zweier GPS-Koordinaten stellt immer eine lineare Luftlinie dar. Die Darstellung der Eisenbahnstrecken in OSM benutzt dabei exakt dasselbe Prinzip. Zwischen zwei Knotenpunkten (GPS-Koordinaten-Punkten) wird eine gerade Polylinie gelegt, die dem Luftlinienabstand entspricht. Auf geraden Abschnitten werden daher entsprechend weniger Knotenpunkte gesetzt, in Kurven und kurvenreichen Abschnitten entsprechend mehr. So können aus sehr vielen geraden Polylinien eine Kurve ausgebildet werden. Dies ganz nach dem Prinzip der Darstellung eines Kreises mit Pi (siehe dazu Abbildung 18).

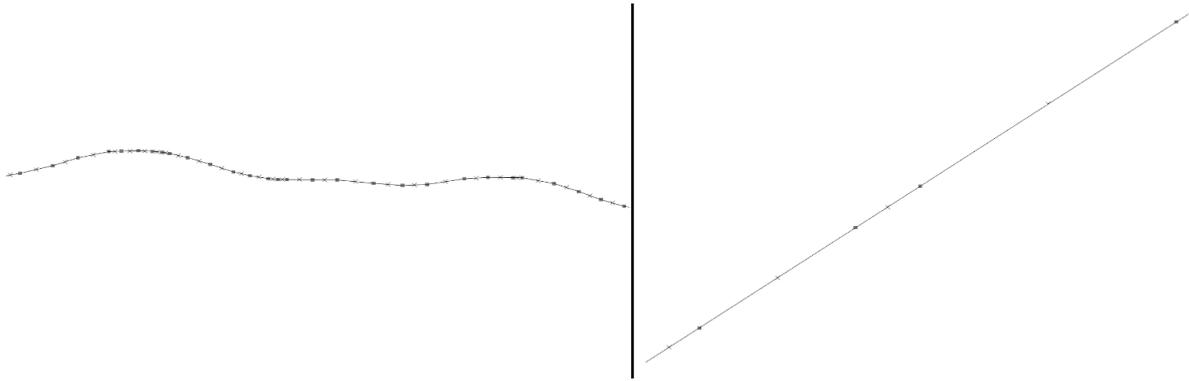


Abbildung 18: Auf der linken Seite ist der Abschnitt in OSM kurvenreich, auf der rechten Seite gerade.

Aufgrund der Tatsache, dass die Verbindung zweier Punkte immer nur eine Gerade sein kann, bietet sich hier die Möglichkeit die GPS-Koordinaten zwischen zwei Punkten linear zu interpolieren. Auf diese Weise können in einem fünf Meter Abstand neue GPS-Koordinaten, die genau auf der Geraden zwischen den betrachteten Punkten liegen müssen, generiert werden. Damit würde man exakt so viele GPS-Koordinaten erhalten, wie Messdaten vom Messwagen zur Verfügung gestellt werden. Um das Delta von 24 Metern (Kapitel 3.3.1) zu kompensieren, legt man den Abstand bei der linearen Interpolation nicht fünf Meter, sondern entsprechend dem Vorzeichen des Deltas, beispielsweise 5,0001 oder 4,9999 Meter zugrunde. Damit wird eine Dehnung oder Stauchung der einzelnen fünf Meter langen Segmente erzeugt, die das Delta gegen Null laufen lassen. Der Fehler ist damit auf die gesamte Länge aufgeteilt und damit verschwindend gering.

4.1.2 Algorithmus zur Homogenisierung der Abstände

Für die Homogenisierung der Abstände wurde für diese Arbeit eigens ein Algorithmus als Makro im Programm Microsoft Office Excel entwickelt. Dieser Algorithmus (Code 2) ermöglicht das automatische Auslesen und interpolieren der GPS-Koordinaten, sowie das Einschreiben der neuen GPS-Koordinaten in eine Datenbank des Messwagens.

Dazu werden die aufbereiteten Daten von OSM und die Messdaten in einem Excel-Sheet vereint. Danach wird ein drittes Arbeitsblatt erstellt, welches nur noch die

4. Darstellung der Daten in Arcmap

Messdaten, sowie zwei zusätzlich angelegte Spalten mit Längen- und Breitengrad enthält. In weiterer Folge wird das Makro, welches die automatische Interpolation durchführen soll, programmiert. Dazu werden alle benötigte Variablen zur Berechnung der Zwischenschritte definiert. Über eine zweifache Schleife wird zuerst der Abstand zwischen zwei GPS-Koordinaten berechnet. Anschließend eine Interpolation mit einem Abstand von fünf Metern durchgeführt. Danach pro neu entstandener GPS-Koordinate, ein neuer Eintrag in den Spalten Längen- und Breitengrad im Excel-Sheet der Messwagendaten erstellt und schließlich der Index um eins erhöht. Sodann beginnt die Schleife von vorne und arbeitet die nächsten beiden GPS-Koordinaten ab.

```
Sub HOMOGENISIERUNG()
```

```
Dim b As Long
```

```
Dim i As Long
```

```
Dim x As Long
```

```
Dim a As Long
```

```
x = 0
```

```
For b = 2 To 5000
```

```
For i = 0 To 1000
```

```
If b = 2 Then a = 2
```

```
If b > 2 Then a = 1
```

```
If i <= ((Worksheets("Tabelle1").Cells(b + 1, 5).Value - Worksheets("Tabelle1").Cells(b, 5).Value) / 5) Then Worksheets("Kilometrierung").Cells(i + a +
```

```

x, 1).Value = Worksheets("Tabelle1").Cells(b, 1).Value + (Worksheets("Ta-
belle1").Cells(b + 1, 1).Value - Worksheets("Tabelle1").Cells(b, 1).Value) /
(((Worksheets("Tabelle1").Cells(b + 1, 5).Value - Worksheets("Ta-
belle1").Cells(b, 5).Value)) / 5) * i

    If i <= ((Worksheets("Tabelle1").Cells(b + 1, 5).Value - Worksheets("Ta-
belle1").Cells(b, 5).Value) / 5) Then Worksheets("Kilometrierung").Cells(i + a +
x, 2).Value = Worksheets("Tabelle1").Cells(b, 2).Value + (Worksheets("Ta-
belle1").Cells(b + 1, 2).Value - Worksheets("Tabelle1").Cells(b, 2).Value) /
(((Worksheets("Tabelle1").Cells(b + 1, 5).Value - Worksheets("Ta-
belle1").Cells(b, 5).Value)) / 5) * i

Next

x = ((Worksheets("Tabelle1").Cells(b + 1, 5).Value - Worksheets("Ta-
belle1").Cells(b, 5).Value) / 5) + x

Next

End Sub

```

Code 2: Excel-basiertes Programm zur Homogenisierung der Abstände zwischen zwei Koordinaten

Nachdem der Algorithmus alle OSM GPS-Koordinaten durchlaufen hat, erhält man Messdaten, welche mit GPS-Koordinaten von OSM ausgestattet sind. (Siehe Tabelle 4)

Tabelle 4: Verknüpfung der OSM GPS-Koordinaten mit den Daten des Messwagens

Breitengrad	Längengrad	[m]	Gleisanzahl	Belastung	Krüm- mung	Schienen- typ	...
48.1230296	16.2855374	11000	2	68677	0	4	...
48.1229849	16.2855438	11005	2	68677	0	4	...
48.1229402	16.2855502	11010	2	68677	0	4	...
...

4.1.3 Validierung

Die neu erhaltenen verknüpften Daten werden nun validiert und auf deren Qualität überprüft. Ohne diesen Schritt wären alle nachfolgenden Ergebnisse nicht aussagekräftig, da eine gänzlich falsche Lage des Gleises ganz andere Schlüsse ziehen lassen könnte.

In den Daten des Messwagens wird unter anderem jede Brücke, jeder Tunnel, jeder Bahnhof und jede Weiche indiziert. Dabei ist der Wert in der entsprechenden Zeile und Spalte immer Null, es sei denn eines der zuvor genannten Bauwerke wird befahren. Dabei herrscht eine gewisse Unschärfe, denn das Befahren eines solchen Bauwerkes wird mit der Zahl Eins indiziert, die Lage des Mittelpunktes wird hingegen mit einer Zwei gekennzeichnet. Nach Verlassen des Bauwerkes springt der Wert auf Null zurück. In der nachfolgenden Tabelle wird diese Systematik dargestellt.

Tabelle 5: Indikator für Bahnhöfe, Brücken, Weichen und Tunnel

M	N	O	P
Bahnhof	Brücken	Weichen	Tunnel
2	0	0	0
1	0	0	0
1	0	0	0
1	0	0	0
1	0	0	0
1	0	0	0
1	0	0	0
1	0	0	0
1	0	0	0
1	0	0	0
1	0	0	0
1	0	0	0
1	0	0	0
1	0	0	0

Für die Validierung des Standpunktes, wird eine Zeile betrachtet, in der einer der zuvor genannten Parameter den Wert „2“ enthält. In diesem Fall wird zuerst die Validierung über die Bahnhöfe gewählt, da dieses Bauwerk einen unmissverständlichen Standort besitzt. Da Weichen beispielsweise oft hintereinander angeordnet sind, ist meist nicht klar, welche Weiche in den Datenbanken, welche Weiche in

4. Darstellung der Daten in Arcmap

Google Maps oder in OSM indiziert. Zuerst wird der erste und der letzte Bahnhof überprüft, um die Grenzen abzustecken und um zu erfahren, ob eine Kalibrierung wie in Kapitel 4.1.1 vorgezeigt notwendig ist.

Tabelle 6: Datensatz auf Höhe Bahnhof Perchtoldsdorf

Breitengrad	Längengrad	m	Bahnhof	Brücken	Weichen	Tunnel
48.1230296	16.2855374	11000	2	0	0	0

48°07'22.9"N 16°17'07.9"E

48.123030, 16.285537

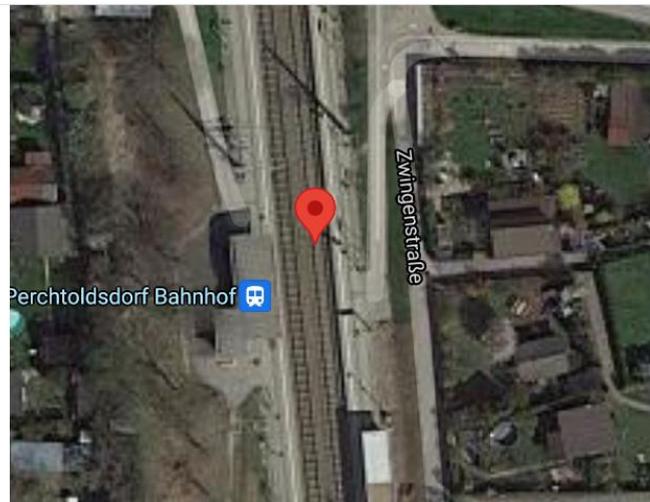


Abbildung 19: Validierung Bahnhof Perchtoldsdorf – Daten scheinen in Ordnung zu sein [21]

Da der erste Versuch erfolgreich verlief, wird nun der Endpunkt der Strecke untersucht. Diese Untersuchung wird in Tabelle 7, sowie in Abbildung 20 dargestellt.

Tabelle 7: Datensatz auf Höhe Bahnhof Perchtoldsdorf

Breitengrad	Längengrad	m	Bahnhof	Brücken	Weichen	Tunnel
46.7074578	15.6322272	257915	2	0	0	0

46°42'26.9"N 15°37'56.0"E

46.707458, 15.632227

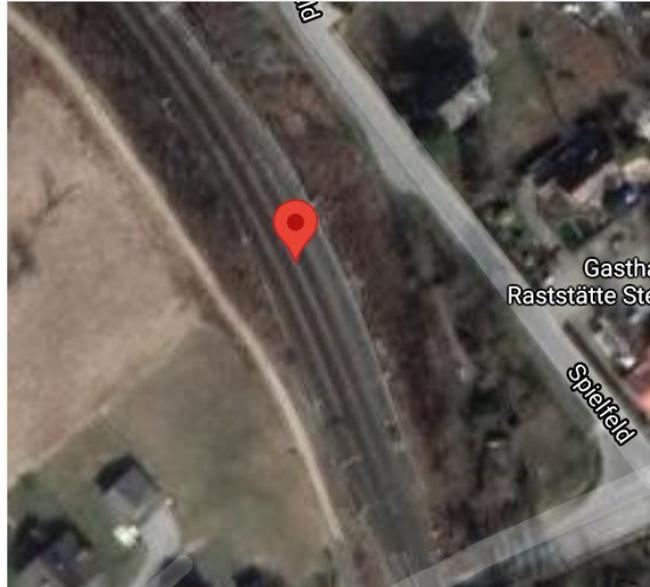


Abbildung 20: Validierung Bahnhof Spiefeld – Daten scheinen nicht in Ordnung zu sein [21]

4.1.4 Kalibrierung

Da zwischen den Koordianten von Google Maps und den errechneten Koordianten eine Längsverschiebung entlang der Gleisachse auftritt, müssen die Berechnungen kalibriert werden. Nun bieten sich zwei verschiedene Möglichkeiten an: Als erstes könnte man eine Längskalibrierung durchführen. Bei dieser werden statt fünf Meter Segmente, minimal kleinere Segmente mit einem Delta beim Homogenisierungsprozess (siehe Kapitel 4.1.2) verwendet. Auf diese Weise würde jeder Messpunkt mit einem 5 Meter Abstand in den Datenbanken einen GPS Punkt zugewiesen bekommen, der einen minimal geringeren Abstand als 5 Meter zu seinem Nachbar besitzt. Damit würde der GPS Punkt auf der Karte in Abbildung 20 in Richtung Norden wandern. Durch mehrfache Iteration wird der GPS Punkt genau in der Mitte des Spielfled-Bahnhofes liegen. Die zweite Möglichkeit wäre eine Koppelung von Fixpunkten und segmentweises Kürzen, oder Verlängern der GPS-Koordinaten Abstände. Da dadurch die gesamte Strecke jeweils zwischen den einzelnen Fixpunkten (Weichen, Bahnhöfe, Kunstbauwerke etc.) mit verschiedenen großen Dehnungen und Stauchungen konfrontiert würde, wäre die Kontinuität und die Aussagekraft der Daten enorm beschnitten, obgleich alle Fixpunkte genau an den für sie vorgesehen Ort (laut den Google Luftbildern) zu liegen kämen.

Die Kilometrierung wird als absolute Fixgröße und als wahre Länge angenommen. Demnach wurde zwischen den genannten Fixpunkten auch eine wahre Länge zurückgelegt. Würde man die Abstände zwischen den Fixpunkten nun als variabel betrachten, würde dies die Grundannahme unterminieren. Es wird daher angenommen, dass die vom Messwagen aufgenommenen Fixpunkte mit der dazugehörigen Kilometrierung die wahren Standorte derselben wiedergibt, dies auch dann, wenn einzelne Punkte nicht synchron mit den Daten von Google Maps sind. Entscheidend ist dabei, dass der Anfangs- und Endpunkt der Strecke bekannt sind. Mithilfe dieser Information können die GPS-Koordinaten (wie in Möglichkeit Eins dargestellt) kalibriert werden. Durch die minimale Verkleinerung der Segmente, wird daher lediglich ein Berechnungsfehler, der sich auf über 200 Km aufgebaut hat, ausgeglichen. Die Erdkrümmung, sowie die Erdoberfläche wurde mit idealen Werten berechnet, die tatsächlich nicht der Realität entsprechen können (siehe dazu Kapitel 2.3.1). Da sich der Fehler laufend durch die nicht ideale Erdoberfläche aufbaut, sich aber erst bei größeren Entfernungen auswirkt, wird Kalibrierungsprozess proportional zum Abstand ausgeführt. Auf diese Weise erfährt das erste Segment durch den Kalibrierungsprozess das geringste Delta, während das Delta sich fortlaufend vergrößert bis hin zum letzten Segment, dessen Delta am größten ist. Der in Kapitel 4.1.2 ausgewiesene Algorithmus wird dazu um die nachfolgende Zeile ergänzt.

$$d = 5 - \frac{0.012}{50000} * (x + 1) \quad (1)$$

Mit:

d ... Funktion Kalibrierung Distanz

5 ... fünf Meter Abstand

0,012 ... Korrekturwert, iterativ anzunehmen für jede Strecke

50000 ... Anzahl der zu korrigierenden Datensätze

x ... Laufvariable für Anzahl der Datensätze [0, 1, 2, 3...]

Setzt man hier die Grenzen ein, so wird das erste Segment kaum beeinflusst, während das letzte Segment eine Verkürzung bei 5 Metern um etwa 1,2 cm erfährt:

$$[x = 0]: \quad d = 5 - \frac{0.012}{50.000} * (0 + 1), \quad d = 4,99999976 \text{ m} \quad (2)$$

$$[x = 50.000]: \quad d = 5 - \frac{0.012}{50.000} * (50.000 + 1), \quad d = 4,98799976 \text{ m} \quad (3)$$

Zuletzt wird die Validierung wie in Kapitel 4.1.3 fortlaufend wiederholt und der Korrekturwert iterativ angepasst, bis man das gewünscht Ergebnis erhält. Nun stimmt der Anfangspunkt, sowie der Endpunkt der Strecke, in diesem Fall werden die Bahnhöfe indiziert, mit den Daten von den Google Maps Luftbildern überein.

4.2 Aufbereiten der Daten für Arcmap

Um die Daten in weiterer Folge in einer GIS Applikation nutzen zu können, bedarf es spezifischer Anpassungen, je nach verwendetem Programm. Im Falle von Arcmap sind die folgenden Voraussetzungen zu treffen:

1. Der Import aus Excel Datenbanken wurde in Arcmap für das Format .xls (Excel Spreadsheet) optimiert. Dieses wird von Excel mittlerweile nicht mehr standardmäßig genutzt, da es durch das neuere .xlsx Format abgelöst wurde. Man konvertiert das Format von .xlsx in .xls, oder man installiert ein Addon für Arcmap, die sogenannte „DatabaseEngine“ wodurch auch .xlsx Formate zum Datenimport zugelassen werden. Beides führt zum selben Ergebnis, wenngleich die zweite Variante der ersten vorzuziehen ist, da durch die Konvertierung beispielsweise Formatierungen oder andere Parameter verändert werden könnten. [22]

2. Damit die Struktur der Excel basierten Daten von Arcmap erkannt werden kann, ist es notwendig für jede Spalte eine Überschrift in den Excel Tabellen vorzusehen. Dabei sollten die ersten beiden Spalten die Koordinaten der Daten mit den Überschriften „Latitude“ für die Breitengrade und „Longitude“ für die Längengrade beinhalten.

3. Sofern die Zellen, in den Excel Tabellen in denen Zahlenwerte gespeichert sind, nicht explizit als Zahlen formatiert wurden, kommt es vor, dass die entsprechenden Datensätze von Arcmap als Text anstatt als Zahl erkannt werden. Dies kann

in weiterer Folge zu fatalen Fehlern in der Auswertung führen, sollte dieser Umstand nicht rechtzeitig bereinigt werden. Es bietet sich jedoch auch in Arcmap noch die Möglichkeit, die entsprechenden Spalten als Zahlen zu werten. Da es hier aber zu Problemen, wie beispielsweise mit der Null kommen kann (die Null wird mit der Textformatierung als „Null“ ausgeschrieben, während die anderen Zahlen noch als Zahlen erkennbar sind, aber in ein Textfeld geschrieben wurden) wird die Formatierung in den Excel Datenbanken empfohlen.

4. Zuletzt müssen die Daten eine gewisse Vollständigkeit und Kontinuität aufweisen. Während spaltenweise Datenlücken in der Regel kein Problem darstellen, kann es bei zeilenweisen Datenlücken zu Problemen kommen. Als spaltenweise Datenlücke wäre hier ein Messpunkt mit den entsprechenden Koordinaten mit fehlenden Einträgen, wie beispielweise bei der Maximalgeschwindigkeit (Vzg) oder Schwellentyp, aufgrund unvollständiger Datensätze zu verstehen. Eine zeilenweise Lücke würde aber auf einen fehlenden Messpunkt hindeuten. Kommt es zu der Situation, dass für einen Datensatz Parameter wie Vzg oder Schwellentyp angegeben sind, aber die Koordinaten fehlen, würde Arcmap diesen Punkt nicht darstellen können und der Import würde fehlschlagen. Aus diesem Grund sind Datenlücken, speziell an den Rändern der Datensätze zu prüfen.

4.3 Import und Darstellung als Shape-Datei

Wurde der Datensatz entsprechend der in Kapitel 4.2 beschriebenen Schritte vorbereitet, kann der .xlsx Datensatz in Arcmap über die Funktion File – Add Data – Add XY Data... eingelesen werden. Dazu wird der Pfad zum Datensatz gewählt, im Feld „X Field“ wird dazu „Longitude“ und im Feld „Y Field“ „Latitude“ ausgewählt, während das Feld „Z Field“ frei bleibt, da die Daten eine Georeferenz im 2-D Bereich darstellen. Nach erfolgreichem Import des Datensatzes werden die Datensätze nun als Punkte in Arcmap dargestellt. Jeder Punkt liegt auf der Strecke der Südbahn bzw. stellt diese dar. Alle Punkte sind zu ihrer visuellen Darstellung ebenfalls mit all ihren Parametern verknüpft. Um mit den Parametern (Gleisanzahl, Belastung, Krümmung, etc.) arbeiten zu können, ist ein weiterer Bearbeitungsschritt erforderlich, da die Daten in der „attribute table“ noch nicht dargestellt werden. Dazu muss dieser Datensatz noch einmal mit der Funktion Data – Export Data

4. Darstellung der Daten in Arcmap

exportiert werden und nach automatischer Nachfrage von Arcmap den Datensätzen von Arcmap wieder hinzugefügt werden. Unter „Open Attribute Table“ können nun sämtliche Parameter des Datensatzes angezeigt, abgefragt und bearbeitet werden.

Tabelle 8 Darstellung der Datensätze in Arcmap in der „Attribute Table“.

Latitude	Longitude	km	Gleisanzahl	Belastung	Krümmung	Schiementyp	Schwellentyp	Schienebreite	Vza	Bahnhof	Brücken	Weichen	Eks	Tunnel	MD21	MD22	MD23	MD24	MD25
48.090842	16.292237	146	2	68677	-5.1133	100	100	100	160	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
48.090801	16.292285	146	2	68677	-6.0884	100	100	100	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.09076	16.292293	146	2	68677	-6.0634	100	100	100	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.090716	16.292322	146	2	68677	-6.0384	100	100	100	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.090676	16.292349	146	2	68677	-6.0135	100	100	100	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.090635	16.292377	146	2	68677	-5.9885	100	100	100	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.090594	16.292404	146	2	68677	-5.9635	100	100	100	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.090553	16.292432	146	2	68677	-5.9385	4	2	2	160	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
48.090512	16.29246	146	2	68677	-5.9136	4	2	2	160	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
48.090471	16.292487	146	2	68677	-5.8886	100	100	100	160	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
48.09043	16.292515	146	2	68677	-5.8636	100	100	100	160	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
48.090389	16.292542	147	2	68677	-5.8386	100	100	100	160	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
48.090348	16.29257	147	2	68677	-5.8137	100	100	100	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.090307	16.292598	147	2	68677	-5.7887	100	100	100	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.090266	16.292624	147	2	68677	-5.7637	100	100	100	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.090227	16.292653	147	2	68677	-5.7388	100	100	100	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.090187	16.292682	147	2	68677	-5.7138	100	100	100	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.090147	16.292712	147	2	68677	-5.6888	100	100	100	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.090106	16.292741	147	2	68677	-5.6638	100	100	100	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.090066	16.29277	147	2	68677	-5.6389	100	100	100	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.090025	16.292799	147	2	68677	-5.6139	100	100	100	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.089985	16.292828	147	2	68677	-5.5889	100	100	100	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.089944	16.292858	147	2	68677	-5.5639	4	2	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.089904	16.292887	147	2	68677	-5.5389	4	2	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.089863	16.292916	147	2	68677	-5.5139	4	2	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.089823	16.292945	147	2	68677	-5.4889	4	2	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.089782	16.292974	147	2	68677	-5.4641	4	2	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.089741	16.293017	147	2	68677	-5.4391	4	2	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.089701	16.293046	147	2	68677	-5.4141	4	2	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.089661	16.293074	147	2	68677	-5.3891	4	2	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.089621	16.293103	147	2	68677	-5.3642	4	2	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.089581	16.293132	148	2	68677	-5.3392	4	2	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.089541	16.293161	148	2	68677	-5.3142	4	2	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.089501	16.29319	148	2	68677	-5.2892	4	2	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.089461	16.293218	148	2	68677	-5.2643	4	6	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.089421	16.293246	148	2	68677	-5.2393	4	6	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.089381	16.293275	148	2	68677	-5.2143	4	6	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.089341	16.293303	148	2	68677	-5.1894	4	6	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.089301	16.293332	148	2	68677	-5.1644	4	6	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.089261	16.293361	148	2	68677	-5.1394	4	6	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.089221	16.293389	148	2	68677	-5.1144	4	6	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.089181	16.293418	148	2	68677	-5.0895	4	6	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.089141	16.293447	148	2	68677	-5.0645	4	6	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.089101	16.293475	148	2	68677	-5.0395	4	6	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.089061	16.293504	148	2	68677	-5.0145	4	6	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.089021	16.293533	148	2	68677	-4.9896	4	6	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.088981	16.293561	148	2	68677	-4.9646	4	6	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.088941	16.29359	148	2	68677	-4.9396	4	6	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.088901	16.293619	148	2	68677	-4.9147	4	6	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.088861	16.293647	148	2	68677	-4.8897	4	6	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.088821	16.293676	148	2	68677	-4.8647	4	6	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.088781	16.293705	149	2	68677	-4.8397	4	6	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.088741	16.293733	149	2	68677	-4.8148	4	6	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.088701	16.293762	149	2	68677	-4.7898	4	6	2	160	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.088661	16.293791	149	2	68677	-4.7648	4	6	2	160	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.088621	16.293819	149	2	68677	-4.7398	4	6	2	160	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.088581	16.293848	149	2	68677	-4.7149	4	6	2	160	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.088541	16.293877	149	2	68677	-4.6899	4	6	2	160	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.088501	16.293905	149	2	68677	-4.6649	4	6	2	160	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.088461	16.293934	149	2	68677	-4.64	4	6	2	160	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.088421	16.293963	149	2	68677	-4.615	4	6	2	160	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.088381	16.293991	149	2	68677	-4.59	4	6	2	160	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.088341	16.29402	149	2	68677	-4.565	4	6	2	160	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.088301	16.294049	149	2	68677	-4.5401	4	6	2	160	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.088261	16.294078	149	2	68677	-4.5151	4	6	2	160	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.088221	16.294107	149	2	68677	-4.4901	4	6	2	160	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.088181	16.294136	149	2	68677	-4.4651	4	6	2	160	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.088141	16.294165	149	2	68677	-4.4402	4	6	2	160	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48.088101	16.294194	149	2	68677	-4.4152	4	6	2	160	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Diese Schritte werden für den zweiten Datensatz, Gleis 2 der Südbahn wiederholt. Auf diese Weise sind die von OSM exportierten Daten der Südbahn nun in eine GIS Umgebung in Arcmap überführt und können in weiterer Folge dort bearbeitet und für verschiedene Visualisierungszwecke genutzt werden.

5 Verarbeitung der Daten – Ergebnisse

In diesem Abschnitt der Arbeit sollen die aufbereiteten und in Arcmap importierten Datensätze beispielhaft für einen Streckenabschnitt für verschiedene Zwecke visualisiert und interpretiert werden. Der betrachtete Streckenabschnitt wird hierbei die Strecke von Kilometer 201 bis Kilometer 208 auf der Südbahn sein. Außerdem wird in diesem Kapitel abschließend auf die Möglichkeiten von derartigen Visualisierungen, sowie auf deren Grenzen in Bezug auf Qualität und Interpretationen eingegangen.

5.1 Visualisierungen

Um in Arcmap mehrere Visualisierung zu realisieren, wird der bestehende Shape Datensatz, welcher in Kapitel 4.3 importiert wurde, kopiert und entsprechend seiner Visualisierungsaufgabe benannt. Anschließend wird die Shape Datei unter Properties – Symbology entsprechend des gewünschten Einsatzbereiches ausgewählt und optisch konfiguriert. Dabei müssen sinnvolle Grenzen definiert werden um beispielsweise den Zustand „Gut“ als „Grün“ und den Zustand „Schlecht“ als „Rot“ zu klassifizieren. Sind die Grenzen falsch gesetzt, hätte die anschließende Visualisierungskarte keine Aussagekraft mehr, da beispielsweise ein schlechter Zustand als gut ausgewiesen werden könnte. Nachfolgend werden verschiedene Ergebnisse grafisch präsentiert.

5.1.1 Schwellen

Auf der Südbahn sind mindestens fünf verschiedene Schwellenmaterialien verbaut (siehe dazu Abbildung 21). Da die Daten für die Schwellen hier beinahe für die gesamte Südbahn vorhanden sind, wird daher die gesamte Strecke betrachtet. Mithilfe der grafischen Auswertung, wird die Verteilung bzw. die Lage der verschiedenen Schwellentypen, sowie deren Einbaujahr dargestellt. undefinierte Bereiche auf der Strecke werden dabei schwarz dargestellt. Hierbei handelt es sich um fehlende Datensätze. Mithilfe dieser Darstellung, können die Verteilung der Schwellentypen, sowie die Einbaujahre sehr schnell aufgezeigt werden. Für weitere Bear-

beitungsschritte wäre beispielsweise eine Abfrage, wo Schwellen mit dem Einbaujahr vor 1981 und des Schwellentyps Holz liegen, denkbar. Hierzu würde folgende SQL Abfrage in Arcmap zur Anwendung kommen:

"Schwelle_E" <= 1981 AND "Schwelle_E" > 0 AND "Schwellent" = 2

Folglich werden diese Stellen sofort auf der Karte sichtbar (siehe dazu Abbildung 22).

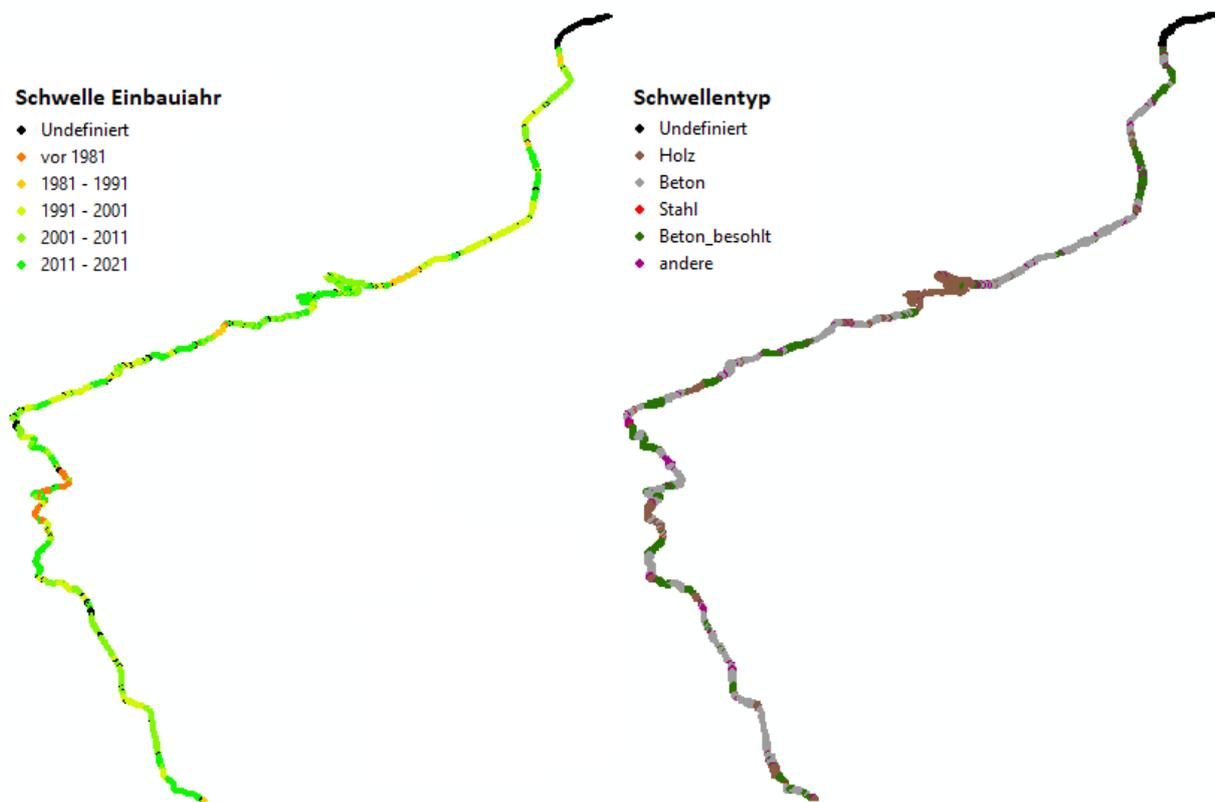


Abbildung 21: Südbahn: Darstellung aller Schwellen farbkodiert nach Einbaujahr (links), Darstellung aller Schwellen farbkodiert nach Typ (rechts)

Nachfolgend wird eine kombinierte Abfrage vorgestellt. Es sollen alle Bereiche gekennzeichnet werden, welche einerseits ein Schwelleneinbaujahr vor 1981 besitzen und andererseits aus Holz bestehen. Auf diese Weise können ältere Schwellen, welche aufgrund der Umwelteinflüsse defekt oder morsch geworden sein könnten, schnell geografisch geortet werden. Zusätzlich wäre die Kombination mehrerer

einschlägiger Attribute (SIGMA-h, etc.) denkbar, um defekte Schwellen genauer zu orten, da das Alter alleine u.U. zu wenig Aussagekraft besitzt. In weiterer Folge können diese vor Ort oder via Videomitschnitt begutachtet werden.

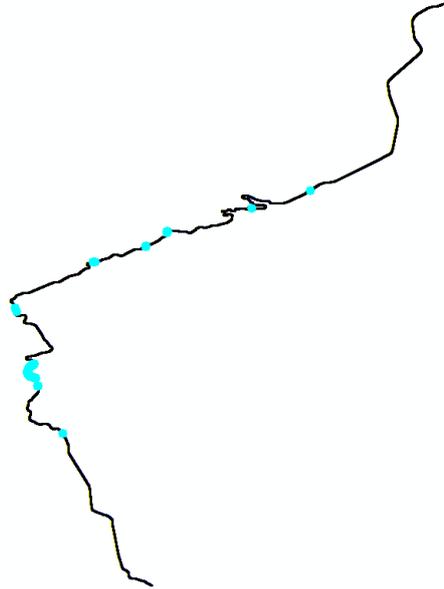


Abbildung 22: Südbahn: In Türkis sind alle Schwellen die vor 1981 eingebaut wurden und den Typ Holz besitzen dargestellt.

Den kombinierten Abfragen sind dabei keine Grenzen gesetzt. So könnte man einen Bereich, welcher vom Messwagen mit einem Fehler protokolliert wurde, genauer auswerten und exakt dieselben Parameter als Abfrage für die übrige Strecke anwenden. Auf diese Weise könnten Rückschlüsse gezogen werden, welche ein spezifisches Fehlerbild auf eine konkrete Parameterkonstellation zurückführen könnte.

5.1.2 Gleisstopfmaschine

Aufgrund von wechselnden Belastungen und Umwelteinflüssen, erfährt das Gleis im Zuge der Beanspruchungen Höhen- und Längsabweichungen. Da selbst kleinste Abweichungen im Millimeterbereich Auswirkungen auf die höchstzulassene Reisegeschwindigkeit des über das Gleis bewegenden Zuges haben, wird in bestimmten zeitlichen Intervallen eine Gleisstopfmaschine eingesetzt. Diese soll das Gleis wieder in seine optimale Lage zurückführen, indem sie das Gleis hebt, den Schotter

unter die Schwellen stopft und ihn durch Vibrationen und Auflasten verdichtet. Dieses Verfahren ist mittlerweile weitestgehend automatisiert, wobei zumeist die Asynchron-Gleichdruck-Stopfung zum Einsatz kommt. [23] [24]

In der nachfolgenden

Abbildung 23 werden die Auswirkungen der Gleisstopfmaschine in Bezug auf die Höhenlage des Gleises auf der Südbahn im Abschnitt von Streckenkilometer 201 bis 208 präsentiert. Die Standardabweichung σ_H wird nach jeder Überfahrt der Gleisstopfmaschine ausgewertet. Die Grenzen der Visualisierung orientieren sich dabei am Instandhaltungsplan der ÖBB. Der rote Bereich erlaubt dabei Geschwindigkeiten von maximal 80 km/h, der orange Bereich stellt dabei die obere Grenze für eine Geschwindigkeit von maximal 120 km/h dar, der gelbe Bereich hingegen stellt die untere Grenze für eine Geschwindigkeit von maximal 200 km/h dar und der grüne Bereich ist mit theoretischen 300 km/h limitiert. Wobei hier zu beachten ist, dass die tatsächlich erlaubte Geschwindigkeit auch von anderen Faktoren wie etwa vom Bogenradius abhängig ist.

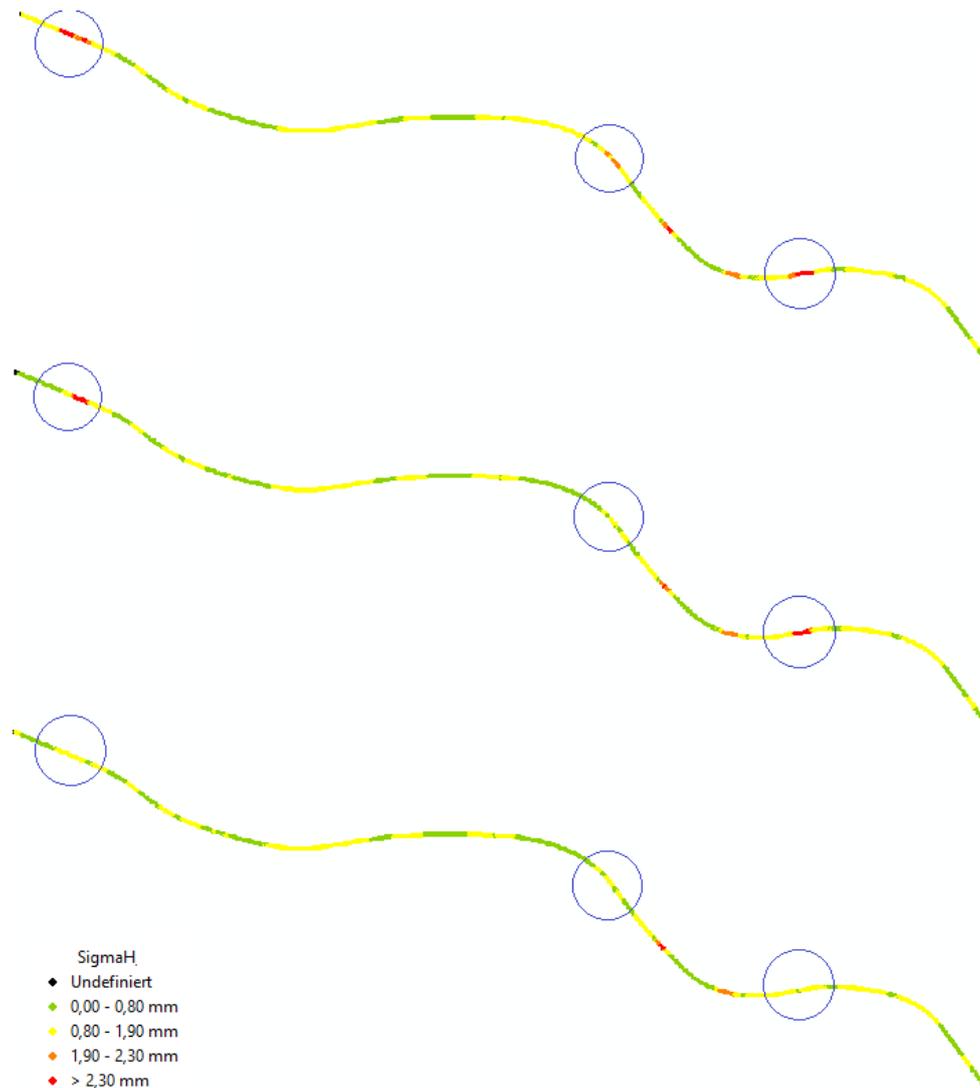


Abbildung 23: Darstellung der Auswirkung der Stopfmaschine in Bezug auf die Standardabweichung SigmaH der Gleislage von km 201,000 bis km 208,000

5.1.3 Krümmung und Höchstgeschwindigkeit

Wie zuvor erwähnt, ist neben dem Streckenzustand in erster Linie der Bogenradius für die Höchstgeschwindigkeit der auf dem Abschnitt reisenden Zuges von Bedeutung. Zu diesem Zweck wurde in Abbildung 24 einerseits die Krümmung und andererseits die zugelassene Höchstgeschwindigkeit visualisiert. Hierbei ist der Umstand zu beobachten, dass bei kleinen Krümmungen (grün) hohe Geschwindigkeiten (rot) zugelassen sind und umgekehrt.

5. Verarbeitung der Daten - Ergebnisse

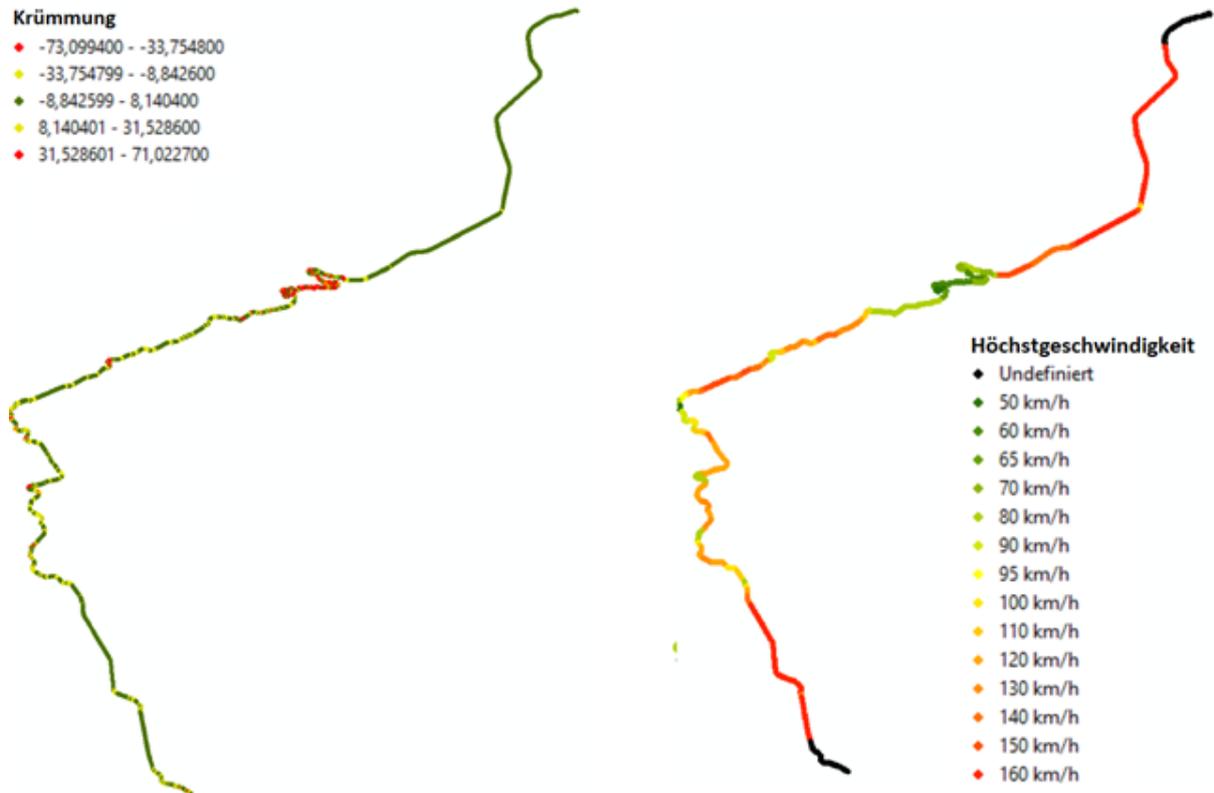


Abbildung 24: Südbahn: Krümmung (links), Zulässige Höchstgeschwindigkeit (rechts).

5.2 Möglichkeiten

Mit Hilfe von Messfahrten, so wie sie seit Anfang der 2000er Jahre von den ÖBB regelmäßig über das gesamte Streckennetz von Österreich durchgeführt werden, können die gewonnenen Daten automatisiert verarbeitet werden. In weiterer Folge können die Daten visualisiert und in einer übersichtlichen und verständlichen Form der Streckenerhaltung dargestellt werden. Die Strecke wird dabei als Indikator für ihren Zustand in verschiedenen Farben codiert. Der Betrachter bekommt damit einen sehr raschen Überblick über das Ausmaß der schadhafte Abschnitte, wenn diese – basierend auf entsprechenden Daten – als schadhaft befunden und z.B. rot dargestellt werden. Durch Einspielen der jeweils aktuellen Messfahrtsdaten, kann so visuell die Veränderung des Streckenzustandes betrachtet werden. Die vom Messwagen erhobenen Daten sind nunmehr nicht in abstrakten Datenbanken abgelegt, sondern in eine 2D Karte überführt. Mithilfe von Arcmap können diese Strecken mit Basislandkarten hinterlegt werden, wodurch sofort die Umgebung der

Strecke sichtbar wird. Auf diese Weise können die Zugänglichkeit zur Strecke und die Lage sofort eruiert werden.

5.3 Grenzen

Durch die aufwendige Bearbeitung der Daten von deren Aufzeichnungen durch den Messwagen bis zu deren Visualisierung können zum einen Fehler in der Umsetzung passieren, zum anderen gibt es immer kleine Diskrepanzen zwischen den verschiedenen Datensätzen (Georeferenz und Parameter) von OSM und Messwagen. Da die Ursprünge der Daten zwischen OSM und dem Messwagen grundverschieden sind, gestaltet es sich schwierig eine umfassende Synchronisation der beiden zu erreichen. Zumal die Daten in gewissen Zeitabständen grundlegend verändert werden.

Überdies kommt hinzu, dass der Messwagen nicht den Luftlinienabstand zwischen zwei Punkten zurücklegt, sondern eine tatsächliche Strecke über das Gleis abrollt. Da die Gleise nicht auf einer Ebene in derselben Höhe liegen und sich auf einer vereinfachten Kugel (Erde) befinden, muss stets, in Abhängigkeit von betriebenen Aufwand, mit Diskrepanzen zwischen Modell und der Realität gerechnet werden. In dieser Arbeit wurden etwa Längendiskrepanzen der Südbahn zwischen OSM und dem Messwagen über eine Funktion dynamisch angepasst, wodurch ein passables Ergebnis erreicht wurde. Die Strecken besitzen somit mit Abweichungen im einstelligen Meterbereich über eine Länge von rund 250 Kilometern. Dennoch sind vereinzelt größere Abstände innerhalb der Strecke zwischen zwei Fixpunkten zu beobachten, was darauf schließen lässt, dass gewisse Annahmen in der Berechnungsfunktion der Realität nicht in befriedigendem Ausmaß gerecht werden, oder gewisse Datensätze in OSM nicht der Realität entsprechen. Die Summe dieser beiden Umstände belegt die Daten und deren Verarbeitung mit einer Unschärfe, derer man sich bewusst sein muss.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Es ist gelungen, die Daten von OpenStreetMap zu extrahieren, um sie in weiterer Folge für eine Verknüpfung mit den Datenbanken der ÖBB vorzubereiten. Nach mehreren Konvertierungen und teilweise manueller Aufbereitung der Daten von OSM, konnten diese in eine adäquate Form gebracht werden, welche eine Synchronisation überhaupt erst ermöglichte. Die größte Herausforderung bestand darin, einen Algorithmus zu erstellen, welcher die Abstände zwischen zweier Koordinaten in den OSM Daten homogenisiert. Die Daten des Messwagens geben einen Abstand von fünf Metern pro Dateneintrag vor. Daher wurden die Abstände zwischen den Koordinaten ebenfalls in fünf Meter Abstände gegliedert. Es wurden dennoch neue Koordinaten generiert, welche auf der Linie des Abstandes zweier vorhandener Koordinaten zu liegen kommen, dies jedoch mit einem Abstand von jeweils fünf Metern. Da es eine Diskrepanz zwischen der Streckenlänge, welche vom Messwagen erhoben wurde, und jener, welche sich durch aufsummieren aller Abstände der Koordinaten der OSM Datensätze ergab, musste eine Kalibrierung durchgeführt werden. Da der Messwagen die Strecke tatsächlich durch Abrollung der Zugräder auf den Gleisen zurücklegte, gibt die vom Messwagen erhobene Länge die wahre Länge vor. Die Diskrepanz ergibt sich aus verschiedenen Faktoren wie Erdkrümmung, der wahren Oberflächengeometrie und Kontinentalverschiebungen der Erde. Da sich der Fehler zwischen den Streckenlängen zunehmend mit der zurückgelegten Strecke vergrößert, wurde mit einem Algorithmus der fünf Meter Abstand zwischen den Koordinaten proportional zur zurückgelegten Strecke ein Delta berücksichtigt, welches aufsummiert genau die Diskrepanz zwischen den zwei Streckenlängen ergibt. Auf diese Weise haben beide Datensätze eine synchrone Länge mit derselben Anzahl an Einträgen. Jedem Koordinatenpunkt kann nun so genau ein Dateneintrag zugewiesen werden. Nach einer entsprechenden Aufbereitung der neu entstandenen Daten, können diese nun in einer GIS Applikation eingesetzt werden. Die Daten stellen so eine 2D Karte dar, wobei jeder Koordinatenpunkt auf der Karte mit Attributen (Daten des Messwagens) ausgestattet ist. Mit der Softwarelösung Arcmap wurden verschiedene Visualisierungen umgesetzt. Wie etwa die Auswirkung einer Stopfmaschine auf die Standardabweichungen zur Längshöhe, oder der Darstellung aller eingebauten Schwellentypen in Farbe. Die Qualität der Daten spricht für eine derartige Auswertung. Alle generierten Koordinatenpunkte liegen tatsächlich auf dem wahren Verlauf der Strecke.

Dennoch gibt es immer wieder kleinere Abweichungen, da nicht immer klar ist, welches Gleis in einem Bahnhof vom Messwagen befahren wurde, oder ob alle Daten vom Messwagen richtig erfasst wurden. Hinzu kommt, dass nicht immer von einer Vollständigkeit der Datensätze in OSM auszugehen ist. Aus diesem Grund war eine Synchronisation der Daten nur so möglich, wie es in Kapitel 4.1 durchgeführt wurde. Für eine tiefer reichende Synchronisation aller Attribute zwischen den Datensätzen von OSM und jenen des Messwagens müsste ein erheblicher Mehraufwand betrieben werden. Zugleich wären weitreichende Einblicke in die Datenverarbeitung des Messwagens notwendig.

Die Verarbeitung und Visualisierung der Daten wurde hier beispielhaft für die Südbahn mit einer Streckenlänge von rund 260 Kilometern durchgeführt. Für eine umfassende Nutzbarkeit wäre die Umsetzung für das gesamte Streckennetz Österreichs erforderlich. Mit dieser Arbeit wurde eine Möglichkeit aufgezeigt, wie die verwendeten Daten aus verschiedenen Quellen zusammengeführt werden können, um in Verbindung einen Synergieeffekt zu entwickeln beziehungsweise höhere Aussagekraft erzielen können. Die Durchführung für alle weiteren Strecken wäre hier analog zur Südbahn möglich.

Aus ökonomischer Sicht wäre die Nutzung der Daten von OSM zwar denkbar, jedoch ist der Umstand, dass die Daten letztlich rein von Privatpersonen erhoben wurden zwar eine gute Basis, aber für eine zukunftsorientierte Nutzung zu unsicher. Man müsste sich auf die Zuverlässigkeit der Daten verlassen können. Dies ist so nicht möglich, da für die Vollständigkeit und Richtigkeit der Daten keine Gewähr seitens OpenStreetMap übernommen wird. Eine Prüfung und Validierung der Daten muss zwar in jedem Fall stattfinden, unabhängig davon, ob die Daten aus eigenen Quellen oder aus vielen über OSM stammen, jedoch kann bei der Datenbeschaffung von einzelnen Personen die bei dem Projekt OSM mitwirken keine Richtung vorgegeben oder Präferenzen geäußert werden. Auch die Vollständigkeit der Daten könnte hierbei ein Problem darstellen, welches nicht ohne enormen Aufwand bereinigt werden könnte. Denkbar wäre hier jedoch eine Umsetzung einer Zertifizierung für Mitglieder um akkurate Daten zu erhalten.

Die so generierten Daten könnten jedenfalls dabei behilflich sein künftige Wartungs- oder Instandhaltungseinsätze aus einem größeren Blickwinkel zu betrach-

ten. Durch eine klare Farbcodierung der Strecke ist so für jeden sichtbar, in welchem Zustand sich die Strecke befindet. Die Interpretation einer rein tabellarischen Aufstellung der Zustandsdaten, so wie sie auf Basis der Daten des Messwagens bestimmt werden, ist meist nur dem Techniker bzw. der Technikerin vorbehalten. Auf diese Weise könnte die Notwendigkeit der Sanierung einer Eisenbahnstrecke nicht nur innerhalb der Unternehmensebenen, sondern auch nach außen, etwa in politischen Kreisen, besser kommuniziert werden.

Literaturverzeichnis

- [1] M. Randelhoff, „www.zukunft-mobilitaet.net,“ 19 Oktober 2019. [Online]. Available: <https://www.zukunft-mobilitaet.net/1674/vergangenheit-verkehrsgeschichte/geschichte-der-eisenbahn-teil-i-anfang-17-jahrhundert-1835/>. [Zugriff am 21 Juli 2020].
- [2] M. Randelhoff, „www.zukunft-mobilitaet.net,“ 11 Mai 2016. [Online]. Available: <https://www.zukunft-mobilitaet.net/5299/analyse/konstantes-reisezeitbudget-marchetti-konstante-verkehrsgenese-yacov-zahavi/>. [Zugriff am 21 Juli 2020].
- [3] S. Kirchmayr-Novak, *„Bewertung der Datenqualität der OpenStreetMap als Datengrundlage für einen Verkehrsgraph mit Hilfe offener Daten und Software,“* Wien, 2014, p. 93.
- [4] W. Immler, *Das Handbuch OpenStreetMap - Kartenmaterial nutzen und weiterentwickeln: OpenStreetMap durch eigene Einträge verbessern und in eigenen Apps oder Webseiten integrieren,* 85540 Haar bei München: Franzis Verlag; Auflage 1, 2014, pp. 55-60.
- [5] U. Herb, *Open Initiatives: Offenheit in der digitalen Welt und Wissenschaft,* 66041 Saarbrücken: Universitätsverlag des Saarlandes, 2012, pp. 159-171.
- [6] F. Ramm und J. Topf, *OpenStreetMap: Die freie Weltkarte nutzen und mitgestalten.,* Berlin: Lehmanns Media, 3. Auflage, 2010, pp. 3-37.
- [7] J. Holzfeind und R. Hummitzsch, „Qualitätsverhalten von Gleisen,“ *ZEVrail,* Nr. 128, pp. 6-7, September 2008.
- [8] H.-J. Brandstetter, *Messtechnik - Oberbaumesswagen,* Wien: ÖBB-Werbung GmbH, ÖBB-Infrastruktur AG - Messtechnik, Folder, August 2014, pp. 1-2.

- [9] W. Hanreich, *Oberbaumesswagen EM250 und EM160 WZ*, ÖBB-Infrastruktur AG/SAE FB FWT MT, Schulungsunterlage, 2017, pp. 14-44.
- [10] M. Kompf, „<https://www.kompf.de/>,“ 2020. [Online]. Available: <https://www.kompf.de/gps/distcalc.html>. [Zugriff am 23 Juli 2020].
- [11] B. Erhardt, „www.zeit-und-wahrheit.de,“ 18 Mai 2016. [Online]. Available: <http://www.zeit-und-wahrheit.de/geographische-laenge-und-breite-86290/>. [Zugriff am 23 Juli 2020].
- [12] N. Tallguy, „learnosm.org,“ 5 September 2016. [Online]. Available: <https://learnosm.org/de/osm-data/file-formats/>. [Zugriff am 23 Juli 2020].
- [13] Laimingas und M. Lingner, „www.it-business.de,“ 5 März 2018. [Online]. Available: <https://www.it-business.de/was-ist-eine-kml-datei-a-759303/>. [Zugriff am 23 Juli 2020].
- [14] OpenStreetMap Austria, „wiki.openstreetmap.org,“ 15 Juni 2019. [Online]. Available: <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/DE:GPX>. [Zugriff am 23 Juli 2020].
- [15] OpenStreetMaps Austria, „wiki.openstreetmap.org,“ 25 Juni 2017. [Online]. Available: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/DE:Overpass_turbo. [Zugriff am 23 Juli 2020].
- [16] „Open Street Maps, Deutschland (Cartographer). (2020). Kartenausschnitt hergestellt aus Open Street Map Daten. Open Database License ODbL,“ [Online]. [Zugriff am 10 Juni 2021].
- [17] J. Casad, „Contribute to the OpenStreetMap project with the Merkaartor mapping editor.,“ *Linux Magazine*, Nr. Issue 135, pp. 59-62, 2012.
- [18] K. Brand, P. Kaiser, A. Strauß und M. Benedek, ArcGIS 10.5. Das deutschsprachige Handbuch für ArcGIS Desktop Basic und Standard inklusive Einstieg in ArcGIS Online, Berlin: Wichmann, 2017, pp. 25,69.

- [19] „www.desktop.arcgis.com,“ Environmental Systems Research Institute, Inc., [Online]. Available: <https://desktop.arcgis.com/de/arcmap/10.3/manage-data/shapefiles/what-is-a-shapefile.htm>. [Zugriff am 16 Mai 2021].
- [20] „www.desktop.arcgis.com,“ ESRI, [Online]. Available: <https://desktop.arcgis.com/de/arcmap/latest/analyze/python/a-quick-tour-of-python.htm>. [Zugriff am 16 Mai 2021].
- [21] Google LLC, „www.google.at/maps,“ 2020. [Online]. Available: <https://www.google.at/maps>. [Zugriff am 26 Juli 2020].
- [22] ESRI, „www.desktop.arcgis.com,“ [Online]. Available: <https://desktop.arcgis.com/de/arcmap/10.3/manage-data/tables/understanding-how-to-use-microsoft-excel-files-in-arcgis.htm>. [Zugriff am 10 01 2021].
- [23] P. Veit und S. Walter, *FRISEE, A.: Eisenbahnwesen GL. Vorlesungsskriptum*, 2015, p. 236.
- [24] B. Lichtberger, *Handbuch Gleis - Unterbau, Oberbau, Instandhaltungm Wirtschaftlichkeit*, 3. Auflage, p. 459.
- [25] OpenStreetMaps Austria, „www.openstreetmap.org,“ 20 März 2020. [Online]. Available: <https://www.openstreetmap.org/way/435109316#map=14/47.0118/15.4349>. [Zugriff am 24.07.2020 Juli 2020].

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Hierarchie der OpenStreetMap Struktur	22
Abbildung 2: Aufnahme der Messeinrichtungen des Messwagens EM250 [8]	24
Abbildung 3: Bildschirm im Präsentationsraum des EM250 [9]	25
Abbildung 4: Schienenprofilmessung [9]	26
Abbildung 5: Differenzierung zwischen Fehlstellen und Einbauten [9].....	27
Abbildung 6: Verwaltung der Messfahrten in der Messtechnik Applikation [9]...	27
Abbildung 7: Schematische Darstellung der Längen- und Breitengrade [11]	29
Abbildung 8: Abfrage und Darstellung aller ÖBB betriebenen Eisenbahnstrecken mithilfe von Overpass API in OSM.© OpenStreetMap-Mitwirkende [16]	32
Abbildung 9: Attribute eines Teilssegments der Südbahn. © OpenStreetMap-Mitwirkende [16].....	35
Abbildung 10: Filter für die Eisenbahnstrecke „Südbahn“ – Unterbrechung Semmeringbahn. © OpenStreetMap-Mitwirkende [16]	36
Abbildung 11: Selektion der Südbahn über die Referenznummer. © OpenStreetMap-Mitwirkende [16].....	37
Abbildung 12: Tag Weichen Südbahn. © OpenStreetMap-Mitwirkende [16]	38
Abbildung 13: Rohdaten nach Export von Overpass API im KML Format, importiert in Merkaartor.....	39
Abbildung 14: Darstellung der Südbahn als zweigleisige Eisenbahnstrecke mit Weichen in Merkaartor.	40
Abbildung 15: Oben ist die Selektion eines Segmentes zu erkennen, die dazugehörigen Attribute werden in Tabelle 1 dargestellt. Im Unteren Teil ist die Strecke zu einem Segment zusammengefügt, wobei alle Attribute verloren gehen.	42
Abbildung 16: Erste Validierung der Daten von OSM nach Konvertierung [21]..	45
Abbildung 17: Endpunkt der Südbahn laut GPS-Koordinaten aus OSM [21].....	49
Abbildung 18: Auf der linken Seite ist der Abschnitt in OSM kurvenreich, auf der rechten Seite gerade.	51
Abbildung 19: Validierung Bahnhof Perchtoldsdorf – Daten scheinen in Ordnung zu sein [21]	55
Abbildung 20: Validierung Bahnhof Spielfeld – Daten scheinen nicht in Ordnung zu sein [21]	56

Abbildung 21: Südbahn: Darstellung aller Schwellen farbkodiert nach Einbaujahr (links), Darstellung aller Schwellen farbkodiert nach Typ (rechts).....	62
Abbildung 22: Südbahn: In Türkis sind alle Schwellen die vor 1981 eingebaut wurden und den Typ Holz besitzen dargestellt.....	63
Abbildung 23: Darstellung der Auswirkung der Stopfmaschine in Bezug auf die Standardabweichung σ_H der Gleislage von km 201,000 bis km 208,000...	65
Abbildung 24: Südbahn: Krümmung (links), Zulässige Höchstgeschwindigkeit (rechts).....	66

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auswahl von Attributen des oben selektierten Segmentes.....	42
Tabelle 2: Darstellung der Längen- und Breitengrader aller Knotenpunkte	43
Tabelle 3: Entfernungsberechnung zwischen zwei GPS-Koordinaten	48
Tabelle 4: Verknüpfung der OSM GPS-Koordinaten mit den Daten des Messwagens	53
Tabelle 5: Indikator für Bahnhöfe, Brücken, Weichen und Tunnel	54
Tabelle 6: Datensatz auf Höhe Bahnhof Perchtoldsdorf.....	55
Tabelle 7: Datensatz auf Höhe Bahnhof Perchtoldsdorf.....	55
Tabelle 8 Darstellung der Datensätze in Arcmap in der „Attribute Tabel“.	60

Codeverzeichnis

Code 1: Filterabfrage um alle Strecken in OSM auszuwählen, welche „ÖBB-Infrastruktur“ und „Südbahn“ als Tag aufweisen.....	32
Code 2: Excel-basiertes Programm zur Homogenisierung der Abstände zwischen zwei Koordinaten.....	53

WISSEN ▪ TECHNIK ▪ LEIDENSCHAFT



Institut für Eisenbahnwesen
und Verkehrswirtschaft
Technische Universität Graz
Rechbauerstrasse 12/II
8010 Graz
+43 316 873 6216
office.ebw@tugraz.at
▶ www.ebw.tugraz.at