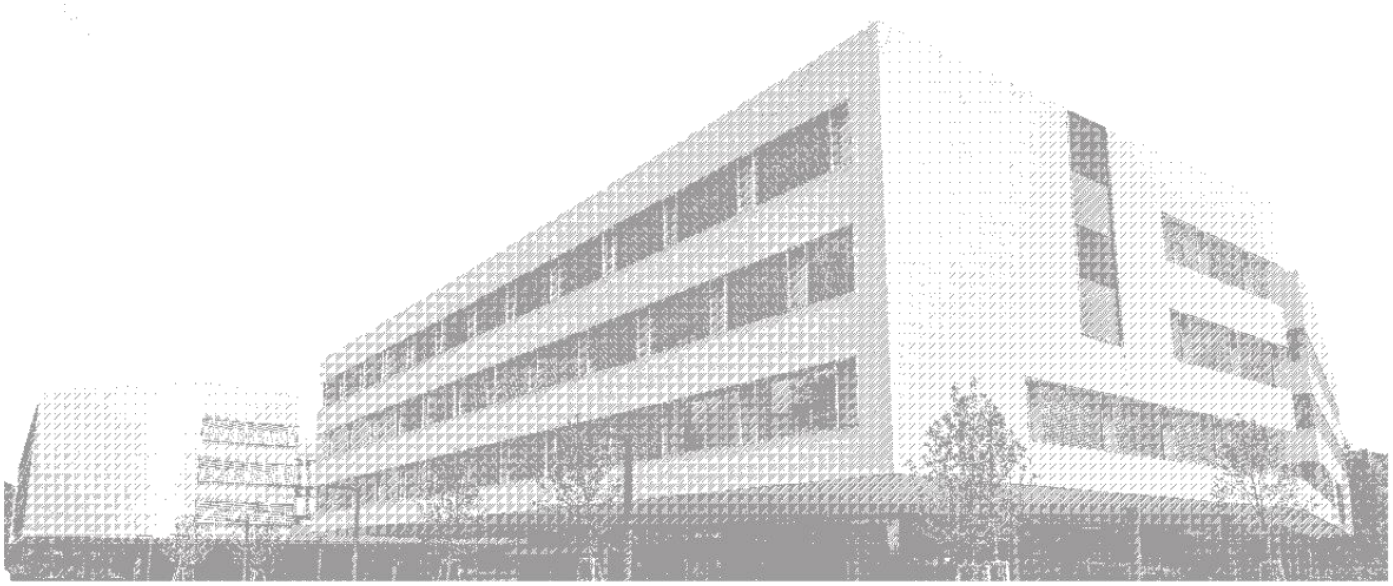


Elektrifizierung der Eisenbahnstrecke Gleisdorf – Weiz

Technische Machbarkeitsuntersuchung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt“

Masterarbeit

Herbstsemester 2023

Manuel Zechner, BSc.
Matrikelnummer: 51825775

Betreuung: Dipl.-Ing Tobias Vanicek

Vorwort

Im Rahmen meines berufsbegleitenden Studiums „Bahntechnologie und Management von Bahnsystemen" an der Fachhochschule St. Pölten, habe ich die vorliegende Arbeit als Masterarbeit verfasst und vorgelegt.

Ich möchte die Gelegenheit nutzen, um allen Menschen, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit sowohl in fachlicher als auch in persönlicher Hinsicht begleitet haben, meinen Dank auszusprechen.

Besonderer Dank gebührt Herrn Dipl.-Ing. Tobias Vanicek, der mir immer mit seiner Zeit, seinem Fachwissen und seiner professionellen Hilfe zur Verfügung stand. Ich möchte auch den Herren Ing. Gerhard Hofbauer, Dipl.-Ing. Martin Waltl und Daniel Schreiber, BSc. meinen Dank aussprechen, da sie mich mit ihrem technischen und fachlichen Verständnis unterstützt haben.

Mein Dienstgeber, der TÜV Süd, verdient besonderen Dank dafür, dass er mir durch seine Unterstützung und sein Verständnis mein berufsbegleitendes Studium ermöglicht hat.

Außerdem möchte ich meinen Studienfreunden danken, mit denen ich während meines Studiums erfolgreiche Projektarbeiten und Hausaufgaben absolviert habe und die mich durch ihre gegenseitige Hilfe und Ermutigung während der gesamten Zeit unterstützt haben.

Schließlich möchte ich meiner Familie und meinen Freunden von ganzem Herzen danken, die mich in allen Lebenslagen unterstützt haben und während dieser anstrengenden und herausfordernden Phase immer für mich da waren.

Erklärung zur Veröffentlichung

Der Autor erklärt sich damit einverstanden, dass die FH St. Pölten die vorliegende Arbeit in geeigneter Weise unter Nennung des Autors/der Autorin bzw. in der vorliegenden Originalform als .pdf-Datei oder in gedruckter Form veröffentlichen darf.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides Statt, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbständig angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher weder in gleicher noch in ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Zusammenfassung

Die vorliegende Masterarbeit befasst sich eingehend mit der Elektrifizierung der Eisenbahnstrecke Gleisdorf-Weiz, welche seit 1889 den Personen- und Güterverkehr bedient.

Das Herzstück der Arbeit liegt auf dem 672 m langen Abschnitt „Weiz Stadt", der durch seine vier Eisenbahnkreuzungen und zwei innerstädtischen Haltestellen eine besondere technische Komplexität aufweist. Als Lösung für die Elektrifizierung wurde das ÖBB-Oberleitungssystem gewählt, welches nicht nur den aktuellen Vorgaben für Interoperabilität entspricht, sondern auch wirtschaftliche Vorteile verspricht.

Ein Schlüsselelement der Arbeit war der Einsatz der rechnergestützten Projektierungssoftware FLTG. Diese half, sowohl die Interaktion zwischen der Oberleitung und den Stromabnehmern genau zu modellieren, als auch potenzielle Konfliktpunkte im Streckenabschnitt präzise zu identifizieren. Insbesondere die Einbindung der neuen Oberleitungsanlage in die bestehende Eisenbahninfrastruktur wurde durch diese Technologie effizienter gestaltet.

Die Arbeit beleuchtet intensiv verschiedene technische Aspekte, die bei der Elektrifizierung berücksichtigt werden müssen. Hierzu gehören die Wahl des Fahrdrahts, die Wahl der Längsspannweite, diverse Erdungs- und Schutzmaßnahmen sowie die Wahl der Maststandorte. Es wurde klar hervorgehoben, dass eine interdisziplinäre Herangehensweise und eine umfassende Planung von entscheidender Bedeutung sind, um Sicherheit und Funktionalität während des gesamten Elektrifizierungsprozesses zu gewährleisten.

Die Arbeit hebt die elektromagnetische Verträglichkeit, Umweltverträglichkeit und den Grunderwerb als weitere Herausforderungen hervor. Es wurden auch umfassende Projektunterlagen erstellt, die für die Installation und Wartung der Elektrifizierungsanlage entscheidend sind.

Die Kostenermittlung ist ein weiteres zentrales Element dieser Arbeit. Durch den Einsatz der FLTG-Software und unter Einbeziehung von Kostenansätzen der GKB wurde eine fundierte Kostenschätzung erstellt. Mit einer Gesamtsumme von 1.627.495 € stellt die Oberleitungsanlage mit 70 % den größten Kostenfaktor dar.

Insgesamt präsentiert die Masterarbeit eine gründliche Untersuchung der Anforderungen und Schwierigkeiten bei der Elektrifizierung innerhalb eines speziellen städtischen Umfelds. Die Arbeit unterstreicht die Notwendigkeit einer sorgfältigen Planung und die Rolle moderner Technologien bei der Umsetzung solcher Projekte.

Abstract

This master thesis deals in detail with the electrification of the Gleisdorf-Weiz railroad line, which has been serving passenger and freight traffic since 1889.

The heart of the thesis lies on the 672 m long section „Weiz Stadt", which has a special technical complexity due to its four railroad crossings and two inner-city stops. The ÖBB overhead contact line system was chosen as the solution for the electrification, which not only meets the current specifications for interoperability but also promises economic advantages.

A key element of the thesis was the use of the FLTG computer-aided design software. This helped to accurately model the interaction between the overhead contact line and the pantographs, and to precisely identify potential conflict points in the track section. In particular, this technology made the integration of the new overhead contact line system into the existing rail infrastructure more efficient.

The thesis focuses on various technical aspects that need to be considered during electrification. These include the choice of contact wire, the choice of longitudinal span, various grounding and protection measures, and the choice of pole locations. It was clearly emphasized that an interdisciplinary approach and comprehensive planning are critical to ensure safety and functionality throughout the electrification process.

The thesis highlights electromagnetic and environmental compatibility as well as land acquisition as other key challenges. Comprehensive project documents were also prepared, which are critical to the installation and maintenance of the electrification system.

Financial aspects were another key element of the thesis. By using FLTG software and incorporating cost estimates from GKB, a sound cost estimate was prepared. With a total sum of 1.627.495 €., the overhead line system represents the largest cost factor with 70 %.

Overall, this master thesis presents a thorough investigation of the requirements and difficulties of electrification within a specific urban environment. The thesis highlights the need for careful planning and the role of modern technologies in the implementation of such projects.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 8

1.1 Problemstellung 8
1.2 Intention der Arbeit 10
1.3 Zielsetzung und Forschungsfrage 10
1.4 Aufbau und Vorgehensweise 11
1.5 Abgrenzung des Untersuchungsraums 12

2 Grundlagenermittlung 13

2.1 Elektrifizierung von Eisenbahnstrecken 13
2.1.1 Vor- und Nachteile der Elektrifizierung 15
2.2 Aufbau eines Bahnstromsystems 16
2.3 Das österreichische Bahnstromnetz 19
2.4 Bahnstromsysteme in der Steiermark 20
2.5 Das Oberleitungssystem 22

3 Die Eisenbahnstrecke Gleisdorf – Weiz 25

3.1 Wahl des Oberleitungssystems 27
3.2 Das ÖBB-Oberleitungssystem 28

4 Technische Machbarkeitsuntersuchung zur Elektrifizierung des Streckenabschnittes „Weiz Stadt“ 29

4.1 Streckenabschnitt „Weiz Stadt“ 30
4.2 Planung von Oberleitungen 30
4.3 Planungsgrundlagen des Streckenabschnittes „Weiz Stadt“ 32
4.4 Bahnstromversorgung des Streckenabschnittes „Weiz Stadt“ 33
4.5 Ausführungsmerkmale der ÖBB-Oberleitungstype 1.1 im Streckenabschnitt „Weiz Stadt“ 36
4.5.1 Wahl der Fahrdrahthöhe 37
4.5.2 Wahl der Fahrdrahtseitenlage 38
4.5.3 Wahl der Systemhöhe 38
4.5.4 Ausführung des Fahrdrahts 39
4.5.5 Ausführung des Längstragseils 39
4.5.6 Ausführung der Ausleger 40
4.5.7 Ausführung der beweglichen Nachspanneinrichtungen 41
4.5.8 Wahl der Nachspannlänge 42
4.5.9 Wahl der Längsspannweite 42
4.5.10 Anhubfreiheit am befahrenen Fahrdraht 43
4.5.11 Ausführung der elektrischen Trennung 45
4.5.12 Ausführung der Sektionstrennung 45
4.5.13 Wahl des Rückleiterseils 46
4.5.14 Ausführung der Oberleitungsschalter 47
4.5.15 Ausführung der Oberleitungsmaste 49
4.5.16 Ausführung der Gründungen 51

4.6 Projektierung der Oberleitung mit der Fahrleitungs-Projektierungssoftware FLTG 53
4.6.1 Arbeitsablauf der Oberleitungsprojektierung 54
4.6.2 Planung der Oberleitung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt“ mit FLTG 60
4.6.3 Ausführung des Vogel- und Kleintierschutzes 70
4.6.4 3D-Simulation des Zusammenwirkens von Oberleitung und Stromabnehmer 72
4.6.5 3D-Simulation des Streckenabschnittes 74
4.6.6 Betrachtung der Rückstromführung und Bahnerdung 77
4.6.7 Betrachtung der Eisenbahnkreuzungen 86
4.6.8 Betrachtung der Anschlussbahn 91
4.6.9 Betrachtung der Haltestellen 93
4.6.10 Betrachtung der Leit- und Sicherungsanlagen 96
4.6.11 Betrachtung der Straßensignalanlagen 98
4.6.12 Betrachtung der Situation an der Straße B64 100
4.6.13 Betrachtung der Einbauten und bestehender Kabelwege 102
4.6.14 Betrachtung der Beleuchtung 103
4.6.15 Fazit Projektierung der Oberleitung 104
4.7 Oberleitungstechnische Projektunterlagen 106
4.7.1 Oberleitungslageplan „Weiz Stadt“ 106
4.7.2 Querprofile 108
4.7.3 Mastverzeichnis 109
4.7.4 Fundierungsverzeichnis 110
4.7.5 Fazit Oberleitungstechnische Projektunterlagen 111
4.8 Zusätzliche Herausforderungen der Elektrifizierung 111
4.8.1 Elektromagnetische Verträglichkeit 113
4.8.2 Umweltverträglichkeitsprüfung UVP 115
4.8.3 Grunderwerb 118
4.8.4 Vermessungstätigkeiten 120
4.8.5 Geologische Untersuchung 121
4.8.6 Kampfmitteltechnische Untersuchung 124
4.8.7 Erkundung von Einbauten 133
4.8.8 Erschütterungstechnische Untersuchungen 135
4.8.9 Bodenchemische Untersuchung 136
4.8.10 Behördenverfahren Bauabwicklung 138
4.8.11 Bauablauf, Termin- und Zeitplan 138
4.8.12 Fazit Zusätzliche Herausforderungen der Elektrifizierung 140
4.9 Kostenermittlung 140
4.9.1 Fazit Kostenermittlung 145

5 Conclusio 146

6 Anhang 159

6.1 Anhang 1 Zusammenwirken Oberleitung Stromabnehmer 159
6.2 Anhang 2 Kostenermittlung 168
6.2.1 Kostenermittlung Oberleitungsmontagearbeiten 168
6.2.2 Kostenermittlung Fundierungsarbeiten 171

6.2.3 Kostenermittlung Beistellmaterial 172
6.3 Anhang 3 Querprofile 173
6.4 Anhang 4 Oberleitungsschaltplan 182
6.5 Anhang 5 Oberleitungslageplan 182
6.6 Anhang 6 Bauablaufplan 183
6.7 Anhang 7 Mastverzeichnis 184
6.8 Anhang 8 Fundierungsverzeichnis 185

1 Einleitung

Dieses Kapitel beleuchtet die Problemstellung der vorliegenden Masterarbeit, definiert die Zielsetzung und Forschungsfragen, stellt den strukturierten Aufbau und die methodische Vorgehensweise der Arbeit dar und umreißt den Untersuchungsraum.

1.1 Problemstellung

Die Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor sind eine der großen Herausforderungen unserer Zeit, ein Problem, dem das Bundesland Steiermark entschlossen entgegentreten möchte. Unter Berücksichtigung der Rolle des Straßenverkehrs als hauptsächlichen Verursacher von CO_2-Emissionen wurde eine Strategie für ein umfassendes Verkehrskonzept bis 2030 konzipiert. Dieses Konzept setzt insbesondere auf die Verlagerung des Verkehrsaufkommens von der Straße auf die Schiene.

Die Elektrifizierung der Eisenbahn wird als Schlüsselelement dieses Transformationsprozesses angesehen. Der elektrische Betrieb von Zügen bietet eine hohe Energieeffizienz und einen signifikant geringeren CO_2-Ausstoß im Vergleich zu Diesellokomotiven. Aus diesen Gründen wurden die beiden steirischen S-Bahn-Strecken Weizerbahn und Steirische Ostbahn in das Gesamtverkehrskonzept einbezogen. [1]

Eine Elektrifizierung dieser Strecken hätte nicht nur umweltfreundliche Aspekte, sondern könnte auch eine Verstärkung der grenzüberschreitenden wirtschaftlichen Beziehungen zu den benachbarten Regionen im Osten, vom Südburgenland bis Ungarn, fördern und den Anschluss an das transeuropäische Verkehrsnetz sowie den Großraum Graz verbessern.

Die Weizerbahn, eine Regionalbahn, die von den Steiermärkischen Landesbahnen betrieben wird, verbindet die Städte Gleisdorf und Weiz auf einer eingleisigen, bisher nicht elektrifizierten Strecke. In Anbetracht der umwelt- und klimapolitischen Ziele der Steiermark wurde 2022 eine Machbarkeitsstudie zur Elektrifizierung dieser Strecke beauftragt. Die Studie untersucht die Möglichkeit einer Oberleitungsanlage. [2]

Ein zentrales Element dieser Untersuchung ist die Elektrifizierung des 672 m langen Streckenabschnitts „Weiz Stadt". Dieser Abschnitt, der 2018 in Betrieb genommen wurde, stellt eine Verlängerung der Eisenbahnstrecke Gleisdorf - Weiz in das Stadtzentrum dar und gilt als Nadelöhr einer möglichen Elektrifizierung. Die dichte Bebauung und engen Bogenradien dieses Eisenbahnstreckenabschnitts stellen erhebliche technische Herausforderungen dar, insbesondere bei der Standortfindung für die notwendigen Oberleitungsmasten. Dabei

[1] Vgl.: Land Steiermark, Regionaler Mobilitätsplan Oststeiermark, 2019, S.20.
[2] Vgl.: Schreiber D., Experteninterview, 11.02.2022.

müssen die elektrischen Mindestabstände und sicherheitstechnischen Abstände eingehalten werden. [3]

Neben den technischen und organisatorischen Herausforderungen stellt sich auch die Frage nach der Wirtschaftlichkeit. In diesem Kontext verfolgt die vorliegende Arbeit das Ziel, eine umfassende technische und ökonomische Beurteilung der Elektrifizierung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt" durchzuführen. Es wird erwartet, dass die gewonnenen Erkenntnisse einen wertvollen Beitrag zur Diskussion um die zukünftige Gestaltung der Verkehrsinfrastruktur in der Steiermark leisten können.

Abbildung 1: Bestandsinfrastruktur Streckenabschnitt „Weiz Stadt"[4]

Die Abbildung 1 zeigt den Abschnitt „Weiz Stadt", welcher durch seine dichte Bebauung und die daraus resultierenden Herausforderungen eine spezielle Problematik für die geplante Elektrifizierung aufwirft.

[3] Vgl.: Schreiber D., Experteninterview, 11.02.2022.
[4] Quelle: Google Street View, (05.06.2023).

1.2 Intention der Arbeit

Mein Interesse für Oberleitungsanlagen und deren technische Umsetzung bildet die Grundlage für diese Arbeit. Seit nunmehr 13 Jahren bin ich im Bau und in der Umsetzung von Oberleitungsanlagen tätig. Diese Praxiserfahrung verleiht mir ein tiefgehendes Verständnis und umfassendes Wissen in diesem speziellen Bereich der Bahninfrastruktur.

Während meines Masterstudiums in Bahntechnologie und Management von Bahnsystemen hatte ich die Gelegenheit, im Oktober 2021 an einer Exkursion zur Eisenbahnstrecke Gleisdorf-Weiz teilzunehmen. Der Besuch der Strecke, insbesondere die Besichtigung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt", weckte mein besonderes Interesse.

Bei der detaillierten Betrachtung dieses Streckenabschnitts drängte sich mir eine zentrale Frage auf: Ist die Elektrifizierung technisch umsetzbar?

Diese Fragestellung steht im Mittelpunkt meiner Masterarbeit und legt den Grundstein für die folgenden Untersuchungen und Analysen.

1.3 Zielsetzung und Forschungsfrage

Das Hauptziel dieser Masterarbeit besteht darin, die technische Machbarkeit einer Elektrifizierung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt" mithilfe einer AC 15 kV 16,7 Hz Oberleitungsanlage zu prüfen. Es soll ein Konzept erstellt werden, das eine potenzielle Elektrifizierung des Stadtzentrums von Weiz vorsieht. Dieses Konzept berücksichtigt sowohl die technischen Gegebenheiten der bestehenden Eisenbahninfrastruktur als auch die einschlägigen Normen und Regelwerke für den Bau von Oberleitungsanlagen sowie die wirtschaftlichen Aspekte. Durch die Analyse der ermittelten Daten werden die technischen Herausforderungen aufgezeigt und mögliche Lösungsansätze erarbeitet.

In Anlehnung an die Problemstellung und das definierte Ziel dieser Arbeit werden folgende Forschungsfragen und -themen im Verlauf dieser wissenschaftlichen Arbeit untersucht und bearbeitet:

- Ist die Elektrifizierung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt" technisch umsetzbar?
- Welche Herausforderungen ergeben sich bei einer Elektrifizierung des Weizer Stadtzentrums und welche Maßnahmen müssen ergriffen werden?
- Welche Kosten würden durch die Elektrifizierung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt" entstehen?

Die Beantwortung dieser Forschungsfragen bildet das Herzstück dieser Masterarbeit und ermöglicht die Erarbeitung einer fundierten Entscheidungsgrundlage für die Elektrifizierung. Dabei werden sowohl technische als auch wirtschaftliche Aspekte berücksichtigt, um eine umfassende Betrachtung des Elektrifizierungsprojekts zu gewährleisten.

1.4 Aufbau und Vorgehensweise

Die vorliegende Masterarbeit untergliedert sich in fünf Hauptkapitel, die verschiedene Aspekte des Forschungsthemas abdecken: die Problemstellung, die Zielsetzung und die methodische Vorgehensweise.

Kapitel 1: Einleitung

In der Einleitung wird die Problemstellung kurz umrissen und die Hypothese formuliert. Zudem werden die Zielsetzung der Arbeit und die zugrundeliegenden Forschungsfragen dargelegt. Die methodische Vorgehensweise, der strukturierte Aufbau und die für die Arbeit relevanten Begriffe werden erläutert.

Kapitel 2: Grundlagenermittlung

Dieses Kapitel behandelt die Ermittlung der Grundlagen, die zur Erstellung dieser Masterarbeit notwendig sind. Es wird der grundsätzliche Aufbau von elektrischen Bahnen erklärt und das österreichische sowie steirische Eisenbahnnetz analysiert. Ziel dieses Kapitels ist es, einen Ausgangszustand zu bestimmen, auf dem die nachfolgenden Kapitel aufbauen.

Kapitel 3: Die Eisenbahnstrecke Gleisdorf – Weiz

Hier wird eine Bestandsanalyse der Eisenbahnstrecke Gleisdorf – Weiz durchgeführt. Es werden die Gründe für eine Elektrifizierung sowie deren Vorteile betrachtet. Das für die Elektrifizierung notwendige Oberleitungssystem wird ausgewählt, und die Gründe für diese Wahl werden erläutert.

Kapitel 4: Technische Machbarkeitsuntersuchung zur Elektrifizierung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt"

Dieses Kapitel bildet den Kern der Arbeit. Es wird eine technische Machbarkeitsuntersuchung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt" durchgeführt, die Planungsgrundlagen erläutert und mithilfe der Fahrleitungs-Projektierungssoftware FLTG eine Oberleitung im genannten Abschnitt geplant, unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten und technischen Vorgaben. Die Herausforderungen des Streckenabschnitts werden diskutiert und die Kosten der Elektrifizierung ermittelt.

Kapitel 5: Conclusio

In diesem abschließenden Kapitel werden die Ergebnisse der Forschungsarbeit prägnant zusammengefasst und auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse ein Resümee gezogen.

Das Abbildungs-, Tabellen- und Literaturverzeichnis sowie der Anhang befinden sich am Ende der Arbeit und bilden den Abschlussteil dieser Masterarbeit. Dieser strukturierte Aufbau gewährleistet eine klar verständliche und nachvollziehbare Darstellung der Untersuchungsergebnisse.

Vorgehensweise:

Um die Ziele dieser Masterarbeit zu erreichen, werden folgende Methoden angewandt:

- Literaturrecherche in ausgewählten Fachpublikationen und wissenschaftlichen Arbeiten
- Eigene Projektierung der Oberleitung mithilfe der Fahrleitungs-Projektierungssoftware FLTG
- Eigene Kalkulationen
- Auswertungen von Statistiken und Grafiken
- Experteninterviews

Durch diese Methoden sollen fundierte Erkenntnisse gewonnen und die Forschungsfragen beantwortet werden, um eine umfassende Entscheidungsgrundlage für die Elektrifizierung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt" zu erarbeiten.

1.5 Abgrenzung des Untersuchungsraums

Der geographische und inhaltliche Untersuchungsraum dieser Masterarbeit konzentriert sich auf die Eisenbahnstrecke Gleisdorf – Weiz, insbesondere auf den Streckenabschnitt „Weiz Stadt". Der Fokus liegt auf der Analyse der technischen Machbarkeit einer potenziellen Elektrifizierung dieses Streckenabschnitts.

Die Eisenbahnstrecke Gleisdorf – Weiz stellt eine regionale Verbindung in der Steiermark, Österreich, dar und verbindet die beiden Städte Gleisdorf und Weiz. Der Abschnitt „Weiz Stadt" ist ein wesentlicher Bestandteil dieser Verbindung und für die Mobilität in der Region von großer Bedeutung. Derzeit ist dieser Abschnitt nicht elektrifiziert, was die Effizienz und Umweltverträglichkeit des Schienenverkehrs in der Region einschränkt.

Ziel dieser Arbeit ist es, durch eine gezielte Untersuchung der technischen Machbarkeit einer Elektrifizierung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt" ein fundiertes Verständnis für die Herausforderungen und potenziellen Lösungsansätze zu entwickeln. Dabei werden sowohl die örtlichen Gegebenheiten als auch die technischen Anforderungen für den Bau von Oberleitungsanlagen berücksichtigt.

Der Untersuchungsraum dieser Masterarbeit stellt daher einen konkreten Anwendungsfall für die Elektrifizierung einer Bahnstrecke dar und liefert wichtige Erkenntnisse für die weitere Planung und Umsetzung von Elektrifizierungsprojekten im Eisenbahnverkehr. Dies ist insbesondere im Hinblick auf die Umsetzung von klimapolitischen Zielen und die Verbesserung der regionalen Mobilität von Bedeutung.

2 Grundlagenermittlung

Das zweite Kapitel setzt den Fokus auf die Elektrifizierung von Eisenbahnstrecken. Die Vorteile und Hindernisse der Elektrifizierung im Vergleich zur Dieseltraktion werden untersucht. Anschließend erfolgt eine Erklärung des Aufbaus eines Bahnstromsystems, unter Berücksichtigung des ÖBB-Bahnnetzes. Eine Betrachtung des Aufbaus von Oberleitungssystemen findet am Ende dieses Kapitels statt. Diese Analyse legt das Fundament für die weiteren Kapitel und ermöglicht ein tiefergehendes Verständnis der Thematik.

2.1 Elektrifizierung von Eisenbahnstrecken

Trotz der Vorteile, die eine Elektrifizierung von Eisenbahnstrecken bietet, sind bislang nur etwa 33 % des weltweiten Bahnnetzes elektrifiziert. [5] Historisch bedingt kommen hierbei unterschiedliche Bahnstromsysteme in den einzelnen Ländern zum Einsatz. Dies hat zur Folge, dass grenzüberschreitender Verkehr oftmals nur durch den Wechsel des Triebfahrzeugs oder den Einsatz von Mehrsystemfahrzeugen ermöglicht wird.

Tabelle 1 veranschaulicht die weltweiten Bahnstromsysteme von Vollbahnen.

Bahnstromsysteme Weltweit		
DC 1.500 V	15.318 km	6,5 %
DC 3.000 V	72.104 km	30,3 %
AC 15 kV 16,7 Hz	32.392 km	13,6 %
AC 25 kV 50 Hz/60Hz	106.437 km	44,8 %
Sonstige	11.349 km	4,8 %
Summe	237.600 km	100 %

Tabelle 1: Streckenlängen und Anteile der Bahnstromsysteme[6]

[5] Vgl.: Neudorfer, 2021; S.22.
[6] Quelle: Steimel, 2017, S.21.

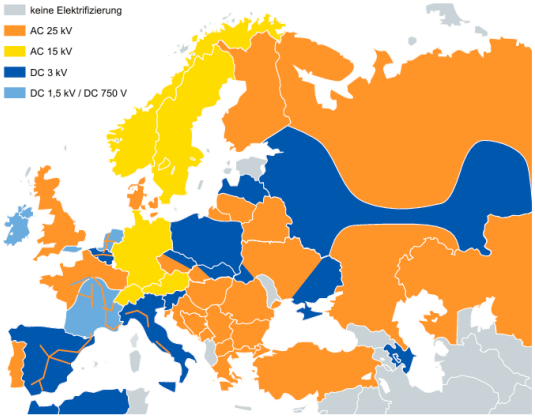


Abbildung 2: Übersicht über Bahnstromarten für Vollbahnen in Europa[7]

Abbildung 2 veranschaulicht die verschiedenen Bahnstromarten in Europa.

Die ersten Elektrifizierungsmaßnahmen von Eisenbahnstrecken fanden im 19. Jahrhundert mit Gleichstrom statt. Aufgrund dessen wird rund 37 % des weltweiten Bahnstromnetzes immer noch mit Gleichstrom betrieben. Ein Nachteil der bestehenden Gleichstrombahnen ist die niedrige Spannung. Dies führt zu hohen Strömen, um die erforderliche Traktionsleistung zu übertragen, was wiederum zu hohen Spannungsabfällen, erheblichen Verlusten und großen Leitungsquerschnitten führt. Aus diesem Grund wird in der Regel alle 1,5 bis 6 km ein Unterwerk benötigt.

Mit der Verfügbarkeit von Wechselstrom konnte ein Versorgungssystem mit hohen Spannungen durch den Einsatz von Transformatoren im Übertragungssystem realisiert werden. Eine Herausforderung bestand im Einsatz des Kommutatormotors für einen Wechselstrom mit der Frequenz von 50 Hz. Dies führte zur Einführung des Einphasenwechselstroms mit 16,7 Hz, welchen die Länder Österreich, Schweiz, Deutschland, Norwegen und Schweden Anfang des 20. Jahrhunderts übernahmen. 16,7 Hz Einphasenwechselstrom hat sich als leistungsfähige Energieversorgung für den elektrischen Hochgeschwindigkeits- und Hochleistungsverkehr bewährt. [8]

Für die Elektrifizierung neuer Hauptbahnen wird fast ausschließlich Einphasenwechselstrom mit der Landesfrequenz von 50 Hz verwendet. Das Problem des Kommutatormotors für einen Wechselstrom mit einer Frequenz von 50 Hz konnte gelöst werden. Die Hochspannungsspeisung ist besonders bei höheren Leistungen und größeren Entfernungen vorteilhaft.

Der Einphasenwechselstrom mit verminderter Frequenz 16,7 Hz wird grundsätzlich nicht mehr für Neuelektrifizierungen verwendet, da dieser eine separate Energieversorgung benötigt und im Hinblick auf die Triebfahrzeuge dank der Leistungselektronik keine Vorteile mehr aufweist.

[7] Vgl.: Kießling, 2014, S.41.
[8] Vgl.: Biesnack, 2006, S.7-8.

Das 16,7 Hz System wird nur noch in jenen Ländern für Neuelektrifizierungen verwendet, in denen das System bereits etabliert ist.

In technischer Hinsicht sind diese verschiedenen Stromsysteme in Bezug auf die Triebfahrzeuge gleichwertig. Die wirtschaftlichen Unterschiede zwischen ihnen sind so gering, dass sich eine Umstellung bei einem bereits elektrifizierten Netz kaum lohnt. Aus diesem Grund wird in vielen Ländern das vorhandene System beibehalten, auch wenn neue Streckenabschnitte elektrifiziert werden. [9]

2.1.1 Vor- und Nachteile der Elektrifizierung

Im Vergleich zur Dieseltraktion bietet die elektrische Traktion verschiedene Vor- und Nachteile, die im Folgenden erläutert werden.

Vorteile:

- Höhere Leistung bei gleichem Gewicht, da kein Dieselmotor und kein Kraftstoffvorrat mitgeführt werden müssen
- Reduzierte Energiekosten im Vergleich zur Dieseltraktion
- Keine Abhängigkeit von knappen Ölvorräten
- Nutzung von lokalen Energiequellen, wie beispielsweise Wasserkraft
- Umweltfreundlicher Betrieb ohne Abgase, weniger Lärm und geringes Risiko von Ölverschmutzungen
- Energierückgewinnung durch Rekuperationsbremsen
- Höherer Wirkungsgrad bei Teillast
- Längere Betriebszeiten und geringere Wartungskosten im Vergleich zu Dieselfahrzeugen
- Insgesamt kostengünstigere Triebfahrzeuge
- Reduktion von CO_2-Emissionen
- Fahrzeitreduktion und Taktverdichtung durch höhere Leistung und Beschleunigung der elektrischen Triebfahrzeuge

Nachteile:

- Die Elektrifizierung einer Eisenbahnlinie erfordert hohe Investitionen in feste Anlagen, wie z.B. elektrische Leitungen und Unterwerke
- Elektrifizierte Züge können nur auf elektrifizierten Strecken fahren, was ihren Einsatzbereich einschränkt[10]

[9] Vgl.: Filipović, 2013, S.17-18.
[10] Vgl.: Neudorfer, 2021, S.13-14.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Elektrifizierung von Bahnstrecken trotz der anfänglichen Investitionen sowohl aus technischer, wirtschaftlicher als auch aus umwelt- und gesundheitlicher Sicht viele Vorteile bietet. Bei der Umstellung auf einen elektrischen Betrieb müssen die anfänglichen Investitionskosten gegenüber den laufenden Kosten für die Dieseltraktion abgewogen werden.

2.2 Aufbau eines Bahnstromsystems

Am Beispiel des ÖBB-Bahnnetzes wird in diesem Kapitel der Aufbau und die Funktion eines Bahnenergieversorgungssystems erklärt. Die wesentlichen Aufgaben der Bahnenergieversorgung bestehen in der Erzeugung, Übertragung, Verteilung und Zuführung der für den elektrischen Zugbetrieb erforderlichen Energie. Abbildung 3 veranschaulicht das Bahnstromnetz der ÖBB Infrastruktur AG, kurz ÖBB.

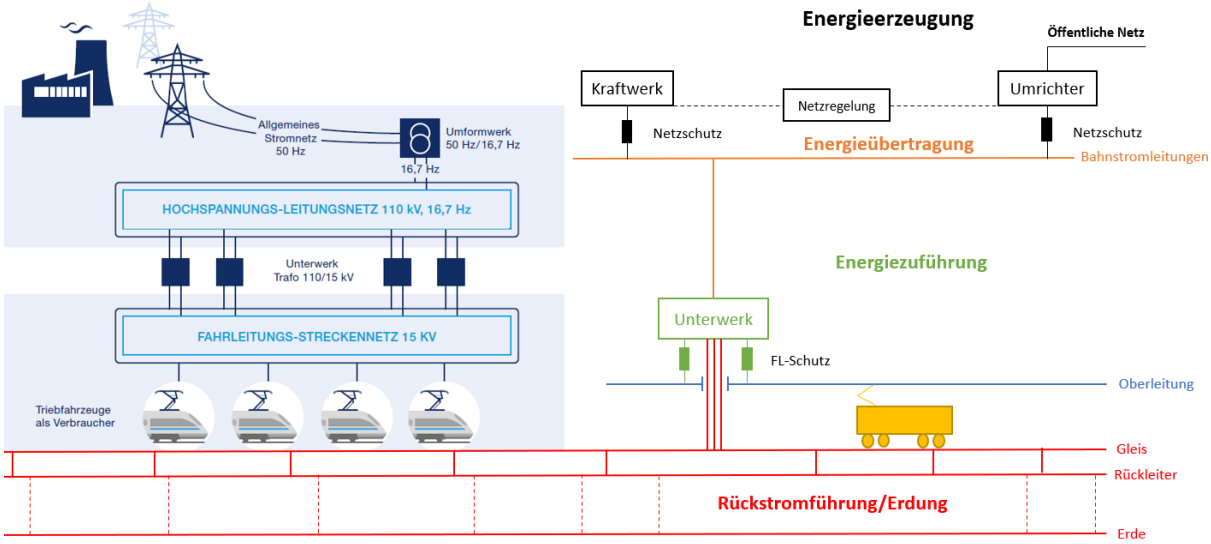


Abbildung 3: Aufbau Bahnstromnetz 16,7 Hz[11]

Die Erzeugung des für den elektrischen Zugbetrieb erforderlichen Bahnstroms erfolgt hauptsächlich in acht von den ÖBB betriebenen Wasserkraftwerken und in drei Partnerkraftwerken. Der Rest des benötigten Bahnstroms wird aus dem öffentlichen 50-Hz-Stromnetz bezogen. Hierbei wird der Dreiphasen-Wechselstrom des öffentlichen Netzes von 50 Hz in Bahnstrom mit einer Frequenz von 16,7 Hz umgewandelt.[12] Diese Umwandlung erfolgt mittels Bahnstromumformer- oder Bahnstromumrichterwerken durch rotierende Maschinen und das Umspannen auf die Nennspannung des Fahrleitungsnetzes. In den

[11] Quelle: Fendrich, 2019, S.712 und VDE, Alternativen zu Dieseltriebzügen im SPNV, 2019, S.27.
[12] Vgl.: Lechner, 2010, S.37.

Umrichterwerken wird die Energieumformung mit leistungselektronischen Bauelementen realisiert. [13]

Die Übertragung im ÖBB-Netz erfolgt durch Bahnstromleitungen. Das 55-/110-kV-Bahnstromleitungsnetz der ÖBB-Infrastruktur AG ist über 2.000 km lang und wird mit einer Frequenz von 16,7 Hz betrieben. Es verteilt den Strom von den Kraftwerken sowie den Umformer- und Umrichterwerken zu den Unterwerken.[14] Der Leitungsaufbau des Bahnstromnetzes ist zweipolig mit entgegengesetzter Phasenlage, bei dem die Leiter-Erde-Nennspannung jeweils 55 kV pro Phase beträgt. Dadurch ergibt sich eine Energieübertragung mit einer Leiter-Leiter-Nennspannung von 110 kV. [15]

Die Verteilung der Bahnenergie ins elektrifizierte Streckennetz erfolgt durch die Einspeisung der 62 Unterwerke in das Fahrleitungsnetz. In den Unterwerken wird der 110-kV-Bahnstrom auf 15 kV Traktionsstrom transformiert. [16] Jedes Unterwerk verfügt über eine zweipolige 110-kV-Freiluftschaltanlage, zwei einphasige Leistungstransformatoren 110/15 kV und eine Normschaltung für die 15-kV-seitige Verteilung. Die Zuführung zu den Oberleitungsanlagen erfolgt mittels Kabel oder kurzen Freileitungen. Die Rückleiteranschlüsse an den Gleisen werden ebenfalls über Kabel in das Unterwerk zurückgeführt. Im Unterwerk sind alle Rückleiterkabel an der geerdeten Rückleitersammelschiene zusammengefasst.

Die streckenseitige Energiezuführung zu den elektrischen Triebfahrzeugen wird über Kettenwerksoberleitungen realisiert. Die Oberleitungsanlage ist aus betrieblichen und schutztechnischen Gründen in einzelne Speiseabschnitte unterteilt, die separat vom Unterwerk eingespeist und geschaltet werden können. Standardmäßig werden Speiseabschnitte der Oberleitung zweiseitig von zwei benachbarten Unterwerken eingespeist.[17]

Damit der für den elektrischen Betrieb benötigte Strom fließt, muss ein geschlossener Stromkreis vorliegen, der eine Spannungsquelle und einen Verbraucher enthält. Das Unterwerk stellt die Spannungsquelle dar, während das elektrische Triebfahrzeug den Verbraucher bildet.

Der Bahnstrom fließt vom Unterwerk über die Speiseleitung in die Oberleitung und von dort zum Triebfahrzeug. Der prinzipielle Aufbau des Hauptstromkreises von modernen Wechselstromtriebfahrzeugen ist in Abbildung 4 dargestellt und besteht aus den folgenden Komponenten:

- **Stromabnehmer:** Dieses Bauteil kommt als Erstes mit dem Strom aus der Oberleitung in Kontakt und versorgt das Fahrzeug ununterbrochen, sowohl im Stillstand als auch während der Fahrt mit Strom. [18]

[13] Vgl.: Lechner, 2010, S.36.
[14] Vgl.: Lechner, 2010, S.37.
[15] Vgl.: Fendrich, 2019, S.725.
[16] Vgl.: Lechner, 2010, S.37.
[17] Vgl.: Fendrich, 2019, S.725.
[18] Vgl.: Haubenwallner, 2017, S.9.

- **Hauptschalter:** Dieser Schalter dient zum Ein- und Ausschalten der Spannungsversorgung bei angehobenem Stromabnehmer. Er muss zuverlässig unter Volllast und bei Kurzschlüssen schalten können. [19]
- **Transformator:** Der Transformator wandelt die Primärspannung aus der Fahrleitung um, damit die elektrischen Verbraucher des Fahrzeugs versorgt werden können. [20]
- **Stromrichter:** Stromrichter sind Anlagen zur Umwandlung der elektrischen Stromart und der Transformation von Spannung und Frequenz. In einem Triebfahrzeug sind sie für die Regelung des Traktionsstromes verantwortlich. [21]
- **Elektromotor:** Der Elektromotor wandelt elektrische Energie in kinetische Energie um und treibt so das Fahrzeug an.
- **Stromrückführung:** Die Stromrückführung erfolgt durch die Räderkontakte und Räder über die Schiene, den Rückleiter und das Erdreich zurück zum Unterwerk. [22]

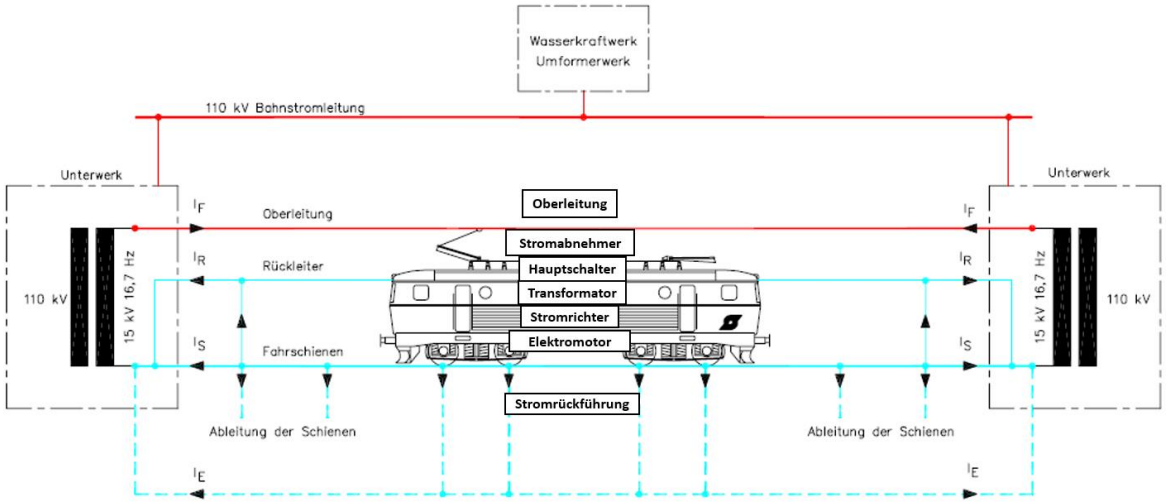


Abbildung 4: Schematische Darstellung eines Bahnstromkreises.[23]

[19] Vgl.: Haubenwallner, 2017, S.12.
[20] Vgl.: Haubenwallner, 2017, S.14.
[21] Vgl.: Haubenwallner, 2017, S.27.
[22] Vgl.: rehberg-email.net, (16.05.2023).
[23] Quelle: ÖBB-Regelwerk Einheitsdarstellungen Band III, ED 440 modifiziert, 2021.

2.3 Das österreichische Bahnstromnetz

Das Bahnnetz in Österreich erstreckt sich über insgesamt 5.650 km, wobei bereits 3.917 km davon elektrifiziert sind. Der Großteil des Netzes, etwa 5.000 km, ist hierbei im Eigentum der ÖBB. Im Jahr 2020 waren 74 % der Eisenbahnstrecken des Landes elektrifiziert. Dieser Anteil soll bis 2030 durch umfassende Ausbaumaßnahmen auf 85 % gesteigert werden. [24]

Abbildung 5 verdeutlicht das aktuelle elektrifizierte Streckennetz der ÖBB und zeigt zudem den geplanten Zustand des Netzes nach Abschluss der Elektrifizierungsmaßnahmen im Jahr 2030.

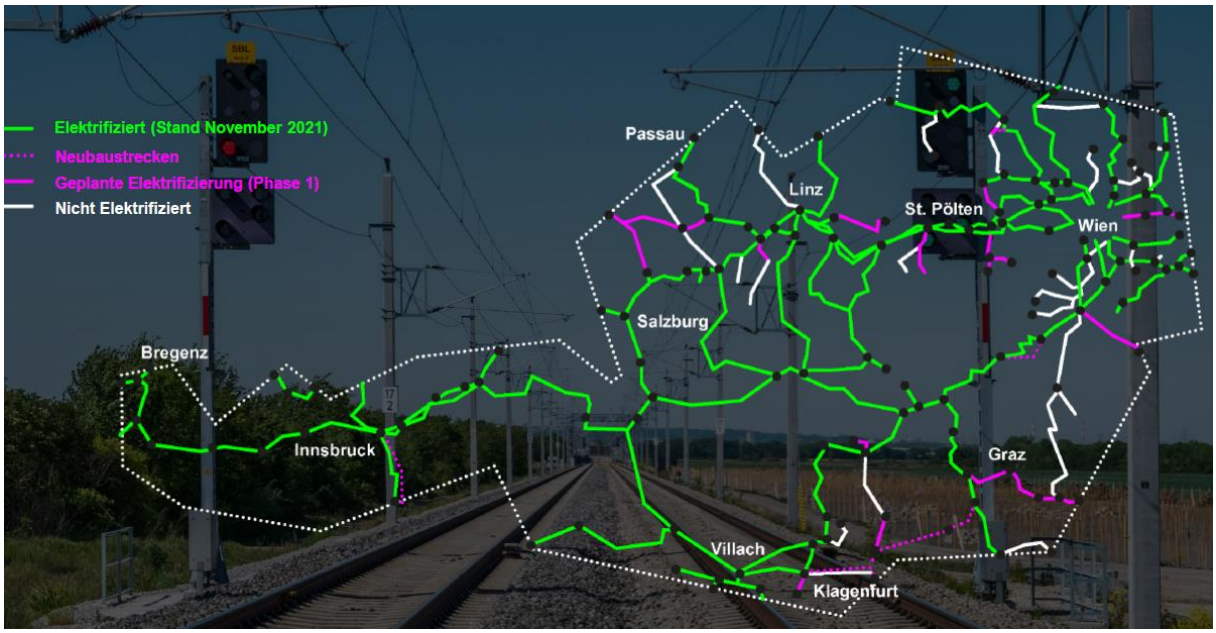


Abbildung 5: Elektrifiziertes Streckennetz der ÖBB, 2021 und 2030[25]

Auf den Haupt- und Nebenbahnen des österreichischen Schienennetzes sind unterschiedliche Bahnstromsysteme in Betrieb. Das Bahnstromsystem AC 15 kV 16,7 Hz ist das vorherrschende System und findet sowohl auf dem Streckennetz der ÖBB als auch auf vernetzten Nebenbahnen, wie beispielsweise der Montafoner- und der Übelbacherbahn, Anwendung. Dieses System macht rund 90 % des gesamten elektrischen Bahnnetzes aus.

Allerdings gibt es auch Ausnahmen. So wird die Strecke der Raaberbahn mit dem Bahnstromsystem AC 25 kV 50 Hz betrieben, während die Mariazellerbahn auf ein Bahnstromsystem mit AC 6,5 kV 25 Hz setzt. Darüber hinaus kommen auf einigen Nebenbahnen verschiedene Gleichstrom-Bahnsysteme zum Einsatz, die zusammen etwa 6 % des elektrischen Bahnnetzes ausmachen. [26]

[24] Vgl.: Jahresbericht Schienen-Control 2020, S.89-90.
[25] Vgl.: Riegler, 2022, S11.
[26] Vgl.: Jahresbericht Schienen-Control 2020, S.89-90.

Bahnstromsysteme in Österreich	
AC 15 kV 16,7 Hz	90 %
AC 25 kV 50Hz	2 %
AC 6,5 kV 25Hz	2 %
DC-Bahnstromsysteme gesamt	6 %

Tabelle 2: Bahnstromsysteme in Österreich[27]

Tabelle 2 bietet einen Überblick über die verschiedenen Bahnstromsysteme, die im österreichischen Schienennetz zum Einsatz kommen. Hierbei ist ersichtlich, dass rund 90 % des Bahnstromsystems in 15 kV 16,7 Hz betrieben werden und die restlichen Bahnstromsysteme in Österreich eine untergeordnete Rolle spielen.

2.4 Bahnstromsysteme in der Steiermark

Das Eisenbahnnetz in der Steiermark erstreckt sich über 880 km. Diese Strecken verteilen sich auf die ÖBB mit 690 km, die Steiermärkischen Landesbahnen kurz STLB mit 100 km und die Graz-Köflacher Bahn- und Busbetrieb kurz GKB mit 90 km. Aktuell sind etwa 62 % des steirischen Bahnnetzes elektrifiziert.[28] Davon werden 526 km mit einer AC 15 kV 16,7 Hz Oberleitungsanlage betrieben und 21 km mit einer DC 1,8 kV Gleichstrom Oberleitungsanlage, welche die Gleichenberger Bahn versorgt. [29]

Mit dem geplanten Ausbau des ÖBB-Rahmenplans und der Elektrifizierung des Streckennetzes der GKB ist das Ziel, bis zum Jahr 2030 insgesamt 82 % des steirischen Schienennetzes zu elektrifizieren.[30] Zu den Hauptelektrifizierungsprojekten zählen:

- Die Elektrifizierung des Streckennetzes der GKB
- Die Fertigstellung der Koralmbahn
- Die Streckenelektrifizierung der steirischen Ostbahn
- Die Elektrifizierung der Eisenbahnstrecke Zeltweg – Pöls

Die Elektrifizierung des GKB-Streckennetzes, die Fertigstellung der Koralmbahn und die Streckenelektrifizierung der steirischen Ostbahn sind die wichtigsten Elektrifizierungsprojekte in der Steiermark in den kommenden Jahren. Sie sollen zu einem effizienten und umweltfreundlichen Mobilitätskonzept in den Regionen West- und Oststeiermark beitragen.

[27] Quelle: Jahresbericht Schienen-Control 2020, S.89.
[28] Vgl.: Jahresbericht Schienen-Control 2020, S.89.
[29] Vgl.: verkehr.steiermark.at, (01.03.2023).
[30] Vgl.: Jahresbericht Schienen-Control 2020, S.89.

Die Elektrifizierungsarbeiten am GKB-Streckennetz begannen bereits 2022 und sollen bis 2028 abgeschlossen werden.[31]

Abbildung 6 zeigt einen detaillierten Überblick über die gegenwärtigen und vorgesehenen Elektrifizierungsmaßnahmen im Eisenbahnnetz der Steiermark, die bis zum Jahr 2030 geplant sind. Aus dieser Darstellung geht hervor, dass nahezu das gesamte Netz in der Steiermark, abgesehen von der Gleichenberger Bahn, mit dem Bahnstromsystem von 15 kV 16,7 Hz betrieben wird. Unter Berücksichtigung dieser Gegebenheiten wäre es logisch und zweckmäßig, auch die geplante Elektrifizierung der Eisenbahnstrecke zwischen Gleisdorf und Weiz mit demselben Bahnstromsystem von 15 kV 16,7 Hz umzusetzen. Diese Thematik wird in Kapitel 3.1 im Detail untersucht.

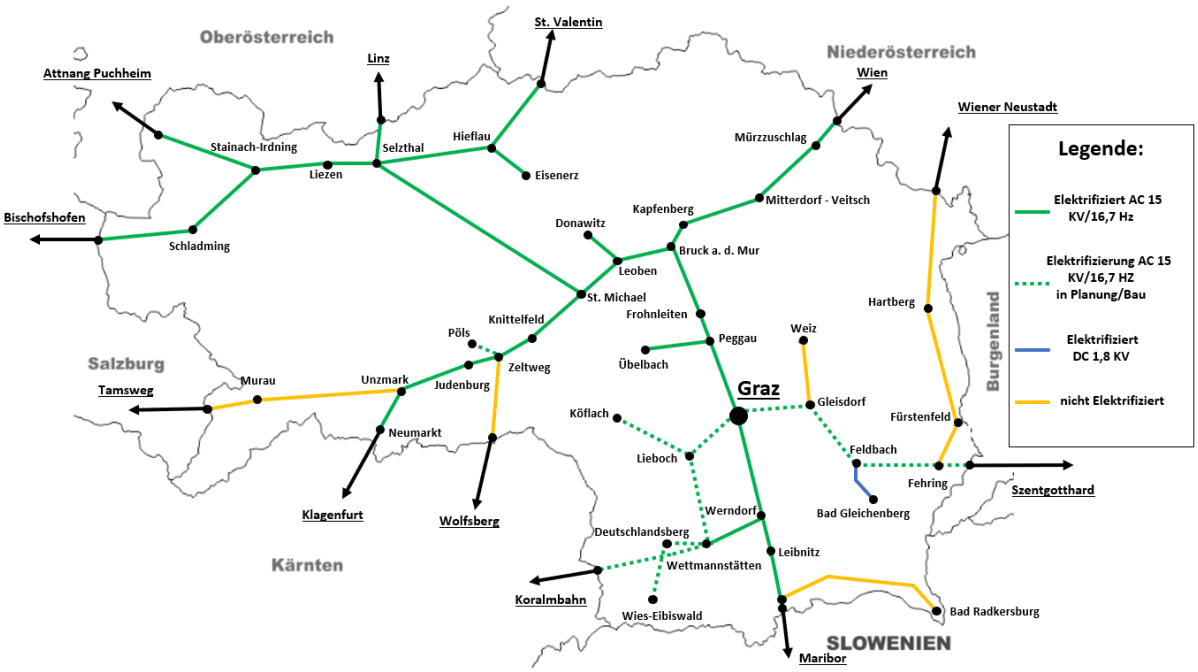


Abbildung 6: Das steirische Eisenbahnnetz.[32]

[31] Vgl.: GKB-Startfolder, 2021, S.2.
[32] Quelle: Eigene Darstellung.

2.5 Das Oberleitungssystem

Die Oberleitungsanlage, auch Fahrleitungsanlage genannt, ist ein Netzwerk zur Versorgung elektrisch angetriebener Fahrzeuge mit elektrischer Energie vom Unterwerk. Die Leistungsübertragung muss mit minimalen Energieverlusten und ohne Unterbrechung erfolgen. Die Oberleitungsanlage hat im Wesentlichen eine Doppelfunktion: Sie dient einerseits als Leitung zur Energieübertragung über eine bestimmte Entfernung und andererseits als Gleitkontakt zum Stromabnehmer der Fahrzeuge.

Die Anforderungen an die Konstruktion einer Oberleitungsanlage sind vielfältig. Hierzu gehören:

- Das dynamische Zusammenwirken zwischen Stromabnehmer und Oberleitung soll, in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit, eine unterbrechungslose Leistungsübertragung ermöglichen. Hierfür ist eine gleichbleibende Elastizität erforderlich.
- Die Fahrleitungsanlage soll betriebssicher und leistungsfähig sein und darf Personen und Anlagen im Bahnbereich nicht gefährden.
- Die Oberleitungsanlage sollte eine hohe Lebensdauer haben. Dies erfordert eine hohe mechanische und elektrische Festigkeit, Korrosionsbeständigkeit, Witterungsbeständigkeit, insbesondere gegen Wind- und Eislasten sowie geringe und gleichmäßige Abnutzung des Fahrdrahts.
- Die Investitions- und Instandhaltungskosten sollten möglichst gering sein. [33]

Durch ihre einfache Konstruktion sowie ihre überzeugenden elektrischen und mechanischen Merkmale haben sich Kettenwerksoberleitungen als zuverlässige Option etabliert. Die Qualität der Leistungsübertragung zum Triebfahrzeug wird maßgeblich durch das harmonische Zusammenspiel von Oberleitung und Stromabnehmer bestimmt, welches Zuverlässigkeit, Betriebssicherheit und Verfügbarkeit beeinflusst.

Abhängig von ihren Konstruktionsmerkmalen können Oberleitungen in verschiedene Typen eingeteilt werden, wie z.B. Flachketten- oder Hochkettenoberleitung, mit oder ohne Y-Beiseil, oder in Stromschienen. Die historische Entwicklung und die Vielfalt der elektrischen Bahnsysteme haben zur Entstehung verschiedener Oberleitungssysteme geführt.[34]

[33] Vgl.: Fendrich, 2019, S.728.
[34] Vgl.: Fendrich, 2019, S.728.

Abbildung 7 veranschaulicht die verschiedenen Oberleitungssysteme von elektrischen Bahnen.

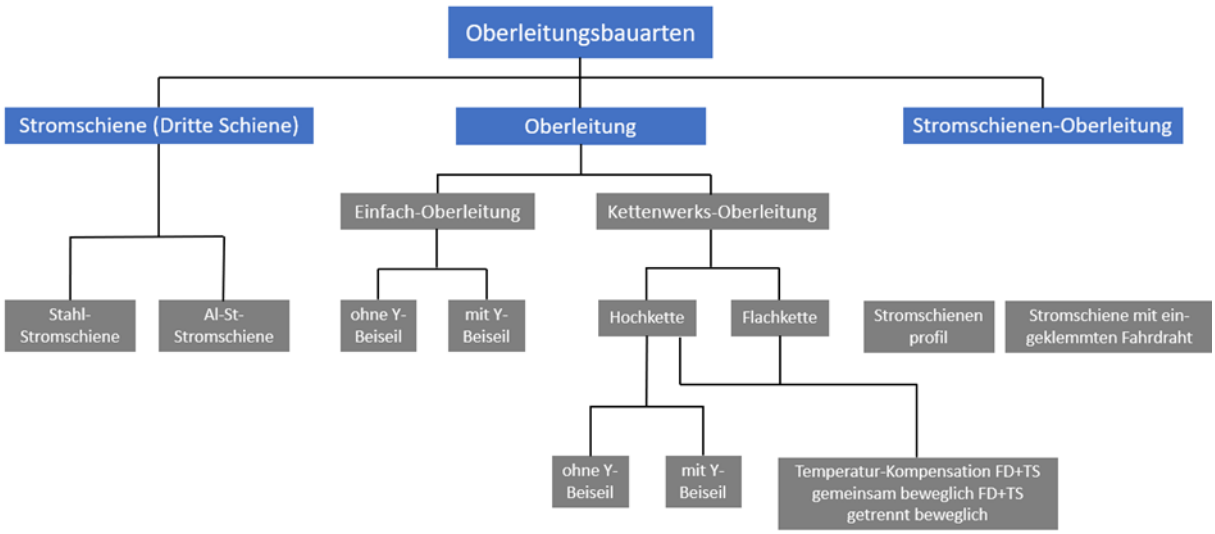


Abbildung 7: Oberleitungssysteme elektrischer Bahnen[35]

Für Vollbahnen werden in Europa bis auf wenige Ausnahmen Hochkettenoberleitungen verwendet.

Die Hochkette besteht aus Tragseil, Hängern und Fahrdraht und wird auch als Längskettenwerk bezeichnet. Kettenwerksoberleitungen sind wegen ihrer einfachen Bauweise und guten elektrischen und mechanischen Eigenschaften eine bewährte Lösung.[36]

Eine Kettenwerksoberleitungsanlage umfasst im Wesentlichen folgende Komponenten:

- Fundamente, Tragkonstruktionen und alle anderen Komponenten, die der Halterung, Seitenführung, Abspannung, Nachspannung oder Isolierung der Leiter dienen.
- alle Oberleitungsdrähte, einschließlich Längstragseile, Fahrdrähte und Rückleiter, Umgehungsleitungen, Verstärkungsleitungen, Speiseleitungen und Schalterleitungen, die an den Tragkonstruktionen befestigt sind.
- Schaltgeräte, Überwachungs- und Schutzeinrichtungen, die an den Tragkonstruktionen befestigt sind.
- Bahnerdungs- und Rückstromführungssysteme.

Die Kettenwerksoberleitung besteht im Wesentlichen aus dem Kettenwerk und den Oberleitungsstützpunkten. Das Kettenwerk der Oberleitung umfasst die Gesamtheit von

[35] Quelle: Irsinger, 2020; S.18.
[36] Vgl.: Fendrich, 2019, S.728.

Längstragseil, Fahrdraht, den Hängern und den elektrischen Verbindungen. Die Oberleitungsstützpunkte sind Bauteile, die das Kettenwerk tragen.

Eine typische Hochkettenoberleitung besteht aus folgenden Komponenten:

1. **Oberleitungsmast:** Dies ist die Haupttragstruktur der Oberleitung.
2. **Ausleger:** Tragvorrichtungen der Oberleitungen, bestehend aus einem oder mehreren an einem Stützpunkt oder Bauwerk befestigten Querarmen.[37]
3. **Isolator:** Diese werden verwendet, um unter Spannung stehende Teile von anderen Objekten oder Strukturen zu isolieren.
4. **Längstragseil:** Dies ist das Seil, das direkt oder indirekt den Fahrdraht oder die Fahrdrähte trägt.
5. **Fahrdraht:** Ist der elektrische Leiter einer Oberleitung, der den Kontakt mit den Stromabnehmern herstellt.[38]
6. **Hänger:** Die Hänger tragen gemeinsam mit dem Längstragseil den Fahrdraht und sorgen für dessen exakte Höhenlage.[39]
7. **Bewegliche Nachspanneinrichtung:** Es handelt sich um Vorrichtungen, die verwendet werden, um die mechanische Zugkraft der Leiter innerhalb eines vorgegebenen Temperaturbereiches selbsttätig konstant zu halten.[40]
8. **Streckentrenner:** Diese ermöglichen es, die Stromversorgung für bestimmte Streckenabschnitte zu unterbrechen.[41]
9. **Masterdung:** Alle nicht unter Spannung stehenden Teile der Oberleitung sind mit der Bahnerdung zu verbinden. Grundsätzlich sind die Oberleitungsanlagen der durchgehenden Hauptgleise mit Rückleiter auszurüsten. Bei Masten ohne Rückleiter ist hingegen eine Verbindung mittels Erdungsseil zur Schiene herzustellen.[42]
10. **Rückleiter:** An Oberleitungsstützpunkten parallel zum Gleis angeordnete Rückleitungsseile, die einen wesentlichen Teil der Rückleitung des Bahnstromes bilden und die Oberleitungsmaste mit der Bahnerdung bzw. mit den Fahrschienen verbinden.
11. **Speiseleitung:** Speiseleitungen versorgen Oberleitungsabschnitte, die nicht unmittelbar beim Unterwerk beginnen.[43]
12. **Einspeisung:** Der Punkt, an dem die Versorgungssystemeinspeisung an die Oberleitung erfolgt. [44]

[37] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.14.
[38] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.12.
[39] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.54.
[40] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.17.
[41] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.15.
[42] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.66.
[43] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.13.
[44] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.14.

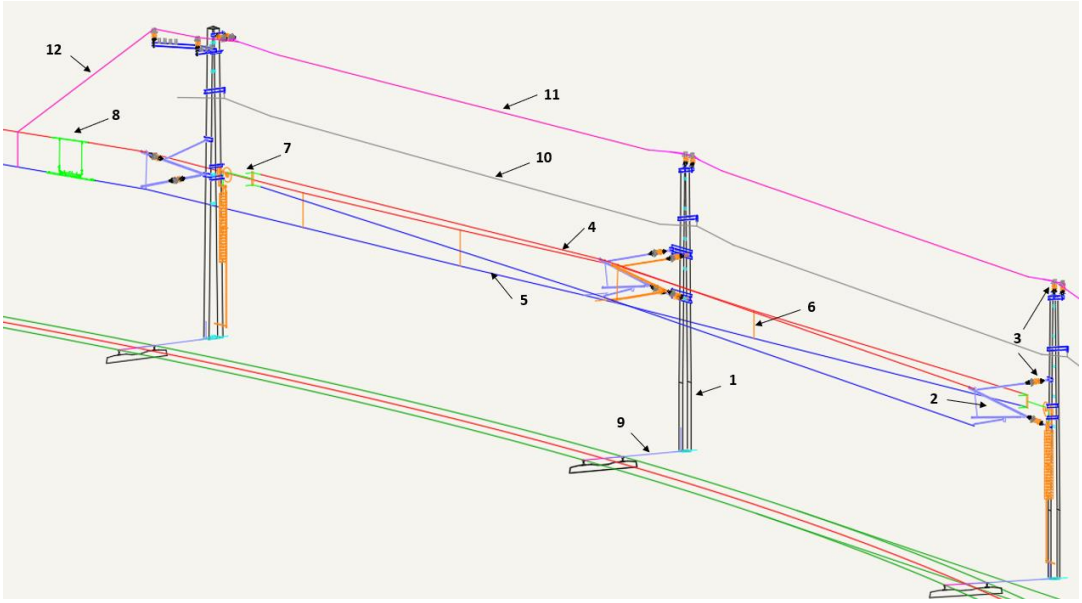


Abbildung 8: Allgemeiner Aufbau einer Oberleitung[45]

Abbildung 8 veranschaulicht den allgemeinen Aufbau einer Hochkettenoberleitung.

3 Die Eisenbahnstrecke Gleisdorf – Weiz

In diesem Kapitel wird ein Einblick in die Eisenbahnstrecke Gleisdorf – Weiz gegeben und die Notwendigkeit einer Elektrifizierung erläutert. Dabei wird ein besonderer Fokus auf den Streckenabschnitt „Weiz Stadt" gelegt. Zudem wird das für die Elektrifizierung notwendige Oberleitungssystem ausgewählt und erläutert.

Die 15 km lange Eisenbahnstrecke zweigt vom ÖBB-Bahnhof Gleisdorf von der steirischen Ostbahn ab und verbindet die beiden Städte Gleisdorf und Weiz miteinander. Die Strecke wird von den STLB betrieben und gilt sowohl für den Personen-, als auch für den Güterverkehr als wichtige Verkehrsader in der Region. Die betriebssteuernde Stelle der eingleisigen, nicht elektrifizierten Strecke befindet sich im Bf. Weiz und wurde 1889 eröffnet. Entlang der Strecke befinden sich zehn Verkehrsstationen, acht Anschlussbahnen und 20 Eisenbahnkreuzungen. Auf der Strecke wird sowohl der Personen- als auch der Güterverkehr in V3-Betrieb abgewickelt. Die Streckenhöchstgeschwindigkeit beträgt 90 km/h, die maximale Neigung beträgt 16 ‰ und der kleinste Radius 150 m. Aktuell werden Dieseltriebwagen der Marke Stadler für den Personenverkehr eingesetzt. Abbildung 9 veranschaulicht einen Überblick des Streckenverlaufs. [46]

[45] Quelle: Eigene Abbildung mittels FLTG erstellt.
[46] Vgl.: Schreiber D., Experteninterview, 11.02.2022.

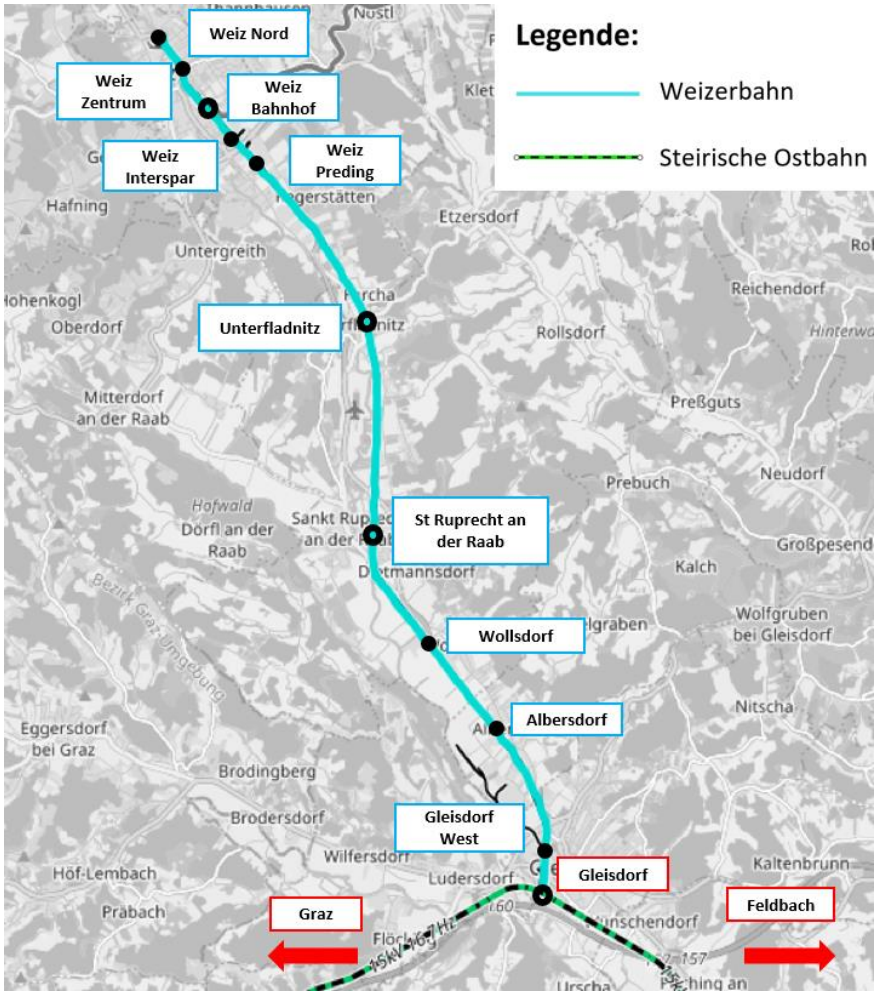


Abbildung 9: Streckenverlauf Gleisdorf - Weiz[47]

In Abschnitt 2.1.1 wurden bereits die Vorteile der Elektrifizierung gegenüber dem Einsatz von Dieselantrieb dargelegt. Die Elektrifizierung der Eisenbahnverbindung zwischen Gleisdorf und Weiz nimmt nicht nur eine Schlüsselposition für die Elektrifizierung der Steirischen Ostbahn ein, sondern spielt auch für das gesamte steirische Eisenbahnnetz eine bedeutende Rolle. Diese Maßnahme stellt einen wesentlichen Schritt in Richtung einer nachhaltigen und zukunftsorientierten Mobilität für die Region dar und fügt sich als wichtiger Baustein in die übergeordnete Klimastrategie des Bundeslandes Steiermark ein.

Die Entscheidung zur Untersuchung einer Elektrifizierung der Strecke mittels Oberleitung wurde aufgrund der Ergebnisse einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung der TU Dresden getroffen, welche zeigt, dass sich bei einem Taktverkehr häufiger als eine Stunde eine Elektrifizierung langfristig gegenüber alternativen Antrieben lohnt.[48] Aus diesem Grund wurden alternative Antriebssysteme nicht weiter untersucht.

[47] Quelle: Eigene Darstellung entnommen aus Open Railway Map.
[48] Vgl.: Arnd, 2019, S19.

3.1 Wahl des Oberleitungssystems

Die Entscheidung, die Eisenbahnstrecke Gleisdorf-Weiz mit dem ÖBB-Oberleitungssystem zu elektrifizieren, wurde nach gründlichen Überlegungen und Diskussionen getroffen. In diesem Zusammenhang wurde ein ausführliches Interview mit dem Projektleiter der Elektrifizierung der GKB geführt, um Einblicke und Erfahrungen aus erster Hand zu sammeln. Die Erkenntnisse aus diesem Gespräch waren insbesondere wertvoll, da die GKB-Eisenbahnstrecke aus ähnlichen Gründen ebenfalls mit dem ÖBB-Oberleitungssystem elektrifiziert wurde.[49] Eine Reihe von Faktoren führten schließlich zur Entscheidung, dass das ÖBB-Oberleitungssystem die geeignetste Option für die Strecke Gleisdorf-Weiz ist.

- **Einhaltung der TSI-Kriterien**

  Das ÖBB-Oberleitungssystem entspricht den technischen Spezifikationen für die Interoperabilität kurz TSI, welche die grundlegenden Anforderungen hinsichtlich Sicherheit, Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und technischer Kompatibilität erfüllen. Diese Konformität mit den TSI stellt sicher, dass das System effizient mit anderen Teilen des europäischen Eisenbahnnetzes zusammenarbeiten kann.

- **Vorhandenes Regelwerk und geprüfte Komponenten**

  Ein bedeutender Aspekt bei der Wahl des ÖBB-Oberleitungssystems ist das bestehende Regelwerk, das die Einhaltung aller relevanten Gesetze und Normen gewährleistet. Sämtliche Bauteile sind in diesem Regelwerk geregelt und wurden durch eine akkreditierte Prüfanstalt zugelassen. Dies stellt sicher, dass für alle Komponenten auch in Zukunft Ersatzteile verfügbar sind.

- **Nutzung von ÖBB-Fachwissen**

  Ein weiterer großer Vorteil liegt im Zugang zum spezialisierten Wissen der ÖBB. Dieses Know-how kann während der Planung und Instandhaltung des Systems genutzt werden, um einen effizienten und fachgerechten Betrieb sicherzustellen.

- **Versorgung durch das bestehende ÖBB-Unterwerk**

  Die Elektrifizierung der Strecke Gleisdorf-Weiz könnte direkt über das bereits für die Einspeisung der Weizerbahn dimensionierte ÖBB-Unterwerk in Studenzen-Fladnitz erfolgen.[50] Das hätte den Vorteil, dass die Weizerbahn keine eigene Schaltzentrale benötigen würde. Stattdessen könnte die Überwachung und Steuerung über die ÖBB-Leitzentrale erfolgen. Dies hätte den weiteren Vorteil, dass etwa fünf Mitarbeiter eingespart werden könnten, da die bestehende Infrastruktur und das Personal der ÖBB genutzt würden.

[49] Vgl.: Experteninterview Martin Waltl, 20.05.2023.
[50] Vgl.: Riegler, 2022, S.25.

- **Effiziente Integration in das bestehende Netz**

  Ein weiterer wesentlicher Vorteil der Verwendung des ÖBB-Oberleitungssystems liegt in der Fähigkeit zur nahtlosen Integration in das bereits bestehende Eisenbahnnetz. Durch die Nutzung eines bereits etablierten und bewährten Systems können potenzielle technische Herausforderungen und Kompatibilitätsprobleme minimiert werden. Ein zusätzlicher Vorteil liegt darin, dass keine Mehrsystemtriebfahrzeuge für die Elektrifizierung notwendig wären.

- **Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit**

  Abschließend ist das ÖBB-Oberleitungssystem eine kosteneffiziente Wahl. Durch die Nutzung vorhandener Infrastruktur und Ressourcen sowie durch die Einsparung von Personal, die durch die Verwendung der ÖBB-Leitzentrale ermöglicht wird, können die Betriebskosten gesenkt werden. Darüber hinaus gewährleistet die Nutzung eines bewährten Systems, dass Kosten für Investitionen in Ersatzteile und Wartung verringert werden können.[51]

Die Elektrifizierung der Eisenbahnstrecke Gleisdorf-Weiz unter Verwendung des ÖBB-Oberleitungssystems bietet somit eine Vielzahl von Vorteilen.

3.2 Das ÖBB-Oberleitungssystem

In diesem Abschnitt wird das ÖBB-Oberleitungssystem vorgestellt und erläutert. Die Grundlage dafür bildet das ÖBB-Regelwerk 12.10.01. „Vorgaben für die Planung und Ausführung der ÖBB-Oberleitungsanlagen“.

Gemäß diesem Regelwerk werden Oberleitungsanlagen entsprechend ihrer zulässigen Geschwindigkeiten kategorisiert und in vier verschiedene Typen eingeteilt. Jeder dieser Typen ist speziell ausgelegt, um den elektrischen, mechanischen und betrieblichen Anforderungen an eine Oberleitungsanlage gerecht zu werden.

Die Kategorien der ÖBB-Oberleitungsanlagen sind folgende:

- **Oberleitungstyp 1.1:** Für Geschwindigkeiten bis 80 km/h (für Nebengleise und Anschlussbahnen)
- **Oberleitungstyp 1.2:** Für Geschwindigkeiten bis 120 km/h
- **Oberleitungstyp 1.3:** Für Geschwindigkeiten über 120 km/h bis 160 km/h
- **Oberleitungstyp 2.1**: Für Geschwindigkeiten über 160 km/h bis 250 km/h[52]

Diese Oberleitungsanlagen sind so konzipiert, dass sie unter den klimatischen Bedingungen in Österreich (bei Temperaturen zwischen -30 °C und +40 °C) vollständig funktionsfähig

[51] Vgl.: Experteninterview Martin Waltl, 20.05.2023.
[52] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.19.

bleiben. Unter Berücksichtigung der ÖNORM 4014-1 sind die Oberleitungstypen für eine Windgeschwindigkeit von 33 m/s ausgelegt, mit Ausnahme der Oberleitungstyps 1.1, da hierbei aus wirtschaftlichen Gründen eine Windgeschwindigkeit von 26 m/s berücksichtigt wird. Die maximale Seitenverschiebung des Fahrdrahtes darf 400 mm nicht überschreiten und ist während der Planung, Errichtung und Instandhaltung nachweislich einzuhalten.[53]

Die Auswahl der Oberleitungstypen basiert auf der projektierten Entwurfs-Geschwindigkeit, die während der Projektentwicklung festgelegt wird. Die Anlagen werden so dimensioniert, dass auf den Streckengleisen und durchgehenden Hauptgleisen eine Steigerung der Betriebsgeschwindigkeit um maximal 25 % ohne technische Einschränkungen realisierbar ist.

Die ÖBB-Oberleitungsanlagen sind für Einphasenwechselstrom mit einer Nennspannung von 15 kV und einer Frequenz von 16,7 Hz ausgelegt. Die Schaltungen der Oberleitungsanlage und die entsprechenden Schaltpläne sind nach den Bestimmungen der Dienstvorschrift sowie der Einheitsdarstellung auszuführen.[54]

Für die Elektrifizierung der Eisenbahnstrecke Gleisdorf-Weiz mit einer Streckenhöchstgeschwindigkeit von 90 km/h wird gemäß dem ÖBB-Regelwerk der Oberleitungstyp 1.2 für die Hauptgleise festgelegt. Dieser Typ ist auch für eine potenzielle Geschwindigkeitserhöhung auf 120 km/h zulässig.

Für die Nebengleise und den Streckenabschnitt „Weiz Stadt" ist der Einsatz des Oberleitungstyps 1.1 sowohl wirtschaftlich als auch praktisch sinnvoll. Dieser Typ eignet sich insbesondere für Nebengleise in Betriebsstellen, Anschlussbahnen und ähnlichen Anwendungen, bei denen Geschwindigkeiten bis max. 80 km/h erreicht werden.

4 Technische Machbarkeitsuntersuchung zur Elektrifizierung des Streckenabschnittes „Weiz Stadt“

In diesem Kapitel steht die technische Machbarkeitsuntersuchung im Vordergrund. Hierbei wird ein besonderes Augenmerk auf die Auswahl des geeigneten Oberleitungssystems gelegt und die entsprechende Wahl auf fundierten Grundlagen nachvollziehbar dargestellt. Darüber hinaus werden detaillierte Spezifikationen des ausgewählten Oberleitungssystems beleuchtet. Ausgehend von einer soliden Planungsgrundlage erfolgt die Konzeption der Elektrifizierung für den genannten Streckenabschnitt, wobei eine spezialisierte Oberleitungsprojektierungssoftware zum Einsatz kommt. Die technische Umsetzbarkeit wird intensiv überprüft und mögliche Herausforderungen werden identifiziert. Abschließend erfolgt eine genaue Kostenschätzung zur Veranschaulichung des finanziellen Rahmens des Projekts.

[53] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.20.
[54] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.22.

4.1 Streckenabschnitt „Weiz Stadt“

Der 672 m lange Streckenabschnitt „Weiz Stadt“ ist eine im Jahr 2018 fertiggestellte Verlängerung der Weizerbahn in das Stadtzentrum. Die neue Gleisanlage führt entlang der Bundesstraße B64 bis zum Transformatorenwerk der Firma Andritz und endet auf Höhe der Franz-Thiel-Gasse. Entlang des Streckenabschnitts befinden sich vier Eisenbahnkreuzungen, die beiden Haltestellen „Weiz Zentrum“, „Weiz Nord“ sowie die Anschlussbahn „Andritz Hydro Nord“. Der Eisenbahnbetrieb wird hier in V3-Betrieb mit einer Höchstgeschwindigkeit von 40 km/h abgewickelt und zusätzlich gilt das Fahren auf Sicht.[55]

Abbildung 10 veranschaulicht den Streckenverlauf in das Stadtzentrum Weiz.

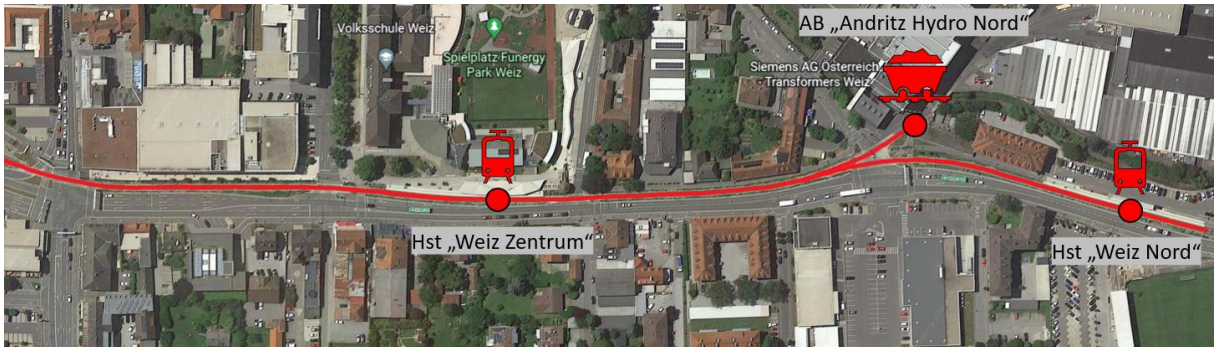


Abbildung 10: Streckenabschnitt „Weiz Stadt“[56]

4.2 Planung von Oberleitungen

Dieses Kapitel konzentriert sich auf die Erklärung des Oberleitungsplanungsprozesses. Dieser Prozess zielt darauf ab, basierend auf technischen Vorgaben, Streckenspezifikationen, Betriebsanforderungen und Planungsunterlagen für den Bau und Betrieb einer Oberleitungsanlage auf einer spezifischen Strecke zu erstellen.

Der Planungsprozess ist in der Regel in drei Hauptphasen unterteilt:

- Vorentwurfsplanung
- Entwurfsplanung
- Ausführungsplanung

Abbildung 11 stellt den Ablauf der Entwurfs- und Ausführungsplanung anschaulich dar

[55] Vgl.: Schreiber D., Experteninterview, 11.02.2022.
[56] Eigene Darstellung, entnommen aus Google Earth, (01.02.2022).

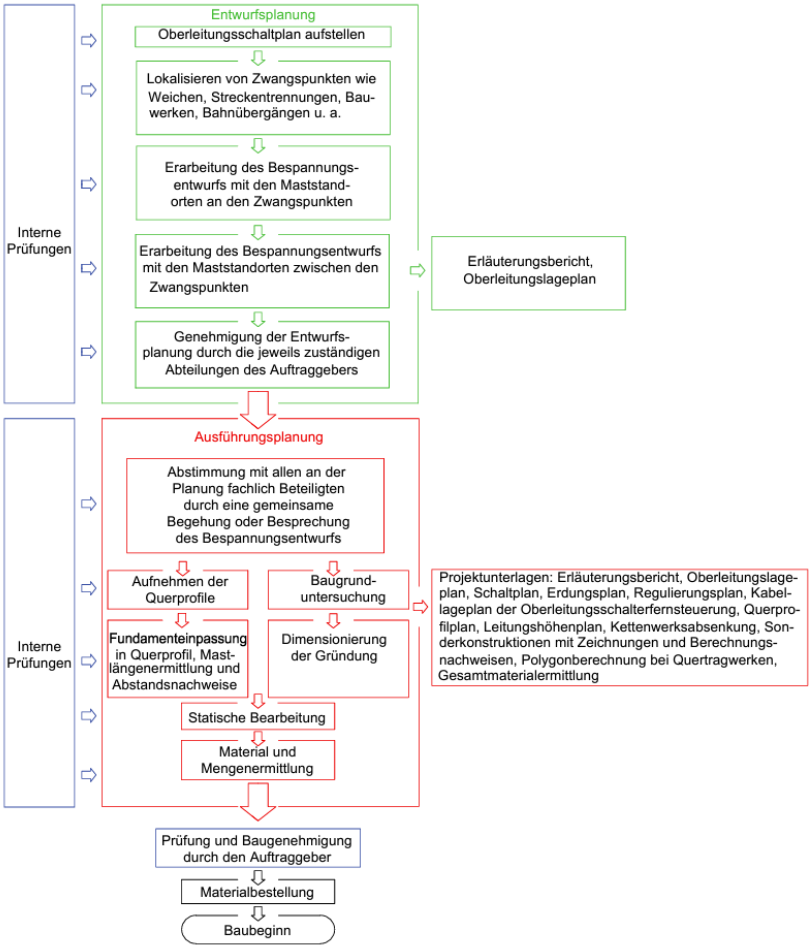


Abbildung 11: Ablauf Entwurfs- und Ausführungsplanung von Oberleitungsprojekten[57]

Die Vorentwurfsplanung ist die erste Phase und befasst sich vor allem mit der Untersuchung der Machbarkeit einer Oberleitung und der dazu erforderlichen Maßnahmen in Bezug auf geplante oder bestehende Gleislagen, Tunnel, Brücken und klimatische Bedingungen. In dieser Phase wird auch die Kompatibilität der Elektrifizierung mit anderen technischen Einrichtungen, wie beispielsweise der Signaltechnik, bewertet. Aus dieser Phase resultieren technische Lösungen, wie zum Beispiel die Art der Oberleitungsstruktur und eventuell notwendige Anpassungen des Gleislageplans sowie Änderungen an bestehenden Tunneln und Brücken. Des Weiteren erfolgt eine erste Abschätzung der daraus resultierenden Bauzeiten und Investitionen.

Mit diesen Informationen geht der Planungsprozess in die Phase der Entwurfsplanung über. Hier beginnt die Erstellung eines Schaltplans für die Oberleitung, der Details wie Einspeisepunkte, Schaltgruppen, Streckentrennungen, elektrische Trennschalter und Bahnenergieleitungen enthält. Anschließend werden Zwangspunkte identifiziert, an denen die

[57] Quelle: Kießling, 2014, S.754.

Festlegung der Oberleitungsführung nicht allein durch technische Aspekte bestimmt wird. Dabei werden Unterlagen für Gleise, Brücken, Tunnel, Signal- und Kommunikationsanlagen berücksichtigt. Im Anschluss werden Quertragwerke, Einzel- oder Mehrfachträger oder Jochkonstruktionen den Bespannungspunkten zugewiesen und die Maststandorte vorläufig bestimmt.

Die Ausführungsplanung beginnt mit der Begehung der Strecke zusammen mit allen am Bau beteiligten Parteien. Dabei werden alle Anlagen identifiziert, die mit den geplanten Maststandorten kollidieren könnten. Zu berücksichtigen sind unterirdische Anlagen, Kabelkanäle, das Bahnkörperprofil, die Sicht auf Signale und angrenzende Gebäude. Ein Protokoll wird erstellt, das die während der Begehung gewonnenen Erkenntnisse und Schlussfolgerungen für die weitere Planung dokumentiert. Nachdem die Maststandorte endgültig festgelegt wurden, wird der Nachweis der Abstände zwischen aktiven Teilen der Oberleitungsanlage und anderen Anlagen erbracht. Maststandorte und -höhen werden unter Berücksichtigung der erforderlichen Mindestabstände ausgewählt.

Die Planung der Oberleitung ist abgeschlossen, sobald die Materialauswahl auf der Grundlage von Standardzeichnungen für die ausgewählte Oberleitungsbauart und gemäß statischen Berechnungen erfolgt ist. Die Zusammenfassung von standardisierten Einzelteilen zu Baugruppen erleichtert die Materialauswahl und die rechentechnische Umsetzung.[58]

Jede der zuvor genannten Planungsphasen von Oberleitungen erfordert eine detaillierte Analyse und gründliche Überlegungen, um eine effektive und effiziente Umsetzung der Oberleitung zu gewährleisten. Durch die systematische Anwendung der oben genannten Planungsphasen kann sichergestellt werden, dass die ausgeführte Oberleitung optimal auf die gegebenen Bedingungen und Anforderungen abgestimmt ist und sowohl technisch als auch wirtschaftlich sinnvoll ist.

4.3 Planungsgrundlagen des Streckenabschnittes „Weiz Stadt“

Jede Planungs- und Entwurfserstellung beinhaltet die Erfüllung diverser Anforderungen, die möglicherweise in Widerspruch zueinander stehen können. Bei der Planung von Oberleitungsanlagen gelten folgende Kernkriterien:

- **Sicherheit:** Elektrische Anlagen sind so zu planen und zu entwerfen, dass ihre Betriebssicherheit und der Schutz von Personen und Anlagen gewährleistet sind.
- **Zuverlässigkeit:** Die Oberleitungsanlage soll so geplant werden, dass ein störungsfreier Betrieb gewährleistet ist.
- **Beeinträchtigung:** Die Oberleitungsanlage soll so geplant werden, dass sie keine negativen Auswirkungen auf Personen durch Emissionen, Lärm, elektromagnetische Felder, Strahlung oder sonstige Beeinträchtigungen verursacht.

[58] Vgl.: Kießling, 2014, S.754-755.

- **Naturschutz:** Ziel ist es, den Eingriff in Landschaftsschutzgebiete, Naturparks, Naturschutzgebiete und Lebensräume bedrohter Tier- und Pflanzenarten so gering wie möglich zu halten.
- **Flächenverbrauch:** Die Inanspruchnahme zusätzlicher Flächen soll durch die Planung minimiert werden.
- **Kosten:** Die gesamten Lebenszykluskosten der Oberleitungsanlage sollen durch eine effiziente Planung so gering wie möglich gehalten werden.[59]

Neben den Kernkriterien sind auch die grundsätzlichen Anforderungen an eine Oberleitungsanlage bereits während des Planungsprozesses zu berücksichtigen. Diese sind:

- Ein hoher Qualitätsstandard
- Eine optimale Verfügbarkeit, Qualität und Zuverlässigkeit
- Günstige Lebenszykluskosten
- Die Interoperabilitätskriterien
- Einfache Instandhaltung
- Bestmögliche Güte der Stromabnahme für zugelassene Stromabnehmer

Für den Streckenabschnitt „Weiz Stadt“ kommt die ÖBB-Oberleitungstype 1.1 unter Berücksichtigung der genannten Planungsgrundsätze zum Einsatz. Diese Auswahl basiert auf dem Ziel, ein sicheres, verlässliches und umweltschonendes Elektrifizierungssystem zu implementieren, welches den besonderen Bedürfnissen dieses Streckenabschnitts entspricht und alle relevanten Kriterien für Oberleitungsanlagen erfüllt.

4.4 Bahnstromversorgung des Streckenabschnittes „Weiz Stadt“

Dieses Kapitel konzentriert sich speziell auf die Bahnstromversorgung des Streckenabschnittes „Weiz Stadt". Da die vollständige Planung der gesamten Eisenbahnstrecke nicht im Fokus dieser Arbeit liegt, wurden für die Bahnstromversorgung des genannten Abschnitts bestimmte Annahmen getroffen.

Hierbei wird angenommen, dass der Streckenabschnitt über ein Schaltgerüst im Bahnhof Weiz mit Traktionsstrom versorgt wird. Ein wesentlicher Aspekt der Projektierung in diesem Kontext ist der Entwurf eines Oberleitungsschaltplans. Bei der Erstellung des Schaltplans werden verschiedene Gesichtspunkte berücksichtigt, darunter netztechnische, bahnbetriebliche, wirtschaftliche sowie schutz- und oberleitungstechnische Aspekte. Ein schematischer Gleislageplan mit Signalen, Weichenverbindungen und wichtigen Bauwerken bildet dabei die Grundlage für die Planung.

[59] Vgl.: Pirner, 2020, S.5.

Die Aufteilung der Oberleitungen in einzelne Schaltgruppen muss den Anforderungen des Eisenbahnbetriebs entsprechen. Dies erfordert eine genaue Planung und einen geordneten Prozess, um überflüssigen Planungsaufwand zu vermeiden. Faktoren, die die Lage der elektrischen Trennung beeinflussen, sind beispielsweise betriebliche Erfordernisse, Anforderungen der Instandhaltung und Anforderungen anderer Fachbereiche wie der Signaltechnik.[60]

Wie bereits in Kapitel 2.2 erläutert, erfolgt die Versorgung der Oberleitungen mit Traktionsstrom über das Unterwerk. Schaltabschnitte von Bahnhöfen und Streckenabschnitten sind dabei in elektrisch trennbare Schaltgruppen unterteilt, was Vorteile für die Instandhaltung und Störungsbeseitigung bringt. Die exakte Einteilung sowie die Bildung von Schaltabschnitten und Schaltgruppen obliegt maßgeblich der betriebsführenden Stelle.

In den Schaltplänen der Oberleitungsanlage werden die Oberleitungsschalter in ihrer Grundstellung dargestellt. Schaltpläne sind für Betriebsstellen mit Weichen zu erstellen. Die Ausrichtung der Schaltpläne orientiert sich an der zukünftigen Darstellung auf der einheitlichen Bedienoberfläche in der Betriebsführungszentrale. Im Schaltplan ist die kilometergenaue Lage relevanter Punkte, wie elektrischen Trennungen, Signalen oder Bahnhof-Streckentrennungen, darzustellen. [61]

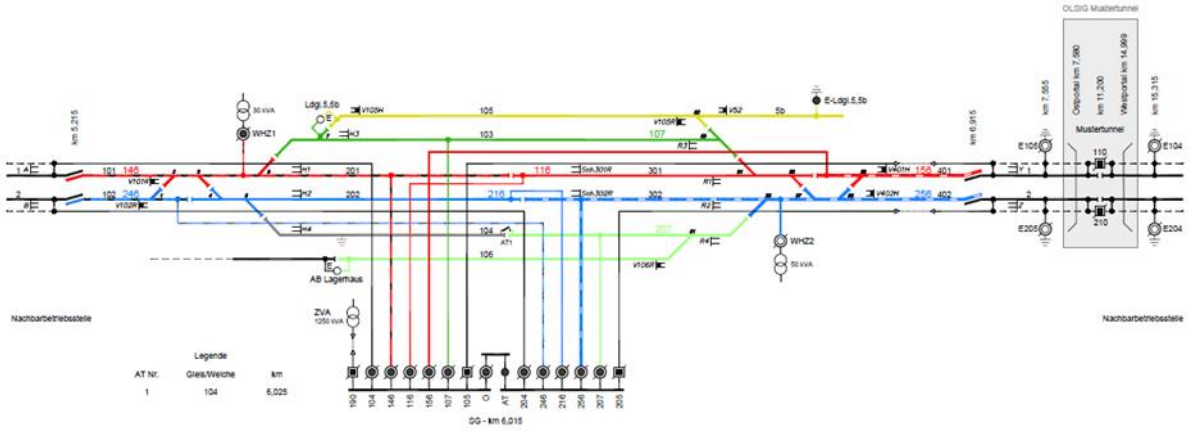


Abbildung 12: Musterschaltplan[62]

Abbildung 12 stellt einen Musterschaltplan eines ÖBB-Bahnhofs dar.

[60] Vgl.: Kießling, 2014, S.766.
[61] Quelle: ÖBB-Regelwerk Einheitsdarstellungen Band III, 2021, ED 41, S.1.
[62] Quelle: ÖBB-Regelwerk Einheitsdarstellungen Band III, 2021, ED 41, S.6.

Im Schaltplan wird hierbei folgendes dargestellt:

- Die farbliche Unterteilung der einzelnen Schaltgruppen
- Die unterschiedlichen Schalter am Schaltgerüst oder an Nebenverbrauchen wie Weichenheizungen, Notstromtransformatoren Zugvorheizungsanlagen oder Ladegleisschalter
- Die Bahnhof-Streckentrennung
- Signale

Es wird davon ausgegangen, dass der Streckenabschnitt über ein Schaltgerüst im Bahnhof Weiz mit Traktionsstrom eingespeist wird. Der Schaltplan gibt daher eine schematische Darstellung des Streckenabschnitts mit dem Schaltgerüst, den unterschiedlichen Schaltgruppen des Bahnhofs und des Streckenabschnitts sowie der elektrischen Trennung am Kilometer 15,077 wieder. Er zeigt auch alle Haltestellen, Weichen und Signale im Streckenabschnitt sowie die Anschlussbahn „Andritz Hydro Nord".

Für den Abschnitt „Weiz Stadt" wurde eine elektrische Trennung durch die Situierung von Streckentrennern auf den Gleisen 604 und 173 festgelegt. Diese Konfiguration sorgt dafür, dass der Bahnhof Weiz und der betreffende Streckenabschnitt elektrisch voneinander getrennt sind, wodurch mögliche Störungen innerhalb des Abschnitts den Bahnhofsbetrieb nicht beeinträchtigen. Der entscheidende Vorteil dieser Anordnung liegt darin, dass bei eventuellen Störungen alle Eisenbahnkreuzungen im betroffenen Abschnitt spannungsfrei bleiben, wodurch die Sicherheit im Betrieb jederzeit gewährleistet wird.

Ein besonderer Aspekt der Planung bezieht sich auf die Anschlussbahn „Andritz Hydro Nord". Für diese wurde eine elektrische Trennung mittels eines Freilufttrennschalters konzipiert. In der Grundstellung ist dieser „AUS" und wird aufgrund von sicherheitstechnischen Aspekten nur bei Verschub- und Ladetätigkeiten manuell eingeschaltet.

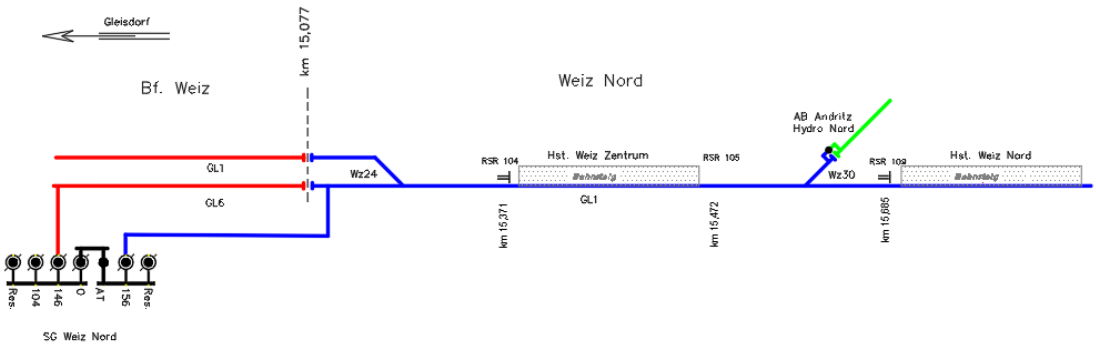


Abbildung 13: Oberleitungsschaltplan für den Streckenabschnitt „Weiz Stadt"[63]

[63] Quelle: Eigene Darstellung.

In Abbildung 13 wird der Oberleitungsschaltplan für den Streckenabschnitt „Weiz Stadt" detailliert dargestellt. Unter der Annahme, dass die Versorgung des genannten Abschnitts mit Traktionsstrom über ein Schaltgerüst im Bahnhof Weiz realisiert wird, liefert der Schaltplan eine schematische Visualisierung des Streckenabschnitts. In diesem Zusammenhang werden sowohl das Schaltgerüst selbst als auch die diversen Schaltgruppen, sowohl des Bahnhofs als auch des Streckenabschnitts, einschließlich der elektrischen Trennung, hervorgehoben. Darüber hinaus zeigt der Schaltplan sämtliche Haltestellen, Weichen und Signale im betrachteten Abschnitt. Nicht zuletzt wird auch die Anschlussbahn „Andritz Hydro Nord" in der Darstellung berücksichtigt.

4.5 Ausführungsmerkmale der ÖBB-Oberleitungstype 1.1 im Streckenabschnitt „Weiz Stadt“

Die wichtigsten Kenndaten der ÖBB-Oberleitungstype 1.1 für den Streckenabschnitt „Weiz Stadt“ sind in Tabelle 3 aufgelistet.

Ausführungsmerkmale der ÖBB-Oberleitungstype 1.1	
Fahrdrahthöhe:	5,50 m
Fahrdrahtseitenlage:	+/- 400 mm
Systemhöhe:	1,30 m
Fahrdraht:	100 mm^2 Profilfahrdraht
Längstragseil:	40 mm^2 Nirostaseil
Ausleger:	mit vorgesetzter Isolation
Nachspannlänge:	Halbsektion
Längsspannweite:	max. 78 m
Anhubfreiraum am befahrenen Fahrdraht:	min. 150 mm
Elektrische Trennung:	Streckentrenner
Sektionstrennung:	Zweifeldrige Trennung
Rückleiterseil:	mit Rückleiter (Alu/Stalum 260/23 mm^2)
Oberleitungsschalter:	Freilufttrennschalter am Oberleitungsmast
Oberleitungsmaste:	Stahlbetonmaste oder Stahlmaste
Oberleitungsfundamente:	Rammfundamente/Ortbetonfundamente

Tabelle 3: Ausführungsmerkmale der ÖBB-Oberleitungstype 1.1 im Streckenabschnitt „Weiz Stadt"

In den folgenden Kapiteln werden die spezifischen Ausführungsmerkmale der Oberleitungstype 1.1 detailliert beschrieben.

4.5.1 Wahl der Fahrdrahthöhe

Die Fahrdrahthöhe bezeichnet den kürzesten Abstand von der Schienenkopfoberkante zur Unterkante des Fahrdrahts, siehe Abbildung 14. Hierbei wird unterschieden in:

- **Regelfahrdrahthöhe:** Dies ist die für die jeweilige Oberleitungstype festgelegte und anzuwendende Nennfahrdrahthöhe. (5,50 m)
- **Mindestfahrdrahthöhe:** Dies ist der kleinste zulässige Wert der Fahrdrahthöhe, um Lichtbögen zwischen dem Fahrdraht und dem Fahrzeug in allen Betriebszuständen zu vermeiden. (5.00 m)
- **Größte Fahrdrahthöhe:** Dies bezeichnet die maximale Fahrdrahthöhe, einschließlich aller Toleranzen. (5,75 m)[64]

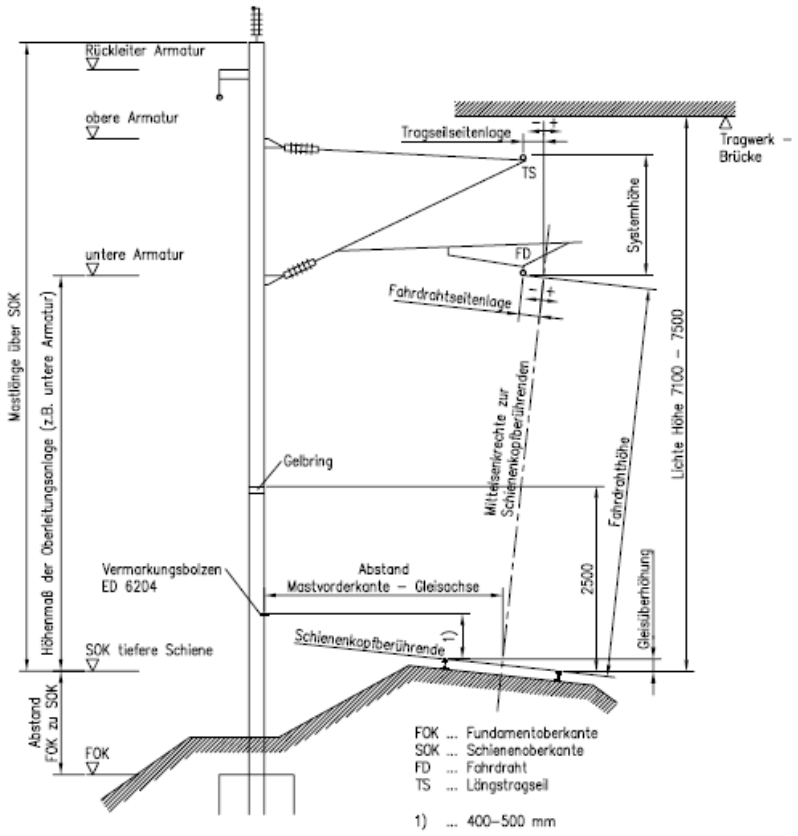


Abbildung 14: Bezug der Oberleitungsanlage zur Bahnanlage[65]

[64] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.13.
[65] Quelle: ÖBB-Regelwerk Einheitsdarstellungen Band III, 2021, ED 31.

4.5.2 Wahl der Fahrdrahtseitenlage

Die Verschiebung des Fahrdrahtes an den Stützpunkten, auch als Fahrdrahtseitenlage oder Zick-Zack bekannt, gewährleistet einen gleichmäßigen Verschleiß der Schleifleisten des Stromabnehmers. Zudem sorgt sie für die entsprechende Seitenzugkraft am befahrenen Seitenhalter.

Unter Berücksichtigung der zulässigen seitlichen Auslenkung des Fahrdrahtes unter dem Einfluss von Querwindeinwirkung sowie der festgelegten Mindest-Seitenzugkraft am Oberleitungsstützpunkt betragen die maximalen Seitenverschiebungen der befahrenen Fahrdrähte für die Oberleitungstype 1.1 ± 400 mm.[66]

Abbildung 15 zeigt eine schematische Darstellung einer Oberleitungskette. Die Bezugspunkte von -400 mm und +400 mm beziehen sich jeweils auf die Gleisachse. Dabei beschreibt -400 mm die Distanz zur Seite des Oberleitungsmasten hin, während +400 mm die Distanz in entgegengesetzter Richtung, also weg vom Oberleitungsmasten, angibt.

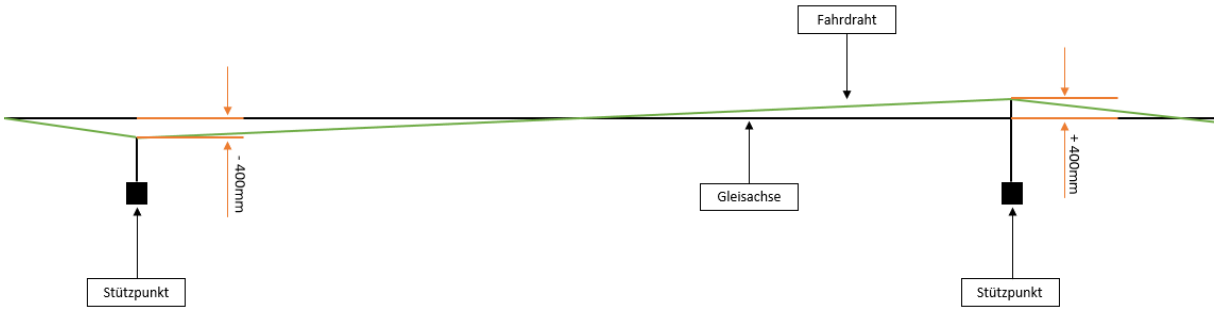


Abbildung 15: Darstellung Seitenverschiebung einer Oberleitungskette[67]

4.5.3 Wahl der Systemhöhe

Die Systemhöhe definiert den senkrechten Abstand zwischen der Unterseite des Fahrdrahtes und der Mitte des Längstragseiles am Oberleitungsstützpunkt. Die Systemhöhe ist in Abbildung 14 dargestellt und beträgt für diese Oberleitungstype 1,3 m.[68]

[66] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.50.
[67] Quelle: Eigene Darstellung.
[68] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.51.

4.5.4 Ausführung des Fahrdrahts

Der Fahrdraht einer Oberleitung fungiert als elektrischer Leiter und stellt den Kontakt zu den Stromabnehmern her. Für den Bau einer 1.1 Oberleitung wird hierbei ein Profilfahrdraht mit einer Querschnittsfläche von 100 mm² aus einer Kupferlegierung verwendet.[69]

Abbildung 16 veranschaulicht den Profilfahrdraht 100 mm² und 120 mm² der Deutschen Bahn. Diese unterscheiden sich vom ÖBB-Profildraht lediglich in der Lager der Kennrillen.

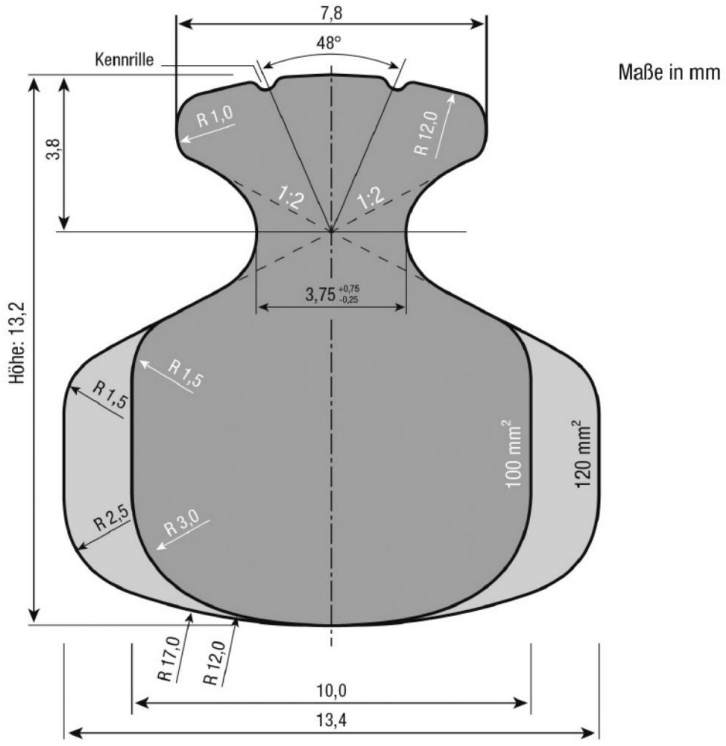


Abbildung 16: Profilfahrdraht CF-100 und CF-120 mm²[70]

4.5.5 Ausführung des Längstragseils

Das Längstragseil trägt direkt oder indirekt den Fahrdraht. Bei der Konstruktion einer 1.1 Oberleitung wird hierbei ein Nirostaseil mit einem Querschnitt von 40 mm² verwendet. Im Falle einer Zick-Zack-Führung des Fahrdrahts auf gerader Strecke sollten die Längstragseile generell senkrecht über der Gleisachse positioniert werden. Bei einer Führung des Fahrdrahts in Gleisbögen, an Streckentrennern oder Weichen, sollte das Längstragseil direkt über dem Fahrdraht positioniert sein.[71]

[69] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.88.
[70] Quelle: Irsinger, 2020; S. 39.
[71] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.91.

4.5.6 Ausführung der Ausleger

Im Allgemeinen sind ÖBB-Oberleitungen mit Drehauslegern ausgestattet, die an den Oberleitungsmasten befestigt sind. Aufgrund der dichten Bebauung und geringen Abstände zur Oberleitung im Streckenabschnitt „Weiz Stadt“, werden Drehausleger mit vorgesetzten Isolationen im Tragrohr (13) und Strebenrohr (13) verwendet. Dies gewährleistet die Einhaltung sowohl der elektrischen Mindestabstände als auch der sicherheitstechnischen Abstände. Zusätzlich trägt die vorgesetzte Isolation dazu bei, dass sich der Abstand vom elektrischen Leiter zu den öffentlichen Bereichen vergrößert, wodurch das elektromagnetische Feld sich verringert.[72]

Abbildung 17 veranschaulicht die Drehausleger der Bauform „Z“ und „D“, mit vorgesetzter Isolation. Bauform Z ist auf Zug belastet und Bauform D ist auf Druck belastet.

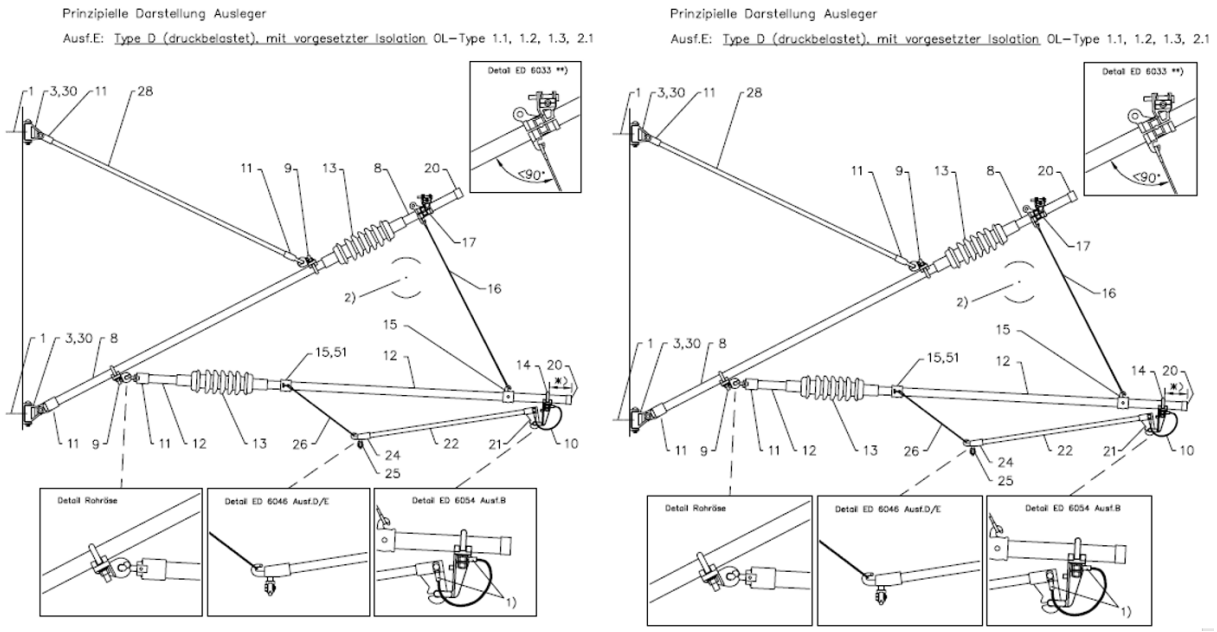


Abbildung 17: Drehausleger Bauform „Z“ und „D“ mit vorgesetzter Isolation [73]

[72] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.41.
[73] Quelle: ÖBB-Regelwerk Übersichtszeichnungen Band I, 2021, ED 5003, S.10-12.

4.5.7 Ausführung der beweglichen Nachspanneinrichtungen

Bewegliche Nachspanneinrichtungen sind Vorrichtungen, die dazu dienen, die mechanische Zugkraft des Leiters innerhalb eines bestimmten Temperaturbereichs automatisch konstant zu halten. Bei beweglichen Nachspanneinrichtungen der Oberleitungstype 1.1 werden Fahrdraht und Längstragseil gemeinsam geführt. Unter Berücksichtigung der räumlichen Bedingungen muss die Bewegungsfreiheit der Gewichtssäule (10) sichergestellt werden. Abhängig vom Temperaturbereich des Oberleitungstyps und den räumlichen Bedingungen sind die Belastungsgewichte (9) gemäß ÖBB-Regelwerk auszuwählen. Die verstellbare Spannungseinrichtung muss die fehlerfreie Funktion des jeweiligen Oberleitungstyps bei konstantem Regelspannungszug sicherstellen.[74]

Abbildung 18 veranschaulicht eine bewegliche Nachspanneinrichtung der Oberleitungstype 1.1 mit gemeinsam abgespanntem Fahrdraht und Längstragseil.

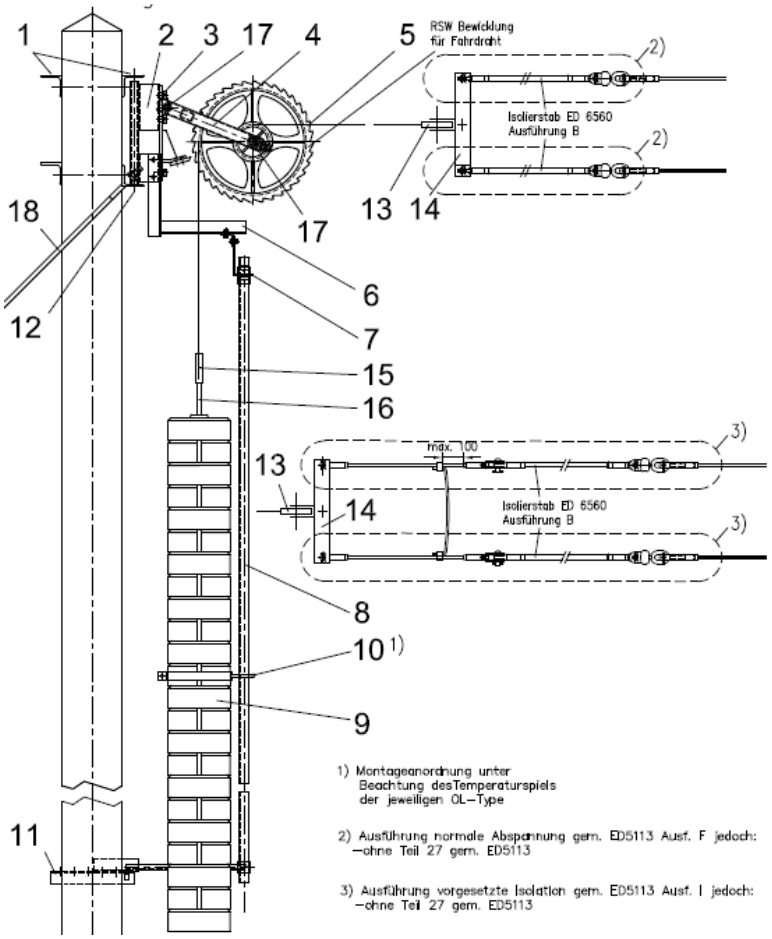


Abbildung 18: Nachspanneinrichtung mit gemeinsam geführtem Fahrdraht und Tragseil.[75]

[74] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.47.
[75] Quelle: ÖBB-Regelwerk Übersichtszeichnungen Band I, 2021, ED 5150, S.1.

4.5.8 Wahl der Nachspannlänge

Die Länge der Oberleitung zwischen zwei Spannpunkten wird als Nachspannlänge bezeichnet. Hierbei wird in Ganzsektionen und Halbsektionen unterschieden. Ganzsektionen können bis zu 1.500 m lang sein und müssen an beiden Enden mit verstellbaren Nachspanneinrichtungen versehen sein, wobei die Fixpunkte so platziert werden müssen, dass die Kräfte, die an ihnen wirken, in beiden Richtungen gleich sind. Halbsektionen können bis zu 750 m lang sein und erfordern die Installation einer verstellbaren Nachspanneinrichtung und einer festen Verankerung.[76] In Abbildung 19 wird der Aufbau einer Ganzsektion für ein besseres Verständnis dargestellt.

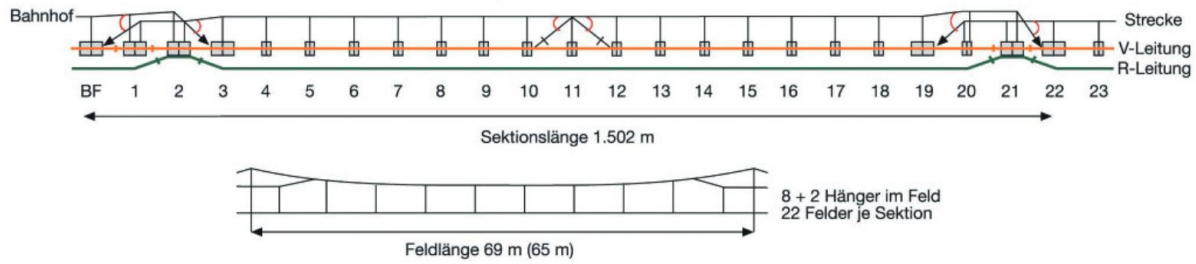


Abbildung 19: Aufbau einer Ganzsektion[77]

Die Nachspannlänge hat Auswirkungen auf die Kosten, denn bei größeren Nachspannlängen verringert sich der Anzahl der Parallelfelder, was zu niedrigeren Errichtungs- und Instandhaltungskosten führt. Daher ist es bei der Planung wichtig, möglichst lange Nachspannlängen unter Berücksichtigung der Qualitätsanforderungen an die Oberleitungen einzuhalten.[78]

Die Länge des Streckenabschnittes "Weiz Stadt" beträgt 672 m und wird somit als Halbsektion ausgeführt.

4.5.9 Wahl der Längsspannweite

Die Längsspannweite, auch Feldweite bezeichnet, definiert die Distanz der Oberleitungskette zwischen zwei Masten. Die Längsspannweiten und die zugehörigen Seitenverschiebungen des Fahrdrahts auf Gleisradien müssen unter Berücksichtigung der notwendigen Seitenzugkräfte, der Windabtriebsgrenzen und der Anhubfreiraum an den befahrenen Stützpunkten festgelegt werden. Die maximal zulässige seitliche Verschiebung des Fahrdrahts bei Wind, welche vom Arbeitsbereich des Stromabnehmers abhängt, sowie die

[76] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.38-39.
[77] Quelle: Irsinger, 2022; S.43.
[78] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.38.

Fahrdrahtgrenzposition unter Windbelastung sind ausschlaggebend für die Bestimmung der Längsspannweiten.

In der Planung sollte – wie bei der Ermittlung der Nachspannlänge – stets versucht werden, die Feldweiten einer Oberleitungskette so lange wie möglich zu gestalten und damit die Anzahl der Stützpunkte zu minimieren, um eine wirtschaftliche Errichtung zu gewährleisten.

Wie in Abbildung 20 ersichtlich, resultiert die größtmöglichen Längsspannweiten aus der maximalen seitlichen Abweichung des Fahrdrahts in der Mitte des Feldes aufgrund der Querwindeinwirkung.

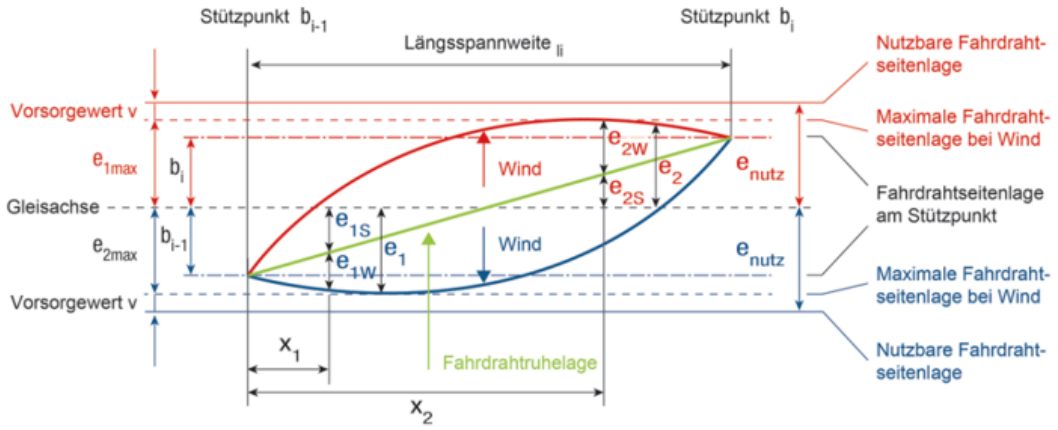


Abbildung 20: Fahrdrahtruhelage und Auslenkung des Fahrdrahts bei Windbelastung[79]

Bei der Wahl der zulässigen Längsspannweiten müssen neben den Vorgaben des ÖBB-Regelwerks auch die Kriterien der zulässigen Seitenverschiebungen, des Windabtriebs sowie weitere Faktoren gemäß den technischen Spezifikationen der Interoperabilität, wie Unregelmäßigkeiten in der Gleislage und Fahrzeugbewegungen, in Betracht gezogen werden. Bei einer Oberleitung vom Typ 1.1 können Längsspannweiten bis zu einem Maximum von 78 m realisiert werden.[80]

4.5.10 Anhubfreiheit am befahrenen Fahrdraht

Die Konstruktion von Stützpunktbaugruppen und Seitenhaltern in der Oberleitungsanlage erfordert eine sorgfältige Auslegung, um Kollisionen mit dem Fahrzeug und dem Stromabnehmer zu vermeiden und einen reibungslosen Betrieb sicherzustellen. Diese Baugruppen müssen stets außerhalb der kinematischen Hüllkurve sowie der erweiterten Hüllkurve des Fahrzeugs und des Stromabnehmerbereichs positioniert werden. Dabei ist es

[79] Quelle: Irsinger, 2020; S.29.
[80] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.38.

wichtig, den Fahrdraht so zu positionieren, dass er innerhalb der vorgegebenen Seitenverschiebung über der Gleisachse bleibt und die temperaturbedingte Längsveränderung des Fahrdrahts berücksichtigt wird.

Zusätzlich sollte das Gewicht der beweglichen Teile, einschließlich der Fahrdrahtklemmen in den Seitenhalterbaugruppen, minimiert werden, um eine effiziente Stromabnahme zu gewährleisten. Der für den Anhub des Fahrdrahts vorgesehene Raum an den Stützpunkten muss den Anforderungen für die größte Längsspannweite entsprechen und bei Vorhandensein einer Anhubbegrenzung angemessen angepasst werden. Bei der Oberleitungstype 1.1 beträgt der Anhub 150 mm bei Vorhandensein einer Anhubbegrenzung. Bei Ausführungen ohne Anhubbegrenzung beträgt der Anhub 200 mm.[81]

Abbildung 21 veranschaulicht den notwendigen Raum des Seitenhalters für den Anhub „S“, um eine Kollision von Ausleger und Stromabnehmer zu vermeiden.

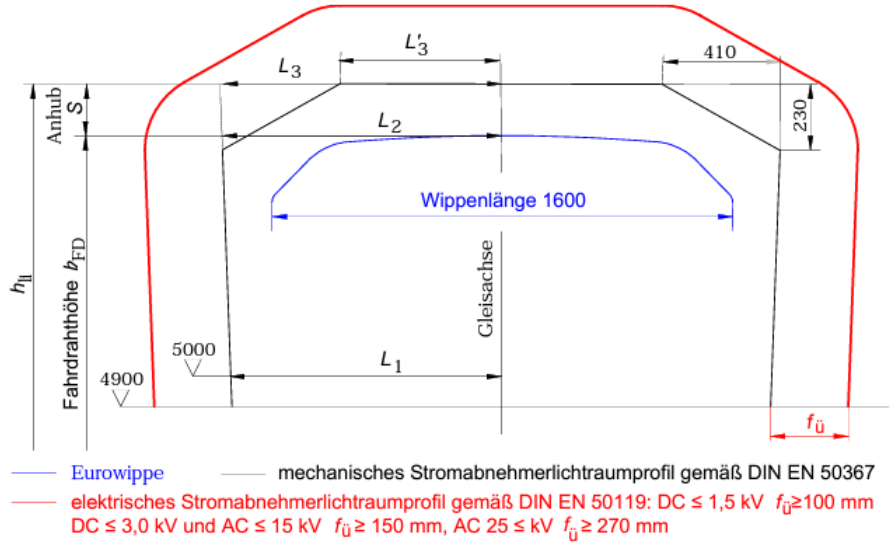


Abbildung 21: Lichtraumprofil für den Stromabnehmer[82]

[81] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.42.
[82] Quelle: Kießling, 2014, S.110.

4.5.11 Ausführung der elektrischen Trennung

Die elektrische Trennung einer 1.1 Oberleitung wird durch Streckentrenner ausgeführt. Abbildung 22 zeigt einen Streckentrenner, der einzelne Schaltgruppen elektrisch voneinander trennt.

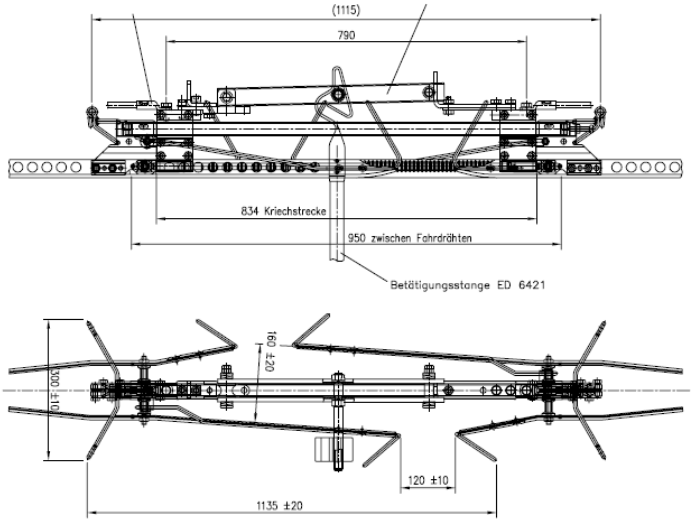


Abbildung 22: Streckentrenner[83]

4.5.12 Ausführung der Sektionstrennung

Eine Sektionstrennung stellt eine mechanische Trennung der Oberleitung dar, die durch parallele Überlappung von Oberleitungs-Kettenwerken (Sektionen) realisiert wird, welche durch die Nachspannlängen begrenzt sind. Die genaue Justierung dieser Trennungen sichert einen stoß- und funkenfreien Durchlauf des Stromabnehmers in beide Fahrtrichtungen. Bei zweifeldigen Sektionstrennungen muss die Positionierung der Fahrdrahtkreuzungen so erfolgen, dass aus der jeweiligen Hauptfahrtrichtung zuerst der Oberleitungsstützpunkt und anschließend die Fahrdrahtkreuzung situiert ist. Dabei ist der Fahrdraht, der vom Stromabnehmer verlassen wird, an der Kreuzungsstelle niedriger platziert.[84] Die parallel geschaltene Verstärkungsleitung wird am Sektionsmittelmast mittels hochflexiblem Kupferseil mit der Oberleitung verbunden.[85]

[83] Quelle: ÖBB-Regelwerk Übersichtszeichnungen Band I, 2021, ED 5325, S.5.
[84] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.37.
[85] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.39.

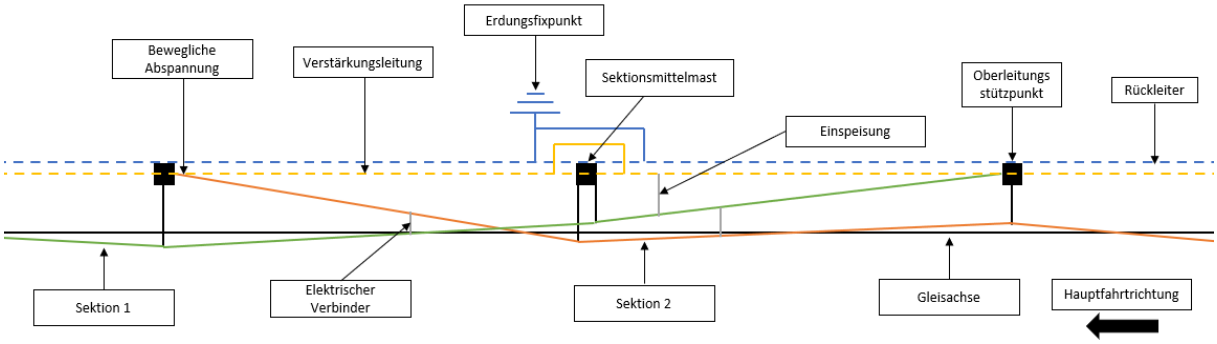


Abbildung 23: Zweifeldrige Sektionstrennung[86]

Abbildung 23 skizziert den schematischen Aufbau einer zweifeldrigen Sektionstrennung, die für den Oberleitungstyp 1.1 ausgeführt wird.

4.5.13 Wahl des Rückleiterseils

Das Rückleiterseil auch Rückleiter genannt, ist eine zusätzliche Maßnahme der Rückstromführung des Traktionsstroms und wird an den Oberleitungsmasten parallel zum Gleis geführt. Der Rückleiter bildet einen wesentlichen Teil der Bahnstromerdung und ist mit den Bahnerdungen sowie der Fahrschiene verbunden.

Die Rückleiterseile sind als separate Leitungen entlang der Oberleitungsmasten und Stützpunkte so zu führen, dass eine optimale induktive Kopplung zur Oberleitungskette und den dazugehörigen Leitungen wie Verstärkungs-, Speise-, Umgehungs- und Schalterleitungen gewährleistet ist. Verwendet wird hierbei ein Seil aus einer Alu/Stalum-Legierung mit einem Querschnitt von 260/23 mm^2.

Die wesentlichen Vorteile die Positionierung von Rückleiterseilen in enger induktiver Kopplung mit der Oberleitungskette sowie den dazugehörigen spannungsführenden Leitungen sind:

- Verkleinerung des in der Erde zurückfließende Anteil des Traktionsstroms, um bis zu 75 %
- Verringerung des Gleis-Erde-Potentials um bis zu 55 %
- Halbierung der induzierten Längsspannungen
- Starke Verringerung der magnetischen Feldstärke im Bereich der Bahnstrecke
- Wirtschaftlichkeit ergibt sich daraus, dass jeder Mast mit nur einem Rückleiterseil verbunden ist, welches entlang des Gleises geführt wird und nicht einzeln mit der Fahrschiene verbunden werden muss.

[86] Quelle: ÖBB-Regelwerk Einheitsdarstellungen Band III, 2021, ED 66, S.5.

- Diebstahlschutz aufgrund der Montage auf ca. 7-8 m[87]

Obwohl bei der Elektrifizierung mit der Oberleitungstype 1.1 in der Regel kein Rückleiterseil eingesetzt wird, erscheint in Anbetracht der dichten Bebauung und der geringen Abstände im Abschnitt „Weiz Stadt" die Nutzung eines solchen sinnvoll, besonders aufgrund der zuvor genannten positiven Aspekte der Implementierung eines Rückleiterseils.

4.5.14 Ausführung der Oberleitungsschalter

Oberleitungsschalter ermöglichen die Verbindung oder Trennung von Abschnitten oder Gruppen von Oberleitungen und Leitungen. Sie sind am Oberleitungsmasten oder am Schaltgerüst montiert und ermöglichen einzelne Abschnitte bei Störungen oder Instandhaltungsarbeiten freizuschalten, ohne dass der Eisenbahnbetrieb an den restlichen Schaltgruppen gestört wird. Ein geöffneter Schalter stellt eine klar sichtbare Trennstelle dar.

In der Regel werden in Oberleitungsanlagen Freiluftschalter eingesetzt. Oberleitungsschalter werden für Einspeisestellen, Bahnhofstreckentrennungen sowie Überleitstellen verwendet. Sollten diese manuell bedient werden müssen, sind sie so zu positionieren, dass sie für das Bedienpersonal einfach und sicher zugänglich sind. Bei der Konzeption und Installation ist die Drehrichtung der Schaltkontakte zu berücksichtigen, um die elektrischen Mindestabstände zu benachbarten Teilen einzuhalten und die notwendigen Sicherheitsabstände für Arbeiten zu gewährleisten.[88]

Oberleitungsschalter und Leitungen an Einzelmasten sollten so angebracht werden, dass mindestens eine Seite des Mastes für Wartungsarbeiten problemlos erklommen werden kann.[89]

Die elektrische Trennung der Anschlussstrecke „Andritz Hydro Nord" vom Streckenabschnitt wird mit einem Freiluftschalter am Oberleitungsmast realisiert, der in Grundstellung „AUS“ ist. Die Oberleitung der Anschlussbahn ist somit grundsätzlich freigeschalten, geerdet und wird bei Verschub-Beistellungsarbeiten eingeschaltet, um das Gefahrenpotenzial zu minimieren, welches von einer eingeschalteten Oberleitung ausgeht.

[87] Vgl.: Biesnack, 2006, S.403.
[88] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.65.
[89] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.65.

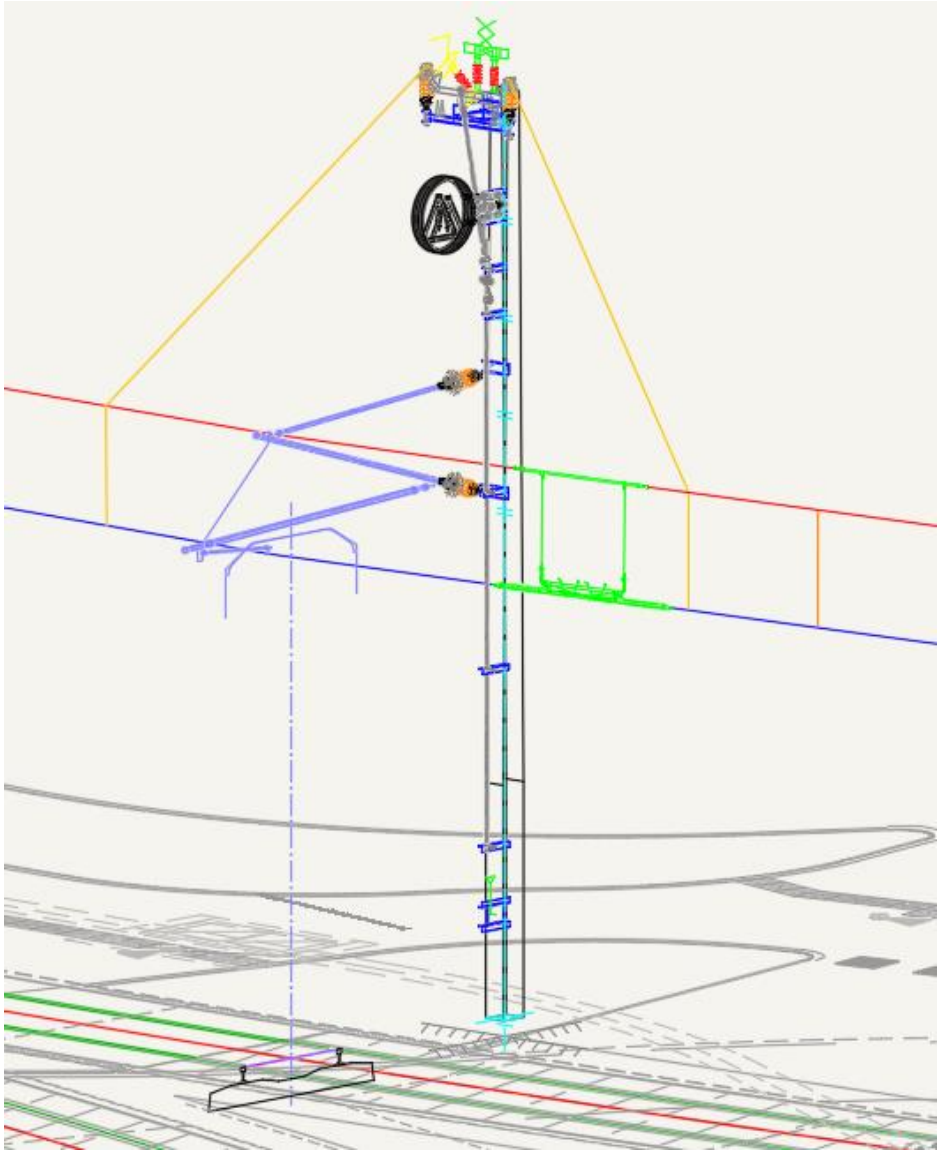


Abbildung 24: Elektrische Trennung der Anschlussbahn „Andritz Hydro Nord"[90]

Abbildung 24 zeigt die elektrische Trennung der Anschlusslinie „Andritz Hydro Nord“ vom Streckenabschnitt „Weiz Stadt“ mittels eines Freilufttrennschalters am Oberleitungsmast.

[90] Quelle: Eigene Abbildung mittels FLTG.

4.5.15 Ausführung der Oberleitungsmaste

Oberleitungsmaste dienen im Wesentlichen als Tragwerke zum Tragen, Führen und zum Abspannen der Oberleitungsanlage. Die Unterscheidung von Oberleitungsmasten erfolgt in erster Linie nach ihrer Funktion, dem Material, aus dem sie gefertigt sind, sowie der Art ihrer Verbindung zur Gründung.

In Bezug auf die Funktion unterscheiden sich Tragmasten von Abspannmasten. Dabei können beide Funktionen auch in einem einzigen Mast kombiniert werden. Abbildung 25 zeigt die unterschiedlichen Funktionen von Oberleitungsmasten.[91]

Abbildung 25: Funktionen von Oberleitungsmasten[92]

Die Materialauswahl für Masten unterteilt sich in Stahl- und Stahlbetonmasten, die in verschiedenen Bauformen erhältlich sind. Hierbei gibt es verschiedene Arten von Oberleitungsmasten:

- Stahlbetonmaste in den Bauformen N und F.
- **N-Maste** kommen bei einfacheren Oberleitungskonstruktionen zum Einsatz, die keine schweren Lasten tragen müssen (beispielsweise an Streckengleisen).
- **F-Maste** sind für anspruchsvollere Oberleitungskonstruktionen gedacht, da sie größere Lasten tragen und widerstehen können als N-Maste (etwa im Bahnhofsbereich).
- **Stahlmaste:** Diese werden dort eingesetzt, wo der Einsatz von Stahlbetonmasten aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht möglich ist. Hierbei gibt es Unterscheidungen zwischen Rechteckaufsetzmasten und Stahlträgermasten.[93]

[91] Vgl.: Fendrich, 2019, S.755.
[92] Quelle: Eigene Aufnahmen, (14.10.2022).
[93] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.78.

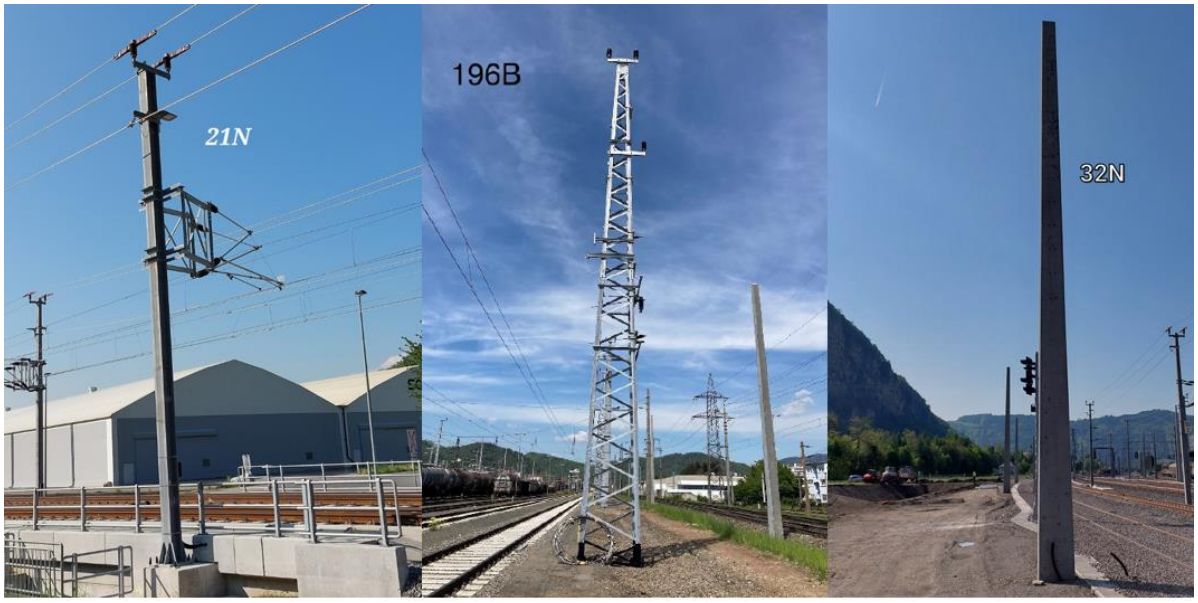


Abbildung 26: Stahlträgermast, Rechteckaufsatzmast und Stahlbetonmast der Bauform F[94]

Abbildung 26 zeigt die verschiedenen Arten von Oberleitungsmasten sowie den Unterschied zwischen Einsetz- und Aufsetzmasten.

Je nach Art der Verbindung zur Gründung können Oberleitungsmaste als Aufsetz- oder Einsetzmaste kategorisiert werden. Aufsetzmaste werden auf den Ankerbolzen des entsprechenden Fundaments verschraubt, während Einsetzmaste in die Gründung eingeführt werden.

Die Oberleitungsanlagen der ÖBB werden grundsätzlich mit Stahlbetonmasten ausgestattet. Die Auswahl der Mastlängen basiert anhand der technischen Erfordernisse und liegt in der Regel zwischen 7 m und 15 m über der Schienenoberkante. Bei technisch oder wirtschaftlich begründeten Fällen kommen feuerverzinkte Rechteckaufsetzmaste, Stahlmaste oder Stahlsonderkonstruktionen zum Einsatz.

Für die Berechnung der Oberleitungsmaste und deren Gründungen sind gemäß ÖVE ÖNORM EN 50119 folgende Lasten zu Grunde gelegt:

- Vertikale Lasten aus dem Oberleitungskettenwerk und der Stützpunkte
- Zugkräfte befestigter Leiter
- Windlasten
- Außergewöhnliche Lasten wie z. B. Eislasten

[94] Quelle: Eigene Aufnahmen, (14.10.2022).

Einseitig oder unsymmetrisch belastete Oberleitungsmaste sollten gegen die Richtung der Belastung geneigt sein.[95]

Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass für die Erfordernisse des Streckenabschnittes „Weiz Stadt“ Stahlbetonmaste der Bauform N und F mit Rammfundierung verwendet werden. Lediglich an Maststandorten an denen kein Rammfundament hergestellt werden kann, werden Stahlträgermast mit Ortbetonfundament eingesetzt. Die genaue Bestimmung der Oberleitungsmaste für den Streckenabschnitt erfolgt in Kapitel 4.6.2.5.

4.5.16 Ausführung der Gründungen

Gründungen sind Tragwerksteile, üblicherweise aus Beton oder Stahl, vollständig oder teilweise im Erdboden eingelassen, auf denen die Stützpunkte errichtet sind. Die Gründung muss die Standsicherheit für alle auf den Stützpunkten einwirkenden Lasten gewährleisten und diese in den Baugrund weiterleiten.

Die Größe und Art der Gründung ist abhängig von:

- Der Tragfähigkeit und Festigkeit des Baugrundes
- Den Belastungen
- Der Art und Bauform des Masten
- Der verwendeten Technologie
- Den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen
- Den geometrischen Bedingungen in bestehenden Anlagen
- Den zeitlichen Rahmenbedingungen (Gleissperren)[96]

Vor der Bestimmung der Gründungsart, ihrer Form und ihrer Maße, muss der Bodenaufbau ausreichend genau bekannt sein. Für die Ermittlung der Bodenbedingungen ist eine geotechnische Untersuchung notwendig.

Vor Beginn der Herstellung der Gründungen ist eine Kampfmittelerkundung sowie detaillierte Erhebung über mögliche Einbauten, wie Rohre und Kabel, einzuholen. Die Fundamente sind unter Beachtung der größten Wirtschaftlichkeit zu errichten.

Unterschieden wird zwischen:

- Betonblockhohlfundament für Stahlbetonmaste
- Betonblockfundament Stahlträgermaste und Rechteckaufsatzmaste
- Rammfundamente für Stahlbetonmaste

[95] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.23.
[96] Vgl.: Handbuch Eisenbahninfrastruktur, S.757.

- Sonderfundamente (z.B. bei Tragwerken von Brücken)[97]

Abbildung 27 veranschaulicht die verschieden Fundamentarten: Betonblockholfundament, Sonderfundament und Rammfundament.

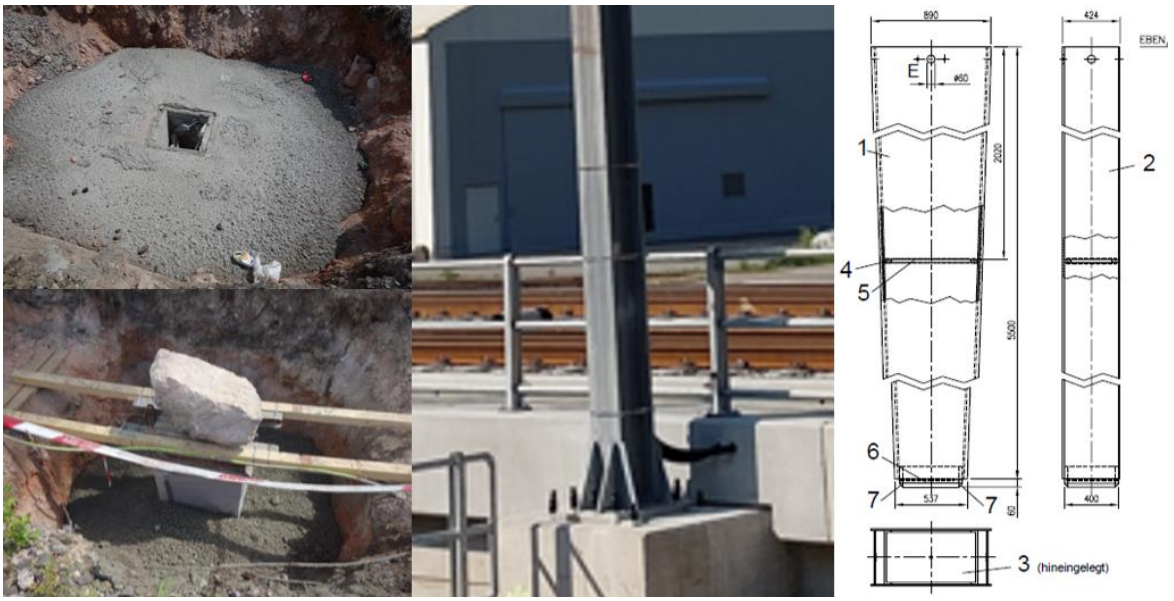


Abbildung 27: Gründungsarten: Betonblockhohlfundament, Sonderfundament und Rammfundament[98]

Für die Herstellung von Gründungen wird die Rammtechnik mittels Rammpfählen bevorzugt. Für jene Bereiche, bei denen Rammfundierungen nicht möglich sind, wird auf Ortbetonfundamente bzw. Sonderfundierungen zurückgegriffen. Die Möglichkeit der Rammtechnik ist hierbei mittels einer Sondierung festzustellen. Die genaue Lage der Mastgassen sowie die Auswahl der erforderlichen Fundierung muss unter Berücksichtigung der geologischen Stellungnahme im Zuge der Oberleitungsplanung in den weiteren Projektphasen definiert werden.

Der Vorteil der Rammtechnik ist hierbei die kurze Bauzeit von ca. 30 Minuten gegenüber der langen Bauzeit eines herkömmlichen Betonfundaments, welches in der Regel für die Fertigstellung einige Tage benötigt.

Es wird davon ausgegangen, dass im Zuge der Elektrifizierung des Streckenabschnitts, die Gründungen als Ortbetonfundamente und Rammfundamente ausgeführt werden. Die genaue Bestimmung der Gründungen für den Streckenabschnitt „Weiz Stadt“ erfolgt in Kapitel 4.6.2.6.

[97] Vgl.: Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.79.
[98] Quelle: Eigene Aufnahmen, (14.10.2022) und ÖBB-Regelwerk Einzelteilzeichnungen Band II, 2021, ED 6947, S.1.

4.6 Projektierung der Oberleitung mit der Fahrleitungs-Projektierungssoftware FLTG

Die fortschreitende Digitalisierung prägt zunehmend die technischen Arbeitsprozesse in der Planung von Oberleitungen. Hierfür werden vermehrt rechnergestützte Projektierungstools genutzt, um die Komplexität der anstehenden Aufgaben besser zu managen. Eines dieser Tools ist die Fahrleitungs-Projektierungssoftware FLTG der Firma railES, die zur Planung und Durchführung einer technischen Machbarkeitsstudie für die Elektrifizierung des Streckenabschnitts "Weiz Stadt" verwendet wird.

Die FLTG-Software ermöglicht eine umfassende Oberleitungsplanung, indem sie Parameter der jeweiligen Bauart und die spezifischen Daten der Bahnstrecke berücksichtigt. Dabei bietet die Software eine grafische Darstellung der geplanten Oberleitungsstützpunkte und Längsfelder, die eine anschauliche und detailgetreue Visualisierung der Projektkonfiguration ermöglicht.

Eine der Schlüsselfunktionen von FLTG ist die Simulation des geometrischen Zusammenwirkens zwischen Stromabnehmer und Oberleitung. Dabei werden unterschiedliche Stromabnehmerbauarten, seitliche Bewegungen und Windbelastungen berücksichtigt. So kann zum Beispiel das Verhalten der Oberleitung und des Stromabnehmers unter verschiedenen Windverhältnissen und bei unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten simuliert werden. Mit dieser Funktion kann die Kompatibilität einer Strecke mit den Standards des transeuropäischen Bahnsystems geprüft und belegt werden. [99]

Darüber hinaus hilft FLTG bei der Optimierung der Planungsprozesse. Es berechnet und visualisiert die Positionen der Stützpunkte und sorgt dafür, dass der Durchgangsbereich für den Stromabnehmer des jeweiligen Fahrzeugs gewährleistet ist. Es verhindert, dass es zu Kollisionen mit Bauteilen eines Stützpunkts kommt, indem es die notwendigen Freiräume berechnet und visualisiert. [100]

Zusätzlich zu den technischen Aspekten trägt FLTG auch zur Verbesserung der Effizienz verschiedener Aspekte des Projektmanagements bei. Dazu gehören die Planung und Koordination der Arbeit, die Organisation der Logistik, die Montage der Oberleitungen und die optimale Nutzung der Sperrzeiten. All diese Faktoren tragen dazu bei, dass Elektrifizierungsprojekte erfolgreich und fristgerecht abgeschlossen werden können.

Der Einsatz der Fahrleitungs-Projektierungssoftware FLTG gewährleistet somit eine effiziente und technisch realisierbare Planung für die Elektrifizierung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt".

[99] Vgl.: Hofbauer, Oberleitungsplanung und Simulierung des Stromabnehmerlaufes, S.70-71.
[100] Vgl.: Kurzübersicht FLTG, S.3.

4.6.1 Arbeitsablauf der Oberleitungsprojektierung

Der Arbeitsablauf der Projektierung mit FLTG beginnt mit der Eingabe allgemeiner und projektbeschreibender Daten wie Projektnummer, Bauphase, Oberleitungstyp, Fahrdrahtlänge am Stützpunkt, Fahrdrahthöhe, Systemhöhe, Stromabnehmerwippe und Version des Regelwerks. Die Eingabedatei für FLTG, eine einfache Textdatei, kann mit jedem Texteditor bearbeitet werden. Hierbei wird die Software FLTGEdit verwendet, welche die Bearbeitung von Eingabedaten erleichtert und die Anwendung effizienter sowie benutzerfreundlicher gestaltet. [101]

Die eigentliche Projektabwicklung wird durch den Hauptdialog der Software gesteuert. Hier können Elemente für die Berechnung ausgewählt und Bauphasen und Logistik entsprechend den Bauabschnitten angepasst werden. Die Software erstellt zudem Listen für Montage, Kalkulation, Abrechnung und Dokumentation des Projekts.

Nach der Eingabe der allgemeinen Daten folgen die Gleisdaten. Diese Daten können entweder manuell eingegeben oder durch eine integrierte Funktion in der Software automatisch aus verschiedenen Datenquellen wie CAD-Dateien oder dem iGleis-Format eingelesen werden. Diese Daten beinhalten wichtige Informationen über den Gleisverlauf, der sich aus Geraden, Übergangsbogen und Kreisbogen zusammensetzt, und weitere Streckenelemente wie den Wienerbogen. [102]

Abbildung 28 zeigt die Eingabedatei des FLTGEdit mit der Eingabemaske für die Fahrleitungssektionen.

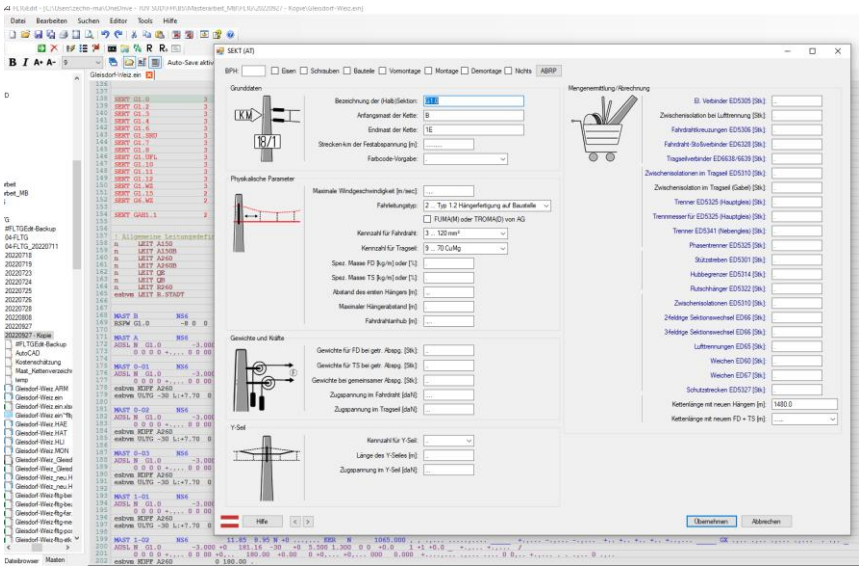


Abbildung 28: Eingabedatei FLTGEdit[103]

[101] Vgl.: Kurzübersicht FLTG, S.4.
[102] Vgl.: Hofbauer, Oberleitungsplanung und Simulierung des Stromabnehmerlaufes, S.71-72.
[103] Quelle: Abbildung entnommen aus FLTG.

Die zu bearbeitenden Gleisabschnitte werden in Nachspannlängen unterteilt. Jede Nachspannlänge wird einer Oberleitungsbauart zugeordnet, wodurch die Parameter für das Kettenwerk festgelegt sind. Diese Zuordnung erfolgt gemäß den Vorgaben des Infrastrukturbetreibers.[104]

Die Stützpunkte entlang der Gleisstrecke werden entweder durch Vorgabe der Längsspannweite bezogen auf den vorhergehenden Stützpunkt oder durch Eingabe der kilometrischen Lage definiert. Zugehörige Fahrdrahtseitenlagen und Fahrdrahthöhen werden berücksichtigt. Es stehen diverse Optionen zur Verfügung, einschließlich Standardkettenwerken und Deckenstromschienen für ÖBB-, DB- und SBB-Oberleitungsanlagen.[105]

Die Platzierung von Oberleitungsmasten erfolgt durch die Funktion „Mastausteilung". Diese erlaubt es Planern, Standorte für Oberleitungsmasten auch in komplexen Szenarien und unter Berücksichtigung von Einschränkungen wie Weichen, Brücken, Signalpositionen, Unterführungen und ähnlichem auszuwählen. Das primäre Ziel ist dabei immer, die Windabtriebsgrenzen gemäß TSI-Energie, EN 50 119:2008 oder anderen Richtlinien der Infrastrukturbetreiber einzuhalten. Sollte eine Mastposition geändert werden, werden unmittelbar neue Berechnungen für Kräfte, geometrische Daten und andere Messgrößen durchgeführt und dargestellt. Dies ermöglicht es, sofortige Auswirkungen von Veränderungen auf das grafische Planungsergebnis und die statischen Belastungen zu erkennen, ohne dass zusätzliche Werkzeuge oder Planungsschritte erforderlich sind. Darüber hinaus werden angrenzende Stützpunkte und berechnete Seitenzugkräfte sowie die zulässige Seitenlage des Fahrdrahts sichtbar[106]

Bei der Bestimmung der Grenzen für die zugelassene Fahrdrahtlage wird die Höhe des Fahrdrahts berücksichtigt. Eine Vorschau-Grafik, die eine detaillierte Betrachtung ermöglicht, ist zentral im Dialogfenster platziert. Abbildung 29 zeigt die Position des Fahrdrahts sowohl ohne als auch mit Querwindbelastung in Bezug zur Referenzachse. Die berechneten Ausgabewerte orientieren sich an der Höhe des Stromabnehmers, der mit der Fahrleitung in Kontakt steht. Das Dialogfenster zeigt außerdem Parameter des Längsfeldes und die angrenzenden Stützpunkte. Für jeden Stützpunkt enthält es die ermittelten Werte, etwa die Seitenzugkraft und die maximale zulässige Seitenlage des Fahrdrahts nach TSI. Die Fahrdrahtlage wird stets unter Berücksichtigung der Fahrdrahthöhe bestimmt. [107]

[104] Vgl.: Hofbauer, Oberleitungsplanung und Simulierung des Stromabnehmerlaufes, S.72.
[105] Vgl.: Hofbauer, Oberleitungsplanung und Simulierung des Stromabnehmerlaufes, S.72.
[106] Vgl.: Hofbauer, Oberleitungsplanung und Simulierung des Stromabnehmerlaufes, S.72.
[107] Vgl.: Kurzübersicht FLTG, S.10.

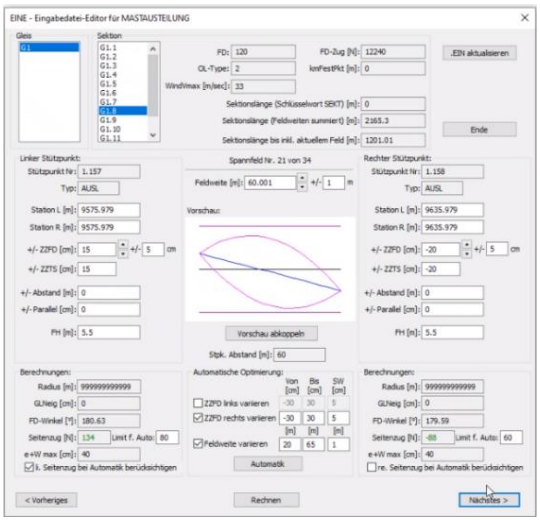


Abbildung 29: Hauptdiagonalfenster zur Mastaufteilung[108]

Die Funktion „Rechnen“ initiiert die Berechnung der Seitenlage des Fahrdrahts im Feld. Eine Vorschaugrafik wird erneut in der Mitte des Diagonalfensters dargestellt. Die beiden äußeren Linien im Diagonalfenster repräsentieren die zulässige Seitenlage des Fahrdrahts. Zudem zeigt die Darstellung angrenzende Stützpunkte, berechnete Seitenzugkräfte und die zulässige Seitenlage des Fahrdrahts. [109]

Auf Grundlage der Gleisgeometrie ermöglicht die Software präzise Berechnungen der maximalen Feldweiten und unterstützt Planer dabei, die Maste in Übereinstimmung mit Vorgaben für Toleranzen, Reserven und sonstige Einschränkungen zu positionieren.

Für das Planen von Oberleitungsanlagen werden verschiedene Pläne als Basis benötigt. Diese sind neben den unerlässlichen Gleisgeometrieprojekten auch:

- Bestandspläne
- Kabellagepläne
- Tiefbaupläne für Entwässerungsanlagen
- Signallagepläne
- Katasterpläne
- Querprofile
- Pläne für Ingenieurbauwerke wie Brücken und Durchlässe
- angrenzende Bebauungen
- Pläne von Verkehrsanlagen wie Bahnsteige

[108] Quelle: Abbildung entnommen aus FLTG.
[109] Vgl.: Kurzübersicht FLTG, S.10.

Je genauer und umfangreicher die Unterlagen sind, desto genauer wird die Planung der Oberleitungsanlage sein.

Die Struktur der Eingabedatei basiert auf Schlüsselwörtern für verschiedene Baugruppen und Merkmale, wie Abspannlängen, Oberleitungsmast, Drehausleger, Schalter, Gleisdaten, Tunnelprofile, die jeweils spezielle Eigenschaften aufweisen. Jedes Schlüsselwort ist mit einem Dialog verknüpft, wie in Abbildung 30 dargestellt, durch den der Benutzer die Eigenschaften bearbeiten kann.[110]

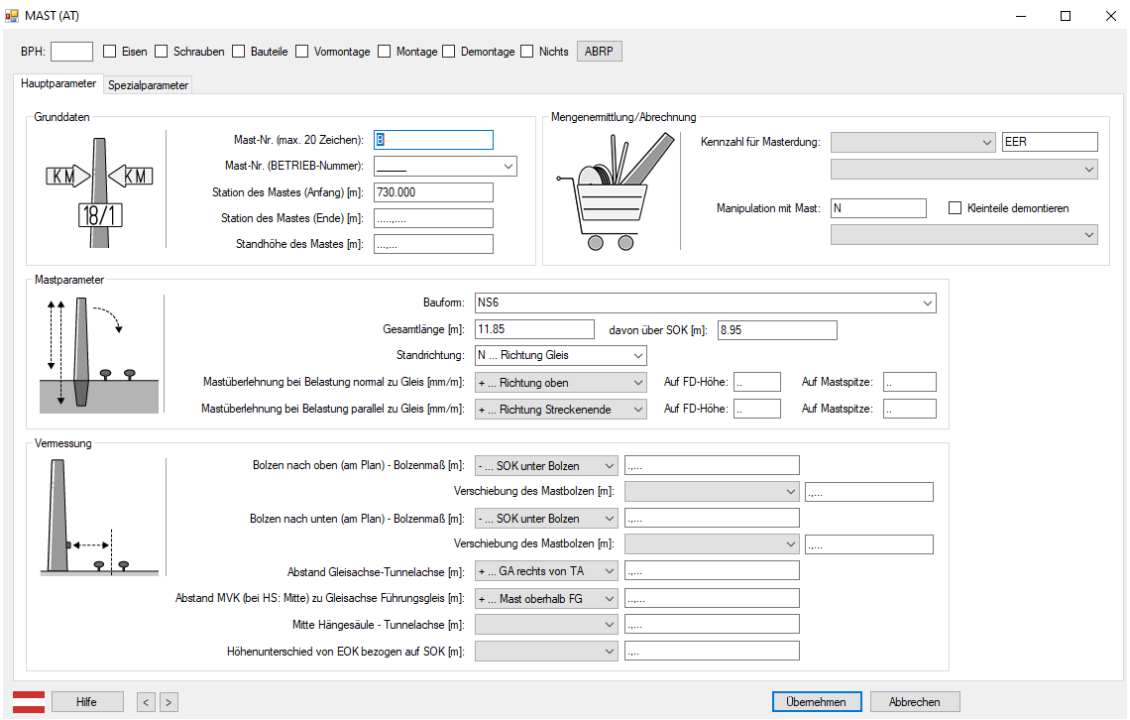


Abbildung 30: Eingabemaske für die Mastbeschreibung[111]

Nachdem die Positionen der Oberleitungsstützpunkte sowie etwaige Bahnstromleitungen, Schalter, Schalterquerleitungen und weitere Mastausstattungen festgelegt wurden, wird die Auswahl der Maste und Gründungen einschließlich der entsprechenden statischen Berechnungen durchgeführt. Die Darstellung des Oberleitungsmastes und der darauf befindlichen Komponenten, wie zum Beispiel Drehausleger, Zweigleisausleger, Querseilfeder, Quertragwerke und dergleichen, ist so detailliert, dass technische Einzelheiten deutlich erkennbar sind. Dadurch lassen sich relevante Details schnell identifizieren und die vorgegebenen Daten können überprüft werden.

[110] Vgl.: Kurzübersicht FLTG, S.4.
[111] Quelle: Abbildung entnommen aus FLTG.

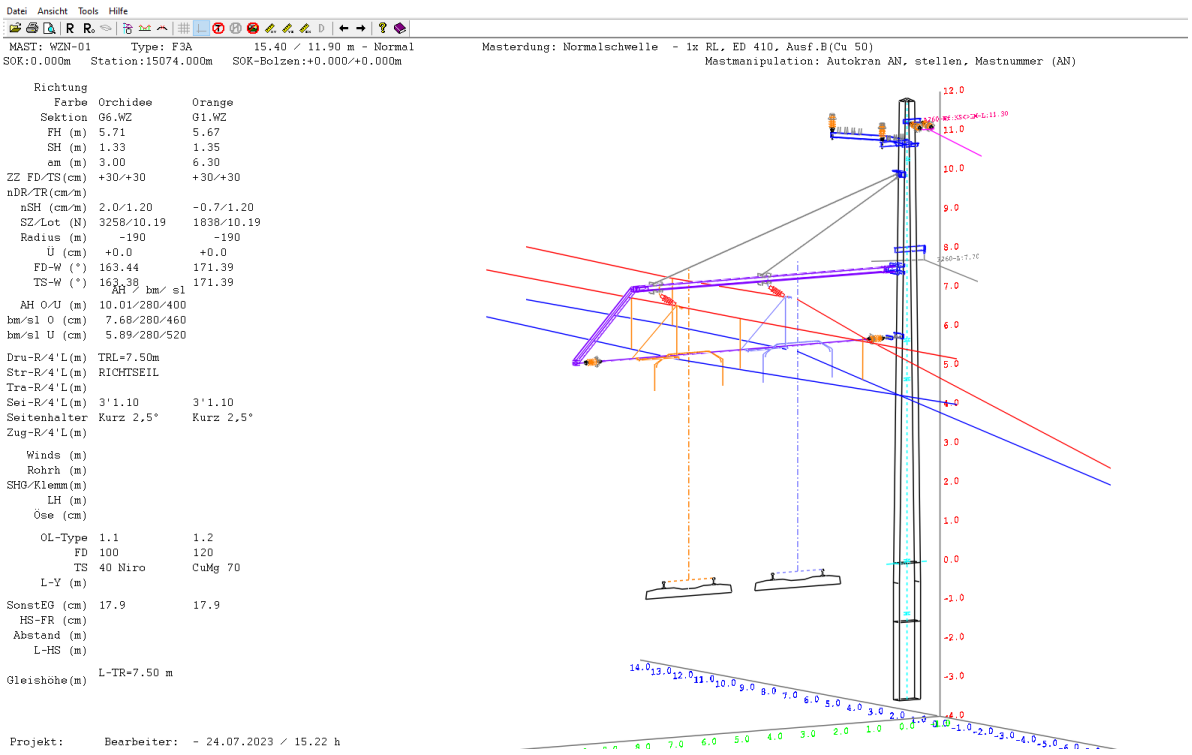


Abbildung 31: Oberleitungsstützpunkt WZN-01 Streckenabschnitt „Weiz Stadt"[112]

Abbildung 31 illustriert den definierten Oberleitungsmast in einer dreidimensionalen Darstellung, in der die wichtigsten Informationen eingeblendet werden. Diese Darstellung kann, wie in vielen CAD-Anwendungen üblich, im Raum bewegt, gedreht und skaliert werden. Es besteht zudem die Möglichkeit, Elemente wie Brücken und Signale in die Darstellung zu integrieren. Die Funktion „Messen" ermöglicht die Bestimmung von Abständen in allen drei Dimensionen.

Darüber hinaus kann zwischen verschiedenen Arten von Gründungen, wie Rammfundament oder Ortbetonfundament, gewählt werden.

Auch die Darstellung und Überprüfung des Durchgangsraums für Stromabnehmer ist mit FLTG möglich, wie in Abbildung 32 zu sehen. Bei der Festlegung der kinematischen Umgrenzung für den Durchgang des Stromabnehmers werden die Parameter der TSI-Energie berücksichtigt.

[112] Quelle: Eigene Abbildung erstellt mittels FLTG.

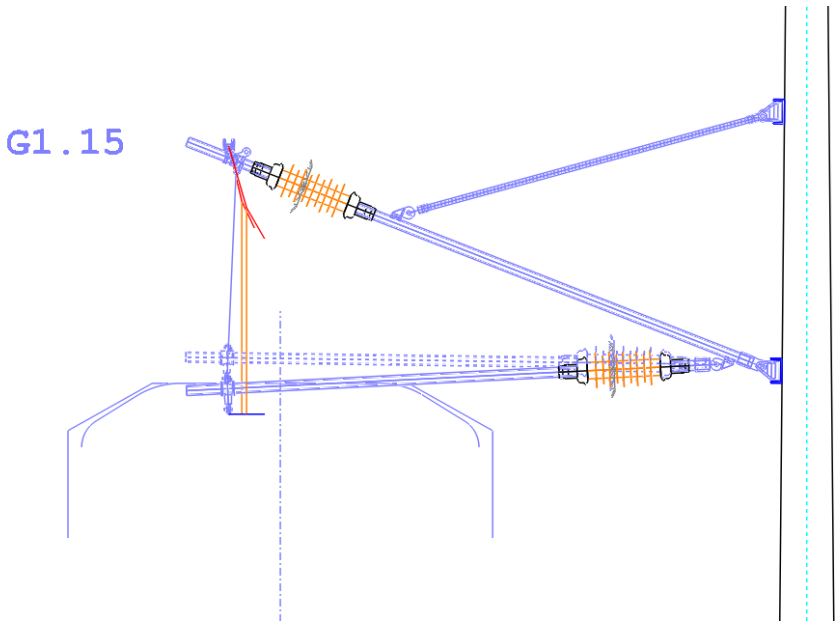


Abbildung 32: Darstellung des Stromabnehmerdurchgangs am Stützpunkt[113]

Die Längsspannfelder werden, ähnlich wie die Oberleitungsmaste, in einer dreidimensionalen Darstellung visualisiert, mit einem besonderen Fokus auf der schnellen Überprüfung der Ergebnisse.

Um dies zu ermöglichen, wird das Kettenwerk stark verzerrt dargestellt, wobei der Grad der Verzerrung vom Benutzer individuell angepasst werden kann. Ein Tastendruck ermöglicht den Wechsel zwischen der Aufriss- und Grundrissdarstellung, und die Maßstäbe der Kettenwerksdarstellung können ebenso angepasst werden. Das ermöglicht beispielsweise eine einfache Überprüfung des Abstandes zwischen sich kreuzenden Längstragseilen.[114]

Abbildung 33 verdeutlicht die Situation des Oberleitungsfeldes zwischen den Masten WZN-12 und WZN-13. Die Fahrdrahthöhe, die Systemhöhe und die Seitenzugkräfte an jedem Stützpunkt sind erkennbar und können somit überprüft werden. Weiterhin sind die Fahrdrahthöhe an jedem Hänger, der Abstand der Hänger zueinander sowie die Länge der Hänger klar erkennbar, was eine effiziente Vorbereitung der Bauausführung unterstützt.

[113] Quelle: Eigene Abbildung erstellt mittels FLTG.
[114] Vgl.: Kurzübersicht FLTG, S.7.

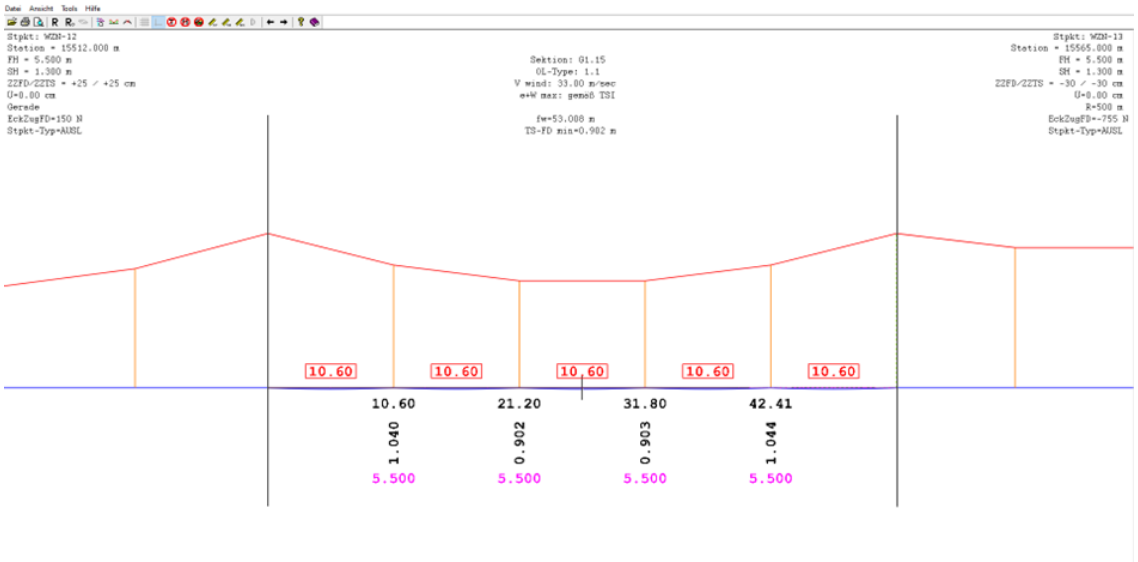


Abbildung 33: Darstellung des Längsspannfeldes[115]

Der Arbeitsablauf der Oberleitungsprojektierung ist ein komplexer Prozess, der detailliertes Fachwissen und eine präzise, sorgfältige Planung erfordert. Mithilfe der FLTG-Software kann dieser Prozess jedoch vereinfacht und optimiert werden. Die Software ermöglicht es, eine Vielzahl von Daten einzugeben und auszuwerten, wodurch der Planungsprozess effizienter und benutzerfreundlicher wird.

Dennoch ist zu beachten, dass trotz aller Vorteile einer maximalen Planungsunterstützung durch die Software, das ausgeprägte Fachwissen des Planungsingenieurs bzw. der Planungsingenieurin für die Zusammenhänge innerhalb des Oberleitungssystems erforderlich ist. Zudem ist eine Begehung vor Ort, insbesondere bei Bestandsanlagen unerlässlich. Dies unterstreicht die Notwendigkeit einer ganzheitlichen Herangehensweise bei der Planung und Umsetzung von Oberleitungsprojekten.

4.6.2 Planung der Oberleitung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt“ mit FLTG

Eine gründliche Vorarbeit bei der Planung einer Oberleitungsanlage ist essenziell, da sie die Basis für eine präzise und effiziente Projektumsetzung bildet. Die Verfügbarkeit genauer und vollständiger Eingangsdaten ist von entscheidender Bedeutung. Je umfangreicher und detaillierter die vorliegenden Unterlagen sind, desto präziser kann die Planung der Oberleitungsanlage ausfallen.

Der erste Schritt in der Planung einer Oberleitungsanlage ist die Bereitstellung von Planungsunterlagen, die den Bezug zu den geplanten oder bereits existierenden Anlagen der

[115] Quelle: Eigene Abbildung erstellt mittels FLTG.

Strecke herstellen. Im nächsten Schritt werden Informationen über die Gleislage, Topografie, den Baugrund und die Zwangspunkte gesammelt.

Im Fall des Streckenabschnitts „Weiz Stadt“ hat die STLB eine Reihe von Unterlagen bereitgestellt, die für die Projektierung der Oberleitung entscheidend waren. Die zur Verfügung gestellten Unterlagen enthalten:

- Lageskizzen der Bahnhöfe und Haltestellen
- Vermessungstechnische Lagepläne
- Kabellagepläne
- Auflistungen der Eisenbahnkreuzungen mit kilometergenauer Lage
- Signallagepläne
- Tiefbaupläne für die Entwässerungsanlagen
- Katasterpläne und Pläne der Bahnsteige des Streckenabschnitts

Diese vielfältigen und detaillierten technischen Daten bildeten die Grundlage für eine umfangreiche und präzise Planung der Oberleitungsanlage für den Streckenabschnitt „Weiz Stadt“. Dank dieser Vorarbeit war es möglich, eine genaue Vorstellung von der späteren Oberleitungsanlage zu erhalten und potenzielle Probleme frühzeitig zu identifizieren und zu adressieren. Daher unterstreicht dieses Projekt die Bedeutung detaillierter Eingangsdaten bei der Planung einer Oberleitungsanlage.

4.6.2.1 Gleise und Topografie

Eine signifikante Herausforderung bei der Elektrifizierung von Eisenbahnstrecken ist die effektive Berücksichtigung von Gleislage und Topografie. Beide Aspekte sind für die Gestaltung und Implementierung von Oberleitungsanlagen entscheidend und bedürfen einer umfassenden Planung sowie einer präzisen Vermessung vor Arbeitsbeginn.

Die Gleislage wird im Lageplan festgehalten und stellt eine entscheidende Grundlage für die Planung der Oberleitungsanlage dar. Sollten keine aktuellen Lagepläne vorliegen, müssen die Gleislage und das Geländeprofil vor Planungsbeginn genau vermessen werden. Von der STLB wurden die aktuellen Gleislagedaten des Streckenabschnitts „Weiz Stadt“ sowie der Anbindung an die Anschlussbahn „Andritz Hydro Nord“ zur Verfügung gestellt.

Die Gleislage und die Topografie der Eisenbahnstrecke Gleisdorf - Weiz stellen eine Herausforderung für die Projektierung der Oberleitungsanlage dar. Mit einem minimalen Bogenradius von 150 m und einer maximalen Neigung von 32 ‰ sind sowohl die räumliche Anordnung der Gleise als auch die landschaftlichen Gegebenheiten sehr komplex. Sie erfordern nicht nur eine sorgfältige Planung und Durchführung, sondern auch eine flexible Anpassungsfähigkeit an das Gelände und die topografischen Bedingungen.

4.6.2.2 Ermittlung der Maststandorte

Ein besonderer Aspekt der Oberleitungsplanung ist die Ermittlung der optimalen Positionen für die Oberleitungsmaste. Dieses Kapitel behandelt detailliert den Prozess der Bestimmung der Maststandorte im Rahmen der Elektrifizierung der Eisenbahnstrecke „Weiz Stadt“.

Bei der Bestimmung der Maststandorte ist es grundsätzlich anzustreben, aus Kostengründen die maximal möglichen Spannweiten voll auszuschöpfen. Die Längsspannweite wird durch die Stromabnehmerlänge, die Gleislage, die Eigenschaften des Kettenwerks und die Windgeschwindigkeit definiert. Gleisbögen und starke Windgeschwindigkeiten reduzieren die Spannweiten. Die Bestimmung der Längsspannweiten und damit die Wahl der Maststandorte sind zudem von den folgenden Aspekten abhängig:

- Dem zulässigen Windabtrieb und anderen Einflussgrößen
- Der Gleislage
- Den Zugspannungen des Fahrdrahts und auch des Längstragseils
- Den Durchmessern von Fahrdraht und Längstragseil
- Der erforderlichen Seitenzugkraft an den befahrenen Fahrdrähten[116]

Die Ermittlung der Längsspannweite im Streckenabschnitt „Weiz Stadt“ erfolgt mithilfe der FLTG-Software.

Die Festlegung der Maststandorte erfordert eine genaue Kenntnis der Bahnstrecke und der Zwangspunkte, die die Planung beeinflussen. Als Zwangspunkte in der Oberleitungsplanung gelten die Elemente, die die Positionierung der Masten beschränken und die deshalb im Vorfeld sorgfältig berücksichtigt werden müssen. Dazu zählen:

- Weichen
- Signale
- Bauwerke
- Bahnübergänge
- Haltestellen

Die Planung der Oberleitung beginnt an diesen Zwangspunkten und setzt sich in den resultierenden Abschnitten fort. Dies ermöglicht eine optimale Anordnung der Masten. [117]

Die Bestimmung der Maststandorte für die Elektrifizierung der Bahnstrecke „Weiz Stadt“ ist eine komplexe Aufgabe, die detaillierte Untersuchungen und sorgfältige Planung erfordert. Die Erkenntnisse aus diesem Prozess betonen die Bedeutung einer gründlichen Analyse und Planung bei der Elektrifizierung von Eisenbahnstrecken.

[116] Vgl.: Kießling, 2014, S.777-778.
[117] Vgl.: Kießling, 2014, S.783.

4.6.2.3 Bespannung von Weichen

Die Bespannung von Weichen im Rahmen der Oberleitungsplanung zählt zu den komplexesten Aufgaben bei der Elektrifizierung einer Eisenbahnstrecke. Hierbei bedarf es besonderer Aufmerksamkeit, da zwischen Fahrdraht und Stromabnehmer unzulässig hohe Kontaktkräfte auftreten können. Die FLTG-Software erleichtert die Projektierung, indem sie die Einhaltung aller Richtlinien und Normen für die Oberleitungsplanung von Weichen automatisch übernimmt.

Die Ausgestaltung der Weichenbespannung ist im Regelwerk der ÖBB festgehalten. Bei der Positionierung der Oberleitungsstützpunkte ist sorgfältiges Vorgehen erforderlich, um einen störungsfreien Lauf des Stromabnehmers während des Weichendurchlaufs zu gewährleisten.[118]

Weichen können entweder kreuzend oder tangential bespannt werden. Die Auswahl hängt von Faktoren wie der Weichenbauart, der Fahrgeschwindigkeit und der Stromabnehmerlänge ab:

- **Kreuzende Weichenbespannung:** Hier kreuzen sich die Kettenwerke im befahrenen Bereich des Fahrdrahts. Ein Kreuzungsstab fixiert die Fahrdrähte gegeneinander.
- **Tangentiale Weichenbespannung:** Bei dieser Variante werden die Kettenwerke im Weichenbereich ohne Kreuzung geführt. Dies eliminiert die Notwendigkeit eines Kreuzungsstabs und vermeidet punktförmige Kettenwerksmassen.[119]

Der Fahrdraht des durchgehenden Gleises sollte bei Weichen in Betriebsstellen und bei durchgehenden Hauptgleisen der freien Strecke unten positioniert werden. Bei anderen Weichen sollte der Fahrdraht des nicht abgespannten Gleises an der Kreuzung unten verlaufen. [120]

[118] Vgl.: Kapfenberger, 2020, S.24.
[119] Vgl.: Kießling, 2014, S.783
[120] Vgl.: Kapfenberger, 2020, S.24.

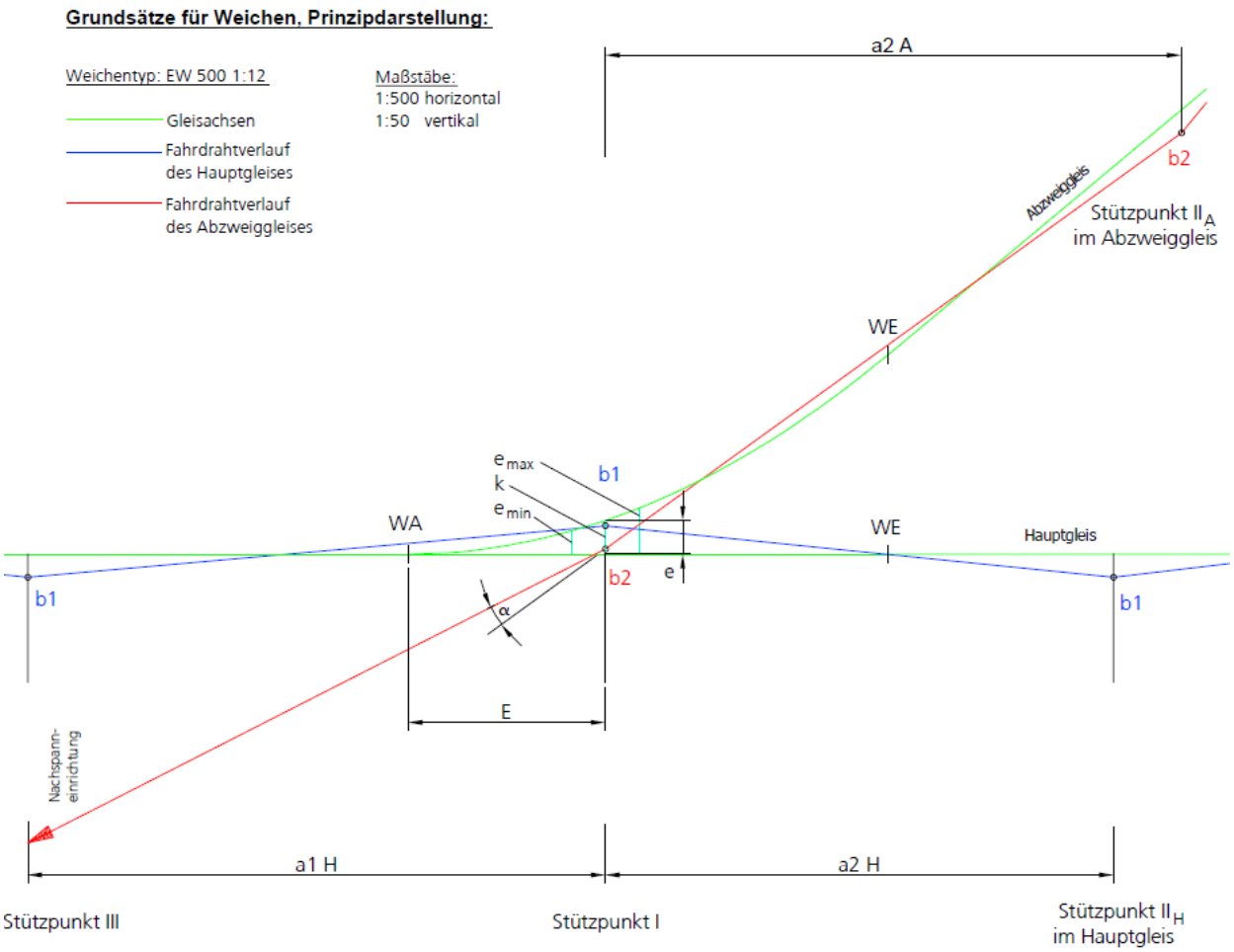


Abbildung 34: Oberleitungsanordnung über Weichen[121]

Die Bespannung von Weichen erfolgt grundsätzlich, wie in Abbildung 34 dargestellt.

Für Oberleitungen über Weichen sind exakte Planung und Ausführung in Bezug auf ihre Positionierung erforderlich. Der Weichenanfang kurz WA dient hierbei als Referenzpunkt bei der Überspannung von Weichen. Der erste Stützpunkt wird mithilfe der Weichenöffnungstabelle für den jeweiligen Weichentyp ermittelt, wie in Abbildung 35 gezeigt. Grundsätzlich sollte der erste Stützpunkt bei einer Weichenöffnung (e) von 20 cm bis 40 cm liegen.[122]

[121] Quelle: ÖBB-Regelwerk Einheitsdarstellungen Band III, 2021, ED60, S.1.
[122] Vgl.: ÖBB-Regelwerk Einheitsdarstellungen Band III, 2021, ED60, S.4.

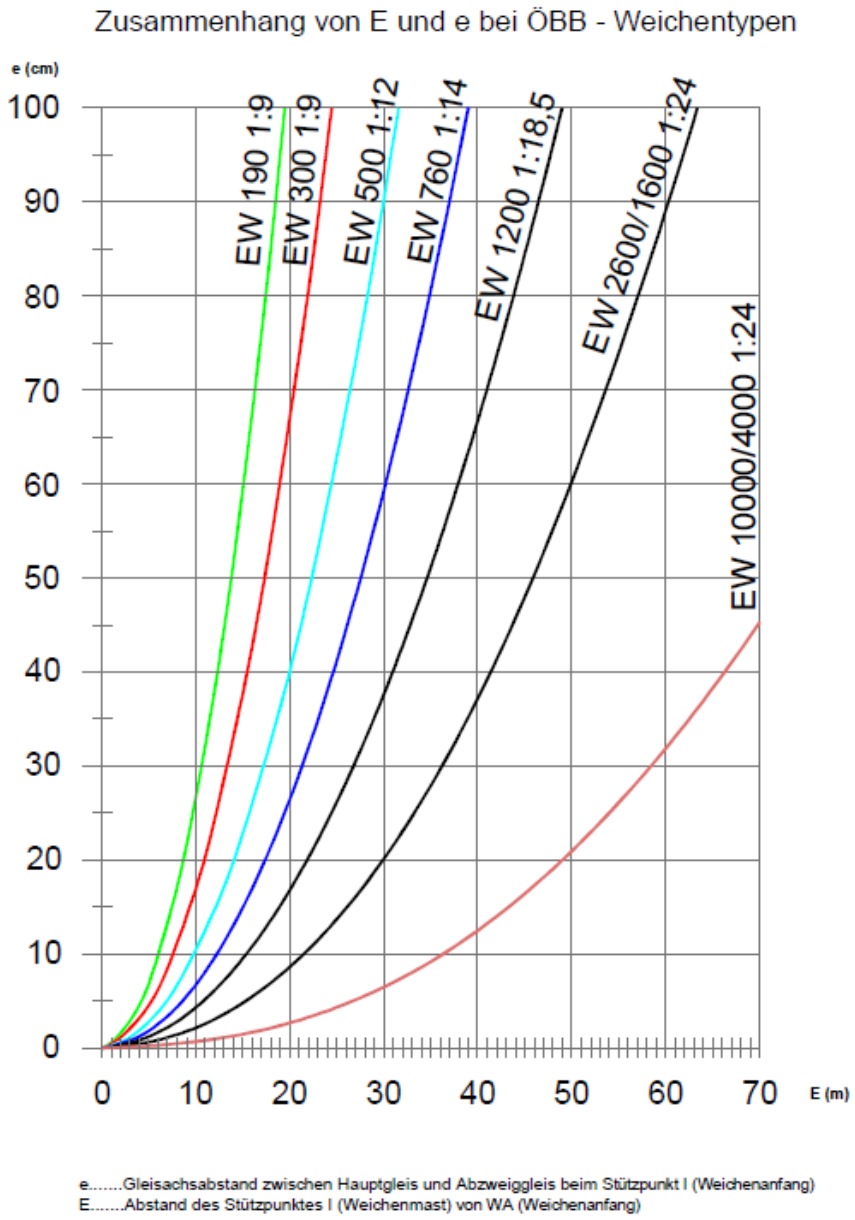


Abbildung 35: Weichenöffnungstabelle[123]

Einhaltung festgelegter Parameter, gemäß dem ÖBB-Regelwerk, sowie die Mindestseitenzugkraft am befahrenen Stützpunkt müssen nachweislich gegeben sein. Die maximale Seitenverschiebung der befahrenen Fahrdrähte, unter Berücksichtigung einer bestimmten Windgeschwindigkeit, ist einzuhalten. Klemmen müssen im Kreuzungsbereich so angebracht sein, dass sie keine Schäden verursachen können.[124]

Abbildung 36 veranschaulicht die Oberleitungsausführung der Weiche Wz30 mittels FLTG.

[123] ÖBB-Regelwerk Einheitsdarstellungen Band III, 2021, ED 69, S.2.
[124] Vgl.: ÖBB-Regelwerk Einheitsdarstellungen Band III, 2021, ED60, S.2-4.

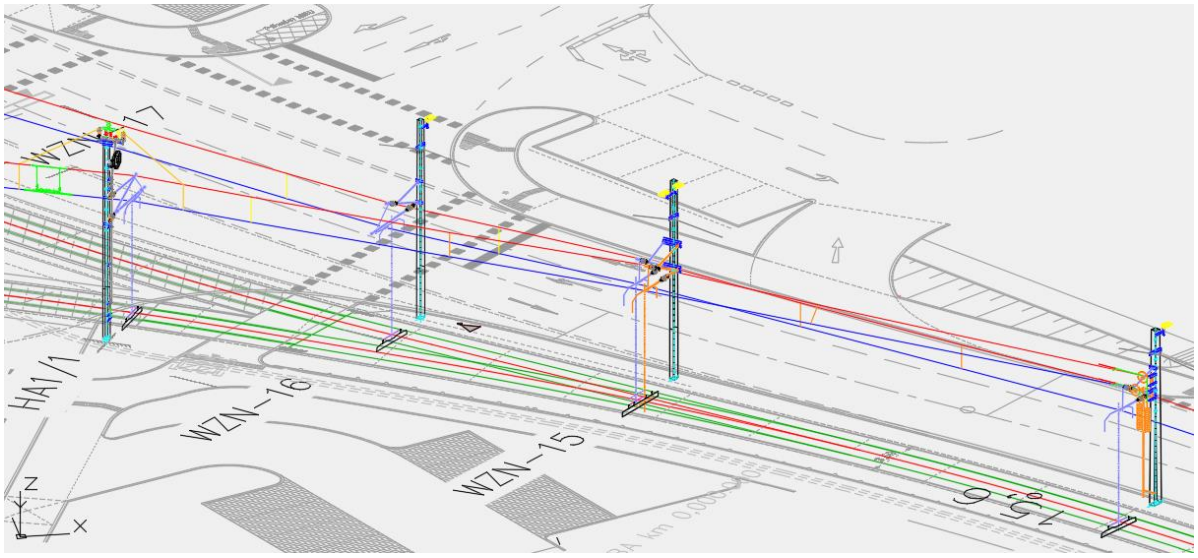


Abbildung 36: Weichenbespannung Wz30[125]

4.6.2.4 Freihalten des Lichten Raumes

Die Elektrifizierung der Eisenbahnstrecke „Weiz Stadt“ erfordert eine gründliche Untersuchung und Betrachtung des „Lichten Raums“. Beim Elektrifizieren des Streckenabschnitts stellt das Freihalten des Lichten Raums eine Herausforderung dar, die besondere Beachtung verdient.

Der Lichtraum beeinflusst maßgeblich sowohl die Planung als auch den Betrieb einer Eisenbahnstrecke. Er bestimmt die Art und Größe der Fahrzeuge, die auf der Strecke fahren können, gibt die Infrastrukturgestaltung vor und setzt Geschwindigkeitsgrenzen.

Die Infrastruktur einer Eisenbahnstrecke muss in der Regel sowohl ein Mindestlichtraumprofil als auch ein Einheitslichtraumprofil berücksichtigen. Diese beziehen sich auf obere und untere kinematische Bezugslinien. Das Einheitslichtraumprofil stellt ein festes, vom Infrastrukturbetreiber definiertes Profil dar und dient als Planungsbasis. Es ist stets auf die Gleisebene zu beziehen und muss bei überhöhten Gleisen um das Maß der Überhöhung gedreht werden.

Besonders zu beachten sind die Bereiche für Oberleitungsanlagen und für Stromabnehmer. In elektrifizierten Strecken ist ein zusätzlicher Raum notwendig, um den ungehinderten Durchgang des Stromabnehmers sowie das gesamte Oberleitungssystem zu ermöglichen. Die Dimensionen dieses zusätzlichen Raums werden durch die Breite und Bewegungen des Stromabnehmers sowie die Fahrdrahthöhe bestimmt. [126]

Eine spezielle Herausforderung in der Elektrifizierung der Strecke „Weiz Stadt“ war die Einhaltung des Lichtraumprofils. Das Einheitslichtraumprofil ist für Bogenradien von 250 m konzipiert, aber es gibt Abschnitte auf der Strecke mit Bogenradien von nur 150 m. Dies

[125] Quelle: Eigene Darstellung mittels FLTG.
[126] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.20-21.

bedingt Bogenzuschläge gemäß ÖBB-Regelwerk 01.04 von 13,5 cm an der Bogeninnenseite und 16 cm an der Bogenaußenseite.[127]

Bei der Errichtung der Oberleitungsanlage sind der seitliche Sicherheitsabstand und der Bedienungsraum zu berücksichtigen.

Der seitliche Sicherheitsabstand schützt Arbeitskräfte vor Quetschverletzungen und ist der Abstand zwischen fahrenden Schienenfahrzeugen und umliegenden Elementen. Dieser Abstand sollte auf beiden Zugseiten mindestens 0,5 m breit und bis zu 2,0 m über der Standfläche des Personals reichen. Bereiche mit eingeschränktem seitlichem Sicherheitsabstand sind durch rot-weiße Markierungen gekennzeichnet.[128]

Der Bedienungsraum bezeichnet den Platz, an dem Mitarbeiter Zugaktivitäten, wie Kuppelvorgänge, Fahrzeuginspektionen oder das Sichern von Ladungen, ausführen. Er erstreckt sich 2,5 m von der Gleismitte aus. Wo genau sich diese Bedienungsräume befinden, ist in der Betriebsstellenbeschreibung festgelegt. Einschränkungen des Bedienungsraums werden durch schwarz-gelbe Markierungen angezeigt.[129]

Die Abbildung 37 zeigt exemplarisch die schwarz-gelbe Markierung am Oberleitungsmast, die eine Einschränkung des Bedienungsraums anzeigt.

Abbildung 37: Einschränkung des Bedienraums[130]

[127] Quelle ÖBB-Regelwerk 01.04, 2018, S.22.
[128] Vgl.: ÖBB 40, S.12.
[129] Vgl.: ÖBB 40, S.13.
[130] Quelle: Eigene Abbildung.

Im Rahmen der Elektrifizierung der Bahnlinie „Weiz Stadt“ sind die Abmessungen der Trafotransporte zu berücksichtigen, da diese als Sondertransporte auf dieser Route verkehren. Die benötigten Abmessungen wurden von der STLB bereitgestellt.

Mithilfe der 3D-Simulation von FLTG konnte ein Lichtraumprofil mit den erforderlichen Zuschlägen in die Planung integriert und die Oberleitungsmaste genau positioniert werden. Das ermöglichte die präzise Positionierung der Oberleitungsmaste im dicht bebauten Abschnitt. Abbildung 38 veranschaulicht die Einhaltung des Lichtraumprofils im Streckenabschnitt „Weiz Stadt“. Wie in Türkis dargestellt, illustriert die Simulation den Lichtraum im Verhältnis zu den bestehenden Bauwerken und der Infrastruktur. Dies war insbesondere hilfreich, um potenzielle Konfliktpunkte im Vorfeld zu identifizieren und geeignete Maßnahmen zu ergreifen. Die Kombination aus technologischer Innovation und gründlicher Planung hat somit dazu beigetragen, sicherzustellen, dass die Elektrifizierung des Abschnitts „Weiz Stadt“ ohne größere Hindernisse oder Verzögerungen realisiert werden konnte. Das endgültige Resultat beweist die Effektivität und Präzision der eingesetzten Technologien und Planungsmethoden.

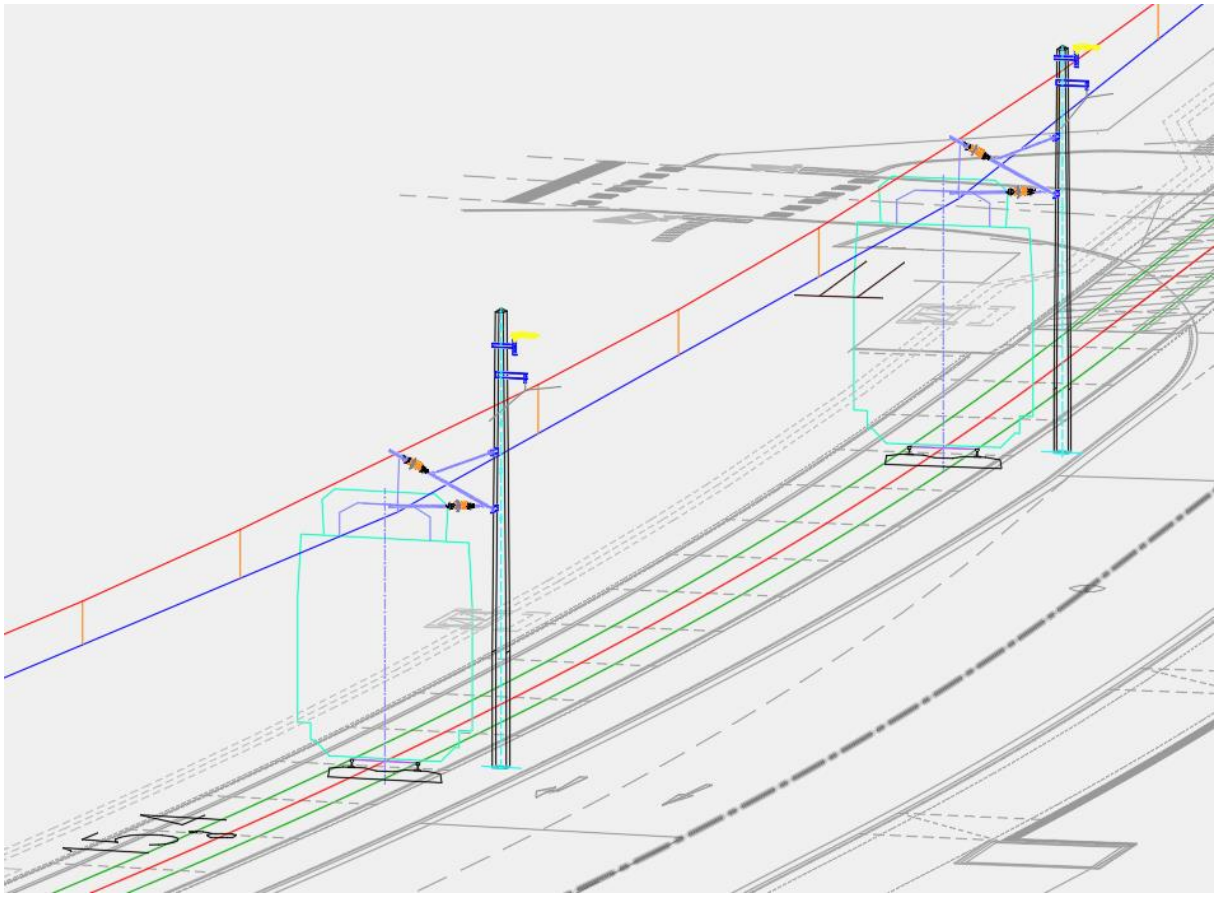


Abbildung 38: 3D-Darstellung Einhaltung des Lichtraumes im Streckenabschnitt „Weiz Stadt“[131]

[131] Quelle: Eigene Darstellung mittels FLTG.

4.6.2.5 Auswahl der Maste und Ausführung der Oberleitungsstützpunkte

Dieses Kapitel konzentriert sich auf die Auswahl der Masten im Streckenabschnitt „Weiz Stadt“ und erläutert, wie der Prozess mittels FLTG-Software funktioniert.

Sobald die Positionierung eines Mastes mittels FLTG festgelegt wurde, besteht der nächste Schritt darin, die Art des Mastes und seine mechanische Festigkeit, gemäß des ÖBB-Regelwerks, für jeden einzelnen Standort festzulegen. Im Allgemeinen ist die Verwendung von Stahlbetonmasten vorgeschrieben. Stahlmaste kommen in Ausnahmefällen zum Einsatz, wenn dies aus projektspezifischen Gründen notwendig und wirtschaftlich sinnvoll ist.

Die Dimensionierung eines Oberleitungsmastes hängt im Wesentlichen von der erforderlichen Länge und den am Mast auftretenden Kräften und Momenten ab. Darüber hinaus sind die Masthöhe, die Eigenschaften des Oberleitungsstützpunktes, die Leitungsführung, die Notwendigkeit der Montage von Beleuchtungen sowie die Berücksichtigung von Nebenverbrauchern, wie Transformatoren für Weichenheizungen oder Notstromversorgungen, entscheidende Faktoren bei der Auswahl des Mastes.[132]

Sobald die Position und die Ausführung des Oberleitungsstützpunktes in FLTG definiert wurden, wird ein detailliertes Querprofil des Mastes erstellt, wie in Abbildung 39 dargestellt. Mit Hilfe dieses Querprofils lassen sich die Anordnung der Leitungen, Abspannungen und Beleuchtungen gemäß dem ÖBB-Regelwerk überprüfen. Zudem kann die Software dazu genutzt werden, einzelne Abstände präzise zu messen und zu kontrollieren, was eine genaue Überprüfung der technischen Anforderungen ermöglicht.

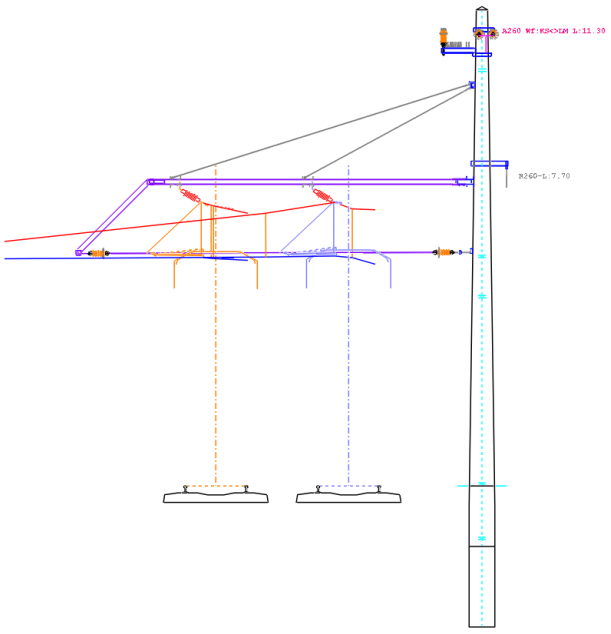


Abbildung 39: Querprofil Oberleitungsmast WZN-01[133]

[132] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.21-24.
[133] Quelle: Eigene Abbildung mittels FLTG.

Für die Planung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt“ wurde davon ausgegangen, dass alle Masten als Stahlbetonmasten ausgeführt werden.

4.6.2.6 Auswahl der Gründungen

In diesem Kapitel liegt der Fokus auf der Entscheidungsfindung zur Wahl geeigneter Fundamente für den Streckenabschnitt „Weiz Stadt“.

Die Auswahl der Gründungen basiert auf der Bodenbeschaffenheit, dem Herstellungsverfahren des Fundaments, der Mastart und dem Grundwassergehalt gemäß ÖBB-Regelwerk.

Gründungen von Oberleitungsmasten sind dazu bestimmt, die Konstruktionslasten, die durch Einwirkungen auf den Oberleitungsstützpunkt entstehen, sicher und zuverlässig auf den Boden zu übertragen. Die Errichtung der Fundamente erfolgt stets unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit, wobei Betonfundamente oder Pfahlfundierungen die häufigsten Formen darstellen. In Ausnahmefällen können auch Sonderformen, wie etwa Flachgründungen, gewählt werden.

Die Entscheidung für die Art, Form und Dimension des Fundaments erfordert ein umfassendes Wissen über den Bodenaufbau und berücksichtigt zudem die bestehende Infrastruktur und Einbauten, wie diverse Leitungen oder Wasserrohre. Es sind geotechnische Untersuchungen zu planen, welche die Wahl des Fundaments und die für die Auslegung und Gründung erforderlichen Parameter berücksichtigen. Zusätzlich ist vor dem Beginn der Herstellung der Fundamente eine Untersuchung auf mögliche Kampfmittel aus dem Zweiten Weltkrieg einzuholen, da die Eisenbahninfrastruktur ein bevorzugtes Ziel von Luftangriffen war.

Im Rahmen dieser Masterarbeit konnte kein geotechnisches Gutachten zur Bodenbeschaffenheit sowie eine Untersuchung der Kampfmittel durchgeführt werden. Im Zuge der Arbeit wurden bestimmte Annahmen getroffen. Es wurde angenommen, dass 20 % der herzustellenden Fundamente mittels Ortbeton hergestellt werden müssen und die restlichen Fundamente mittels Rammtechnik hergestellt werden können. Die Rammtechnik wird aufgrund des geringeren Zeitaufwandes von etwa 30 Minuten sowie des geringeren Platzbedarfs im dicht bebauten Streckenabschnitt als vorteilhafteres Verfahren betrachtet.

Für die Auswahl der Gründungen durch die FLTG-Software wird die Art des Fundaments benötigt. Sobald diese bestimmt ist, ermittelt die Software automatisch die richtige Dimension des Fundaments.

4.6.3 Ausführung des Vogel- und Kleintierschutzes

Bei der Elektrifizierung von Eisenbahnstrecken spielen nicht nur technische und betriebliche Aspekte eine Rolle, sondern auch der Schutz der Fauna entlang der Bahnlinie. In diesem Kapitel liegt der Fokus auf dem Vogel- und Kleintierschutz, welcher bei der Planung der Oberleitungsanlage berücksichtigt wurde.

Eisenbahnoberleitungsanlagen sind oft beliebte Ruheplätze für Vögel und bieten Unterschlupf für Kleintiere. Diese Interaktion kann jedoch sowohl für die Tiere als auch für den Betrieb der Anlagen problematisch sein. Vögel und Kleintiere, die die unter Spannung stehende Oberleitung und die geerdeten Teile überbrücken, können sich schwer verletzen oder sogar tödlich verunglücken. Solche Vorfälle können zudem Störungen im Bahnverkehr und Beschädigungen an der Oberleitungsanlage verursachen.

Um diesen Herausforderungen entgegenzuwirken, werden bei der Planung und Implementierung von ÖBB-Oberleitungen verschiedene Maßnahmen umgesetzt. Diese dienen dazu, sowohl die Sicherheit der Tiere als auch den zuverlässigen Betrieb der Bahnstrecke zu gewährleisten. Hierzu gehört die Konstruktion von Anlagen, die einen Mindestabstand von 0,6 m in horizontaler und vertikaler Richtung zu den unter Spannung stehenden Teilen sicherstellen.[134]

Zusätzlich werden verschiedene spezifische Vogel- und Kleintierschutzmaßnahmen eingesetzt, wie:

- Vogelschutzhauben zur Isolierung der Stützisolatoren für die Leitungsführung (16, 19)
- Vogel- und Kleintierabweiser (14), die an den Isolatoren montiert werden
- Blechspitzen, die an den Armaturen montiert werden
- Vogelabweiser, die teilweise reflektierend sind und am Leiterseil montiert werden (34)[135]

Abbildung 40 zeigt die Schutzmaßnahmen bei den ÖBB-Oberleitungsanlagen.

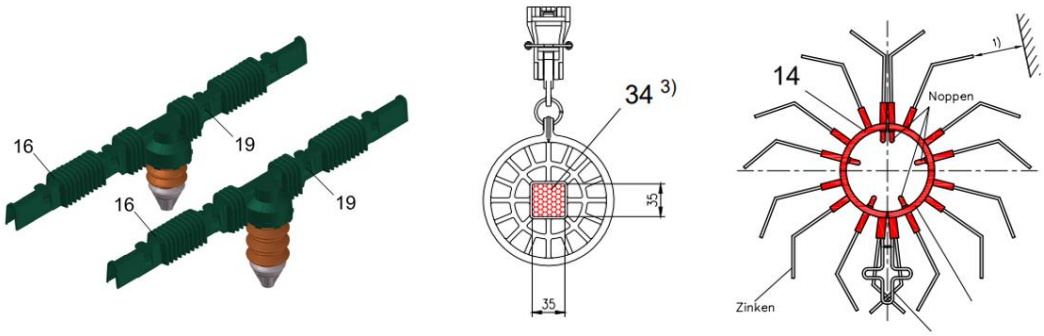


Abbildung 40: Vogel- und Kleintierschutz gemäß ÖBB-Regelwerk[136]

Der Vogel- und Kleintierschutz war ebenfalls ein wichtiger Aspekt bei der Planung der Elektrifizierung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt". Abbildung 41 zeigt die Umsetzung der

[134] Vgl.: Kießling, 2014, S.143.
[135] Vgl.: ÖBB-Regelwerk Einzelteilzeichnungen Band II, 2021, ED 6205, S.1-11.
[136] Quelle: ÖBB-Regelwerk Einzelteilzeichnungen Band II, 2021, ED 6205, S.1-11.

entsprechenden Schutzmaßnahmen an den Oberleitungsstützpunkten und an der Leitungsführung mit der Oberleitungsprojektierungssoftware FLTG.

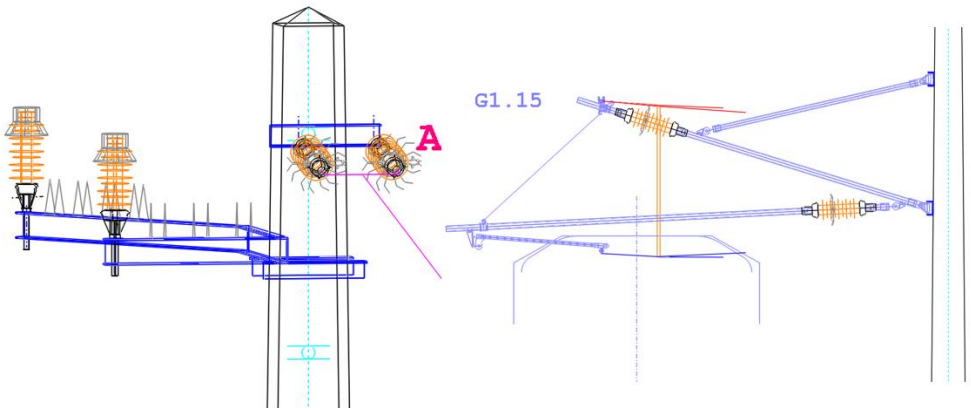


Abbildung 41: Vogel- und Kleintierschutz im Streckenabschnitt „Weiz Stadt"[137]

4.6.4 3D-Simulation des Zusammenwirkens von Oberleitung und Stromabnehmer

In diesem Kapitel steht die Anwendung der FLTG-Software zur Simulation der Interaktion zwischen Oberleitung und Stromabnehmer auf dem projektierten Streckenabschnitt „Weiz Stadt" im Vordergrund.

Die FLTG-Software bietet die Möglichkeit, auf Basis von Eingabedaten eine virtuelle Befahrung der projektierten Streckenabschnitte durchzuführen und die Interaktion von Stromabnehmer und Oberleitung zu simulieren. Dabei werden verschiedene Faktoren wie Windgeschwindigkeit, Fahrzeugbewegungen und unterschiedliche Stromabnehmerbauarten berücksichtigt, die das reale Verhalten der Bahninfrastruktur widerspiegeln. Diese Einflüsse werden auf das 3D-Modell der Oberleitung angewendet, was eine umfassende und präzise Analyse der Fahrbedingungen ermöglicht.

Während der Simulation kann zwischen verschiedenen Stromabnehmerbauarten gewechselt werden. Der jeweilige Kontaktpunkt zwischen Stromabnehmer und Fahrdraht wird visuell durch ein Fadenkreuz dargestellt. Das Programm berücksichtigt zudem das Profil der Stromabnehmerwippe, wodurch die Interaktionen zwischen Stromabnehmer und Fahrdraht sowohl in Ruhelage als auch unter den Einflüssen von Wind und Fahrzeugbewegungen simuliert werden können.[138]

Die Software erlaubt des Weiteren die Darstellung von Auslenkungen aller Fahrdrähte in Parallelfeldern und die Auswahl der Richtung des Seitenwindes an der jeweiligen Position. Der Kontaktpunkt zwischen Stromabnehmer und Fahrdraht wird durch ein Fadenkreuz hervorgehoben und kann in einer Skizze visualisiert werden. Die Simulation kann sowohl auf

[137] Quelle: Eigene Abbildung mittels FLTG.
[138] Vgl.: Hofbauer, Oberleitungsplanung und Simulierung des Stromabnehmerlaufes, S.74.

Höhe der Ruhelage des Fahrdrahtes als auch bei angehobenem Fahrdraht durchgeführt werden.

Anhand der Simulationsergebnisse können potenzielle Störstellen, etwa Nachspannungen, Streckentrennungen und Weichen, identifiziert werden. Diese könnten durch ungünstige Kombinationen der Fahrdrahtauslenkung und der Wankbewegung des Stromabnehmers entstehen. Solche Erkenntnisse sind wertvoll, um Probleme bereits in der Planungsphase zu erkennen und Anpassungen vorzunehmen.

Die 3D-Simulation ist für die Planung und Umsetzung von Elektrifizierungsprojekten von großer Bedeutung. Sie ermöglicht eine detaillierte Darstellung der projektierten Strecke und fördert das Verständnis der komplexen Interaktionen zwischen Stromabnehmer und Oberleitung. Dies hilft, Fehler und potenzielle Problembereiche frühzeitig zu identifizieren, was Zeit und Kosten während der Bauphase spart.[139]

Im Fall des Streckenabschnitts „Weiz Stadt" erlaubt die 3D-Simulation eine detaillierte Überprüfung des projektierten Kettenwerks. Dadurch wird ein störungsfreies Zusammenspiel von Stromabnehmer und Oberleitung im gesamten Abschnitt gewährleistet. Im Rahmen dieser Simulation wurde eine umfassende virtuelle Durchfahrt durch den gesamten Abschnitt durchgeführt. Kritische Punkte, etwa der Stromabnehmerlauf an den Weichen Wz 24 und Wz 30 oder bei engen Bogenradien von 150 m, wurden gezielt analysiert. Abbildung 42 veranschaulicht die 3D-Simulation der Weichen Wz 24 und Wz 30. Hierbei wird das Zusammenwirken von Stromabnehmer und Fahrdraht an den kritischen Weichenbereichen dargestellt und die Einhaltung der Normen und Richtlinien überprüft.

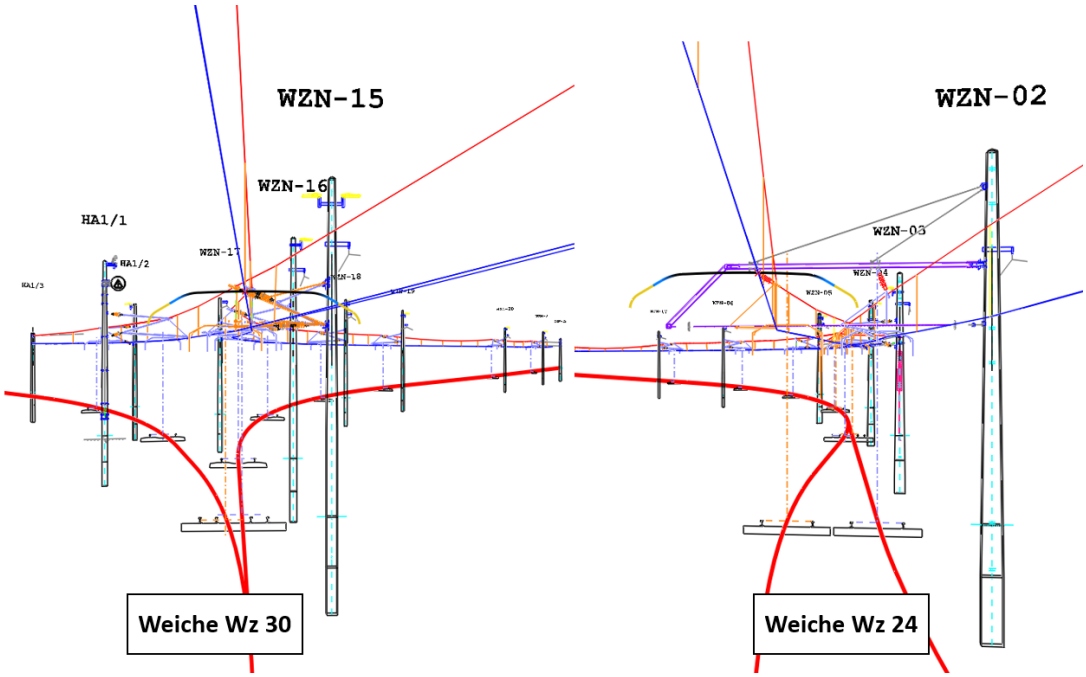


Abbildung 42: Weichenbereich Wz30 und Wz24[140]

[139] Vgl.: Hofbauer, Oberleitungsplanung und Simulierung des Stromabnehmerlaufes, S.75.
[140] Quelle: Eigene Darstellung mittels FLTG.

4.6.5 3D-Simulation des Streckenabschnittes

In diesem Kapitel wird die wesentliche Funktion und die bedeutende Wirkung von 3D-Simulationen in der Entwurfsphase des Streckenabschnitts „Weiz Stadt" eingehend untersucht. Der Fokus liegt dabei auf der effektiven Erkennung und Behebung von potenziellen Konfliktpunkten mithilfe der 3D-Simulation.

Wie bereits im Kapitel 4.6.4 hervorgehoben, bietet die 3D-Simulation des Zusammenwirkens von Oberleitung und Stromabnehmer während der Planungsphase erhebliche Vorteile. Sie ermöglicht nicht nur eine detaillierte Vorstellung von der Anordnung und dem Verlauf der Oberleitungsmasten und Kettenwerke, sondern auch die Exportierung aller relevanten Daten in ein CAD-Format. Dieser Export bietet die Möglichkeit, die Daten in gängigen CAD-Anwendungen, wie AutoCAD, weiter zu verarbeiten.

Mit den aus diesen Berechnungen gewonnenen Daten wird der gesamte Verlauf der projektierten Strecke in einer dreidimensionalen Darstellung abgebildet. Dies erlaubt bereits in den frühen Phasen der Planung einen ersten, realitätsnahen Einblick in das zukünftige Aussehen der Anlage. Potenzielle Herausforderungen, insbesondere in Bezug auf komplexe Einbausituationen, können so frühzeitig erkannt und behoben werden, was den gesamten Planungs- und Bauablauf optimiert.

Die 3D-Darstellungen der Oberleitungsmasten und Längsspannfelder dienen zudem als effektives Werkzeug zur schnellen Verifikation der Simulationsergebnisse und zur genauen Kontrolle von Abständen und Durchgangsräumen. Diese erwies sich als wesentliches Instrument bei der Durchführung der technischen Machbarkeitsuntersuchung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt".

Während die Applikation „Zusammenwirken von Oberleitung und Stromabnehmer“ speziell das Verhalten der Oberleitung in Bezug auf den Stromabnehmer untersucht, liegt das Hauptaugenmerk der 3D-Simulation des Streckenabschnitts mittels AutoCAD auf der Gesamtdarstellung der Oberleitung im Kontext der bereits vorhandenen Infrastruktur.

Die mit der FLTG-Software erstellte Datei der Oberleitungsanlage wurde direkt in den Bestandsplan des Streckenabschnitts „Weiz Stadt“ eingefügt. Hierdurch konnte ein umfassender Streckenplan erstellt werden, der sowohl die bestehende Infrastruktur als auch die geplante dreidimensionale Oberleitungsanlage berücksichtigt.

Abbildung 43 veranschaulicht die mit FLTG geplante Oberleitungsanlage an der Bestandsinfrastruktur des Streckenabschnitts.

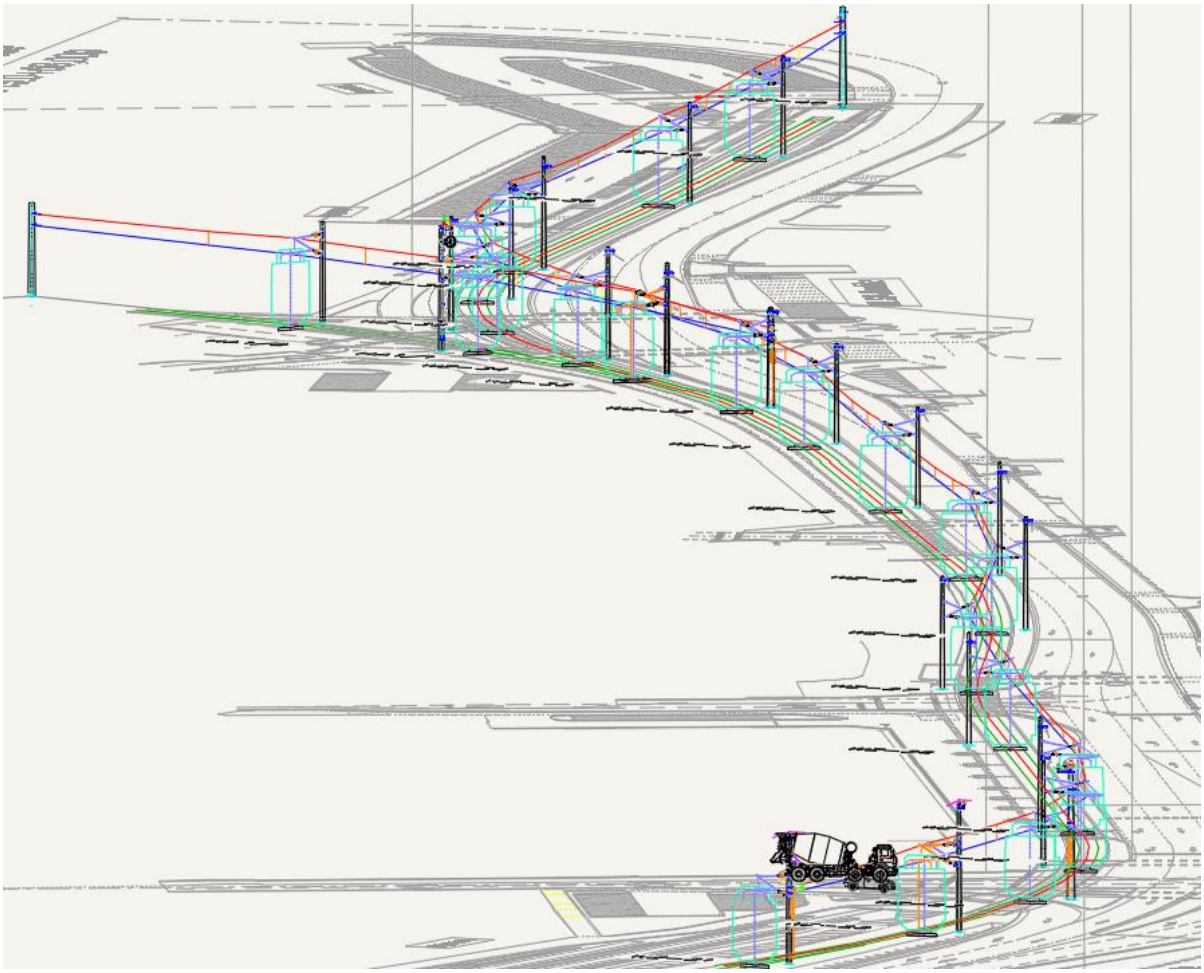


Abbildung 43: 3D-Darstellung Oberleitungsplanung Streckenabschnitt „Weiz Stadt“[141]

Dank dieser detaillierten Planung konnten viele potenzielle Konfliktpunkte frühzeitig erkannt und behoben werden. Besondere Herausforderungen stellten dabei die Maststandortfindung und die Einhaltung der erforderlichen Abstände zu verschiedenen Bestandsinfrastrukturen dar.

Beispielhaft zu nennende Konfliktpunkte sind:

- Maststandortfindung und Abstände an den Eisenbahnkreuzungen
- Maststandortfindung und Abstände an den Haltestellen
- Maststandortfindung und Abstände an der Anschlussbahn „Andritz Hydro Nord“
- Maststandortfindung und Abstände entlang der „Kapruner Generator Straße“
- Abstände zu Straßensignalanlagen
- Abstände zu Gebäuden

[141] Quelle: Eigene Darstellung mittels FLTG.

- Abstände zu Zaunanlagen
- Abstände zu Beleuchtungsanlagen
- Freihalten des Lichten Raumes
- Einhaltung des Stromabnehmerbereichs
- Einhaltung und Kontrolle der elektrischen Mindestabstände

Jeder dieser Aspekte wurde sorgfältig analysiert, und Lösungen wurden erarbeitet, um die Einhaltung aller technischen und sicherheitstechnischen Anforderungen zu gewährleisten.

Abbildung 44 veranschaulicht, wie am Beispiel des Masts WZN-08, die Problematik der Zwangspunkte identifiziert und gelöst werden konnte. Die beengten Platzverhältnisse erfordern die Platzierung des Oberleitungsmastes zwischen Zaun und Kabeltrog. Eine Verschiebung des Zauns wird hier als die wirtschaftlichere Lösung angesehen.

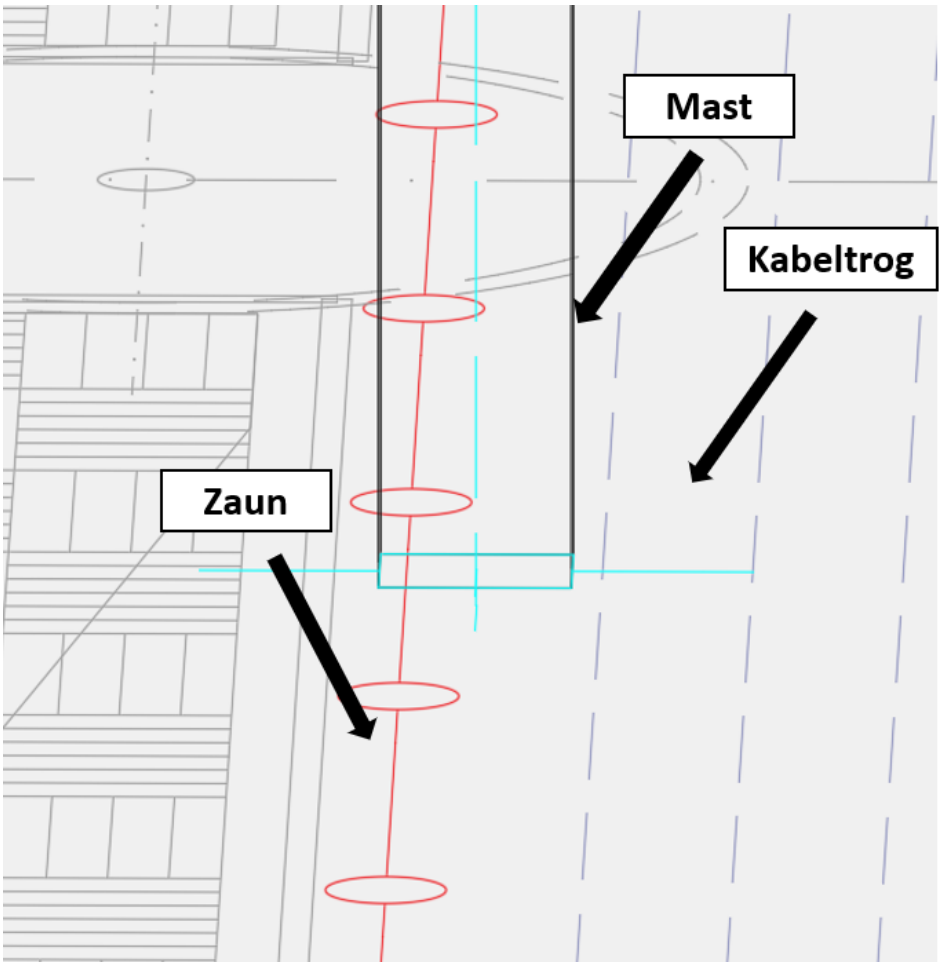


Abbildung 44: Zwangspunkte Mastsituierung Mast WZN-08[142]

[142] Quelle: Eigene Abbildung erstellt mittels FLTG.

4.6.6 Betrachtung der Rückstromführung und Bahnerdung

Die Elektrifizierung der Strecke Gleisdorf-Weiz stellt ein komplexes Unterfangen dar, bei dem zahlreiche technische Aspekte berücksichtigt werden müssen. Ein zentrales und herausforderndes Element dieses Projekts ist die Implementierung geeigneter Erdungsmaßnahmen und die Rückstromführung.

Der elektrische Zugbetrieb erfordert einen geschlossenen Stromkreis, der durch den Transformator, die Oberleitung, die Triebfahrzeuge – welche als Verbraucher agieren – und die Rückstromführung gebildet wird. Der zurückfließende Strom, der bei Traktion und Rekuperationsbremsung vom Fahrzeug zum Unterwerk fließt, ist essenziell für den sicheren Betrieb. Eine Unterbrechung der Rückstromführung kann gefährliche Differenzspannungen verursachen und andere Teile der Anlage beeinträchtigen.[143] Abbildung 45 veranschaulicht, dass die Rückstromführung der Eisenbahnanlagen aus dem Erdreich, der Fahrschiene und dem Rückleiterseil besteht. Dabei müssen während des Betriebs stets mindestens zwei dieser Elemente für die Rückstromführung bereitstehen.

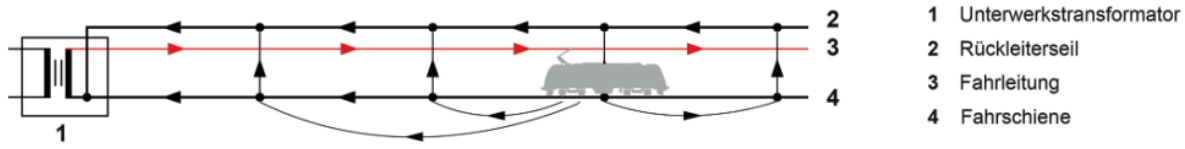


Abbildung 45: Oberleitungssystem mit Rückleiterseil[144]

Das ordnungsgemäße Erden von elektrischen Anlagen ist entscheidend für die Sicherheit und Funktionsfähigkeit der Bahnanlage. Das Hauptziel des Erdens ist es, sowohl die Anlagen als auch Menschen zu schützen. Die Bahnstromanlage muss hierbei ständig und zuverlässig die Elektrizitätsversorgung der Oberleitung sicherstellen, ohne dass Personen oder Anlagen dabei Schaden nehmen.[145]

Die Rückstromführung integriert sämtliche Leiter, die während des Normalbetriebs sowie im Fehlerfall den Pfad für den Rückstrom bilden. Alle diese Leiter, einschließlich der Fahrschienen, des Rückleiterseils und des Erdreichs, sind stromführend. Eine Rückstromführung über das Erdreich hat den Nachteil, dass sie andere Systeme beeinflussen kann, weshalb zusätzlich ein Rückleiterseil am Oberleitungsmast mitgeführt wird.[146]

[143] Vgl.: Kießling, 2014, S.377.
[144] Quelle: Vgl.: Kießling, 2014, S.70.
[145] Vgl.: ÖBB-Schulungsunterlagen EN 15, 2019, S.40.
[146] Vgl.: Kießling, 2014, S.380.

Dies trägt zur:

- Optimierung der Bahnerdungs- und Rückleitungsverhältnisse bei
- Reduzierung der induktiven Beeinflussungen durch die Ströme der Oberleitung
- Sicherstellung der zulässigen magnetischen Feldstärken im Umfeld der Oberleitungsanlage
- Einhaltung der elektromagnetischen Verträglichkeit kurz EMV[147]

Das für das Rückleiterseil verwendete Material ist Alu/Stalum 260/23 mm².

Die Bahnerdung implementiert Schutzmaßnahmen gegen Schritt- und Berührungsspannungen. Sie stellt sicher, dass die Oberleitungsanlage im Fehlerfall zuverlässig deaktiviert wird und unzulässige Spannungen vermieden werden. Wie in Abbildung 46 dargestellt, werden alle leitfähigen Teile der Oberleitungsanlage, die nicht zum Betriebsstromkreis gehören, in die Erdung einbezogen. Eine Verbindung zur Rückleitung wird über eine geeignete Schiene oder durch Anschluss an das Rückleiterseil hergestellt.[148]

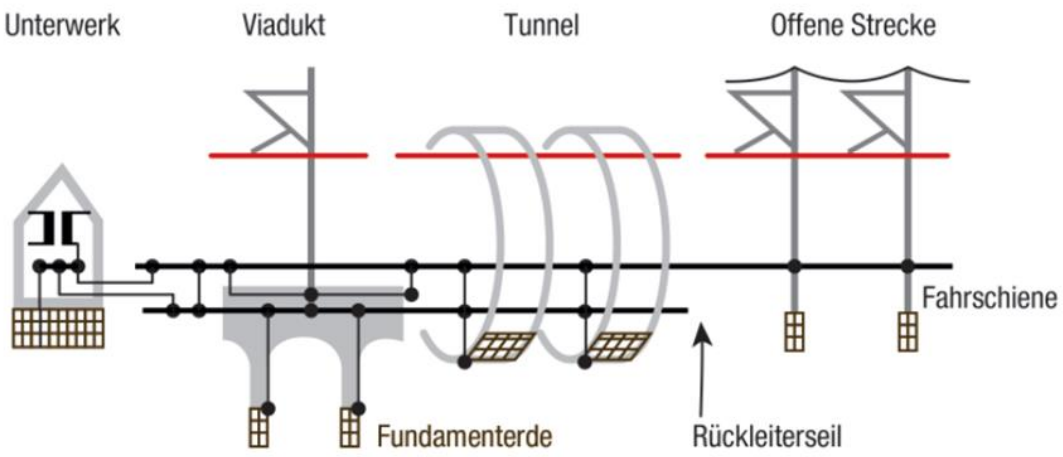


Abbildung 46: Bauwerkserdung[149]

Für Bahnerdungs- und Rückleitungen wird ein Mindestquerschnitt von 50 mm² Kupfer oder 160 mm² Stahl gefordert. Eine Ausnahme bildet die Bahnerdung von Armaturen am Stahlbeton-Oberleitungsmast, bei der ein Kupferdraht mit einem Durchmesser von 6 mm zulässig ist. Als Schutzmaßnahme gegen den Diebstahl von Kupferleitungen werden alle Bahnerdungen mit AlStahl 100 mm² oder Aldrey 93 ausgestattet.

[147] Vgl.: Fendrich, 2019, S.778.
[148] Vgl.: Fendrich, 2019, S.779.
[149] Quelle: Kießling, 2014, S.69.

4.6.6.1 Oberleitungs- und Stromabnehmerbereich

Der Oberleitungs- und Stromabnehmerbereich definiert jenen Bereich, in dem es wahrscheinlich ist, dass Anlagen und Betriebsmittel in Berührung mit einer gerissenen, unter Spannung stehenden Oberleitung oder mit unter Spannung stehenden Teilen eines gebrochenen oder entgleisten Stromabnehmers kommen.[150]

Leitfähige Teile in diesem Bereich, die ab einer Länge von 3 m parallel zum Gleis (z.B. Geländer) oder ab einer Höhe von 2 m senkrecht zum Gleis (z.B. Steher) verlaufen, sind zu erden. Bei der Abspannung von Oberleitungen muss der Bereich bis zum Isolator berücksichtigt werden, da sich hier der Fahrdraht und das Tragseil nicht in der Mitte des Gleises befinden.[151]

Abbildung 47 veranschaulicht den Oberleitungs- und Stromabnehmerbereich.

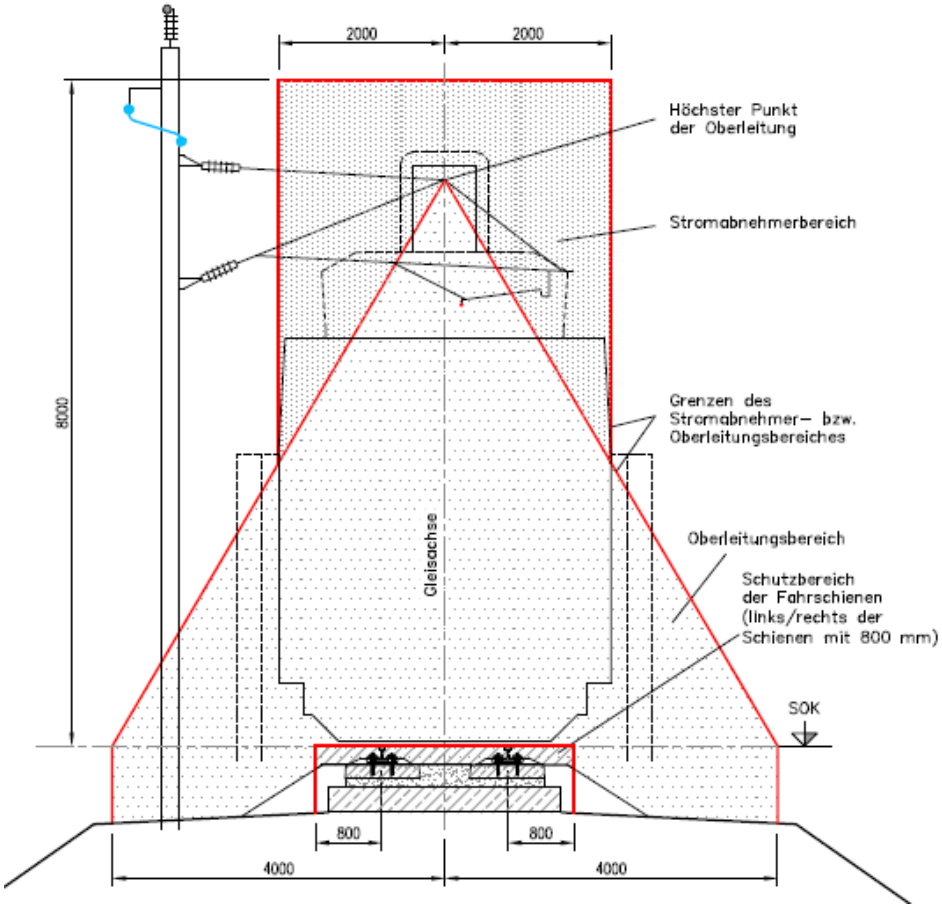


Abbildung 47: Oberleitungs- und Stromabnehmerbereich.[152]

[150] Vgl.: Skript Fahrleitungsanlagen und Bau SS 2020 Teil 2, S.58.
[151] Vgl.: Regelwerk Einheitsdarstellungen Band III, 2021, ED ED 400, S.1.
[152] Quell: ÖBB-Regelwerk Einheitsdarstellungen Band III, 2021, ED 400, S.1.

Zur Optimierung der Planung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt" wurde die 3D-Simulation von FLTG eingesetzt. Mithilfe dieser 3D-Simulation war es möglich, sowohl den Bereich der Oberleitung und des Stromabnehmers als auch den erweiterten Bereich für elektrische Betriebsmittel in das Planungskonzept zu integrieren. Zudem konnte durch die 3D-Simulation identifiziert werden, welche leitfähigen Teile im Bahnbereich, insbesondere im Streckenabschnitt „Weiz Stadt", geerdet werden müssen.

In der Abbildung 48 ist ersichtlich, dass sich die Zaunanlage entlang des Streckenabschnitts im Oberleitungsbereich befindet und, zum Schutz gegen indirekte Berührung, geerdet werden muss.

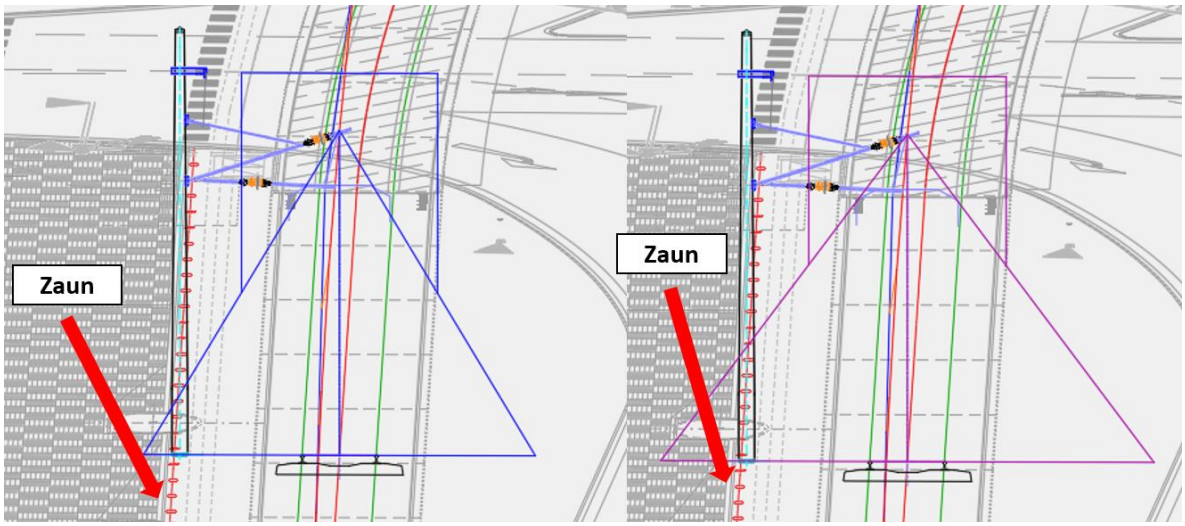


Abbildung 48: Oberleitungs- und Stromabnehmerbereiche Mast WZN-08[153]

4.6.6.2 Rückstromführung und Bahnerdung von Bahnsteigen

Die Elektrifizierung der Eisenbahnstrecke „Weiz Stadt" birgt viele technische Herausforderungen. Ein wesentlicher Aspekt in diesem Kontext ist die sachgemäße Umsetzung der Rückstromführung und der Bahnerdung von Bahnsteigen.

Die Rückstromführung und Bahnerdung von Bahnsteigen stellen einen komplexen Teil des Erdungssystems dar. Wie in Abbildung 49 dargestellt, ist ein eigener Bahsteigrückleiter erforderlich. Pro Bahnsteig ist ein Bahnsteigrückleiter zu verlegen. Dieser, ein parallel zum Gleis im Bahnsteig verlaufender Rückleiter aus ALStahl 100 mm², ist am Anfang und am Ende des Bahnsteigs sowie mindestens alle 140 m mit der Schienenrückleitung (Fahrschiene) zu verknüpfen.[154]

[153] Quelle: Eigene Abbildung mittels FLTG.
[154] Vgl.: ÖBB-Regelwerk Einheitsdarstellungen Band III, 2021, ED 415, S.1-3.

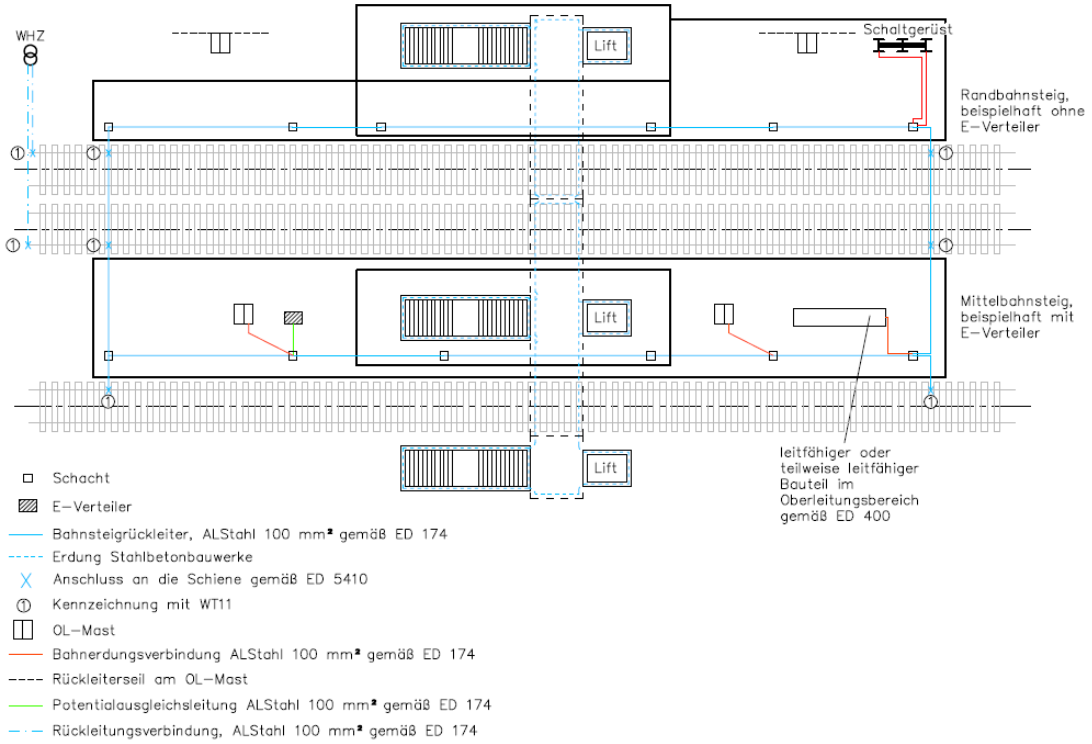


Abbildung 49: Rückstromführung und Bahnerdung Bahnsteige[155]

Mit dem Bahnsteigerder werden sämtliche Strukturen und Bauelemente aus Stahlbeton, alle elektrischen Betriebsmittel und weitere elektrisch leitende Teile, einschließlich Sitzbänken, Bahnsteigdächern und Regenrinnen, verbunden. Es ist essenziell, diese Elemente fachgerecht zu erden, um die Sicherheit für die Fahrgäste und das Bahnpersonal sicherzustellen und elektromagnetische Beeinflussungen zu minimieren.[156]

Im Rahmen der Elektrifizierung sind Anpassungen am Erdungskonzept an den Haltestellen „Weiz Zentrum" und „Weiz Nord" erforderlich. Informationen der Projektleitung der Elektrifizierung der GKB zufolge werden hierfür Kosten in Höhe von 100.000 € pro Haltestelle erwartet.

Die korrekte Umsetzung von Rückstromführung und Bahnerdung an Bahnsteigen ist von zentraler Bedeutung für die Sicherheit und Funktionstüchtigkeit des elektrifizierten Streckenabschnitts. Die damit verbundenen Kosten mögen beträchtlich sein, sie sind jedoch im Hinblick auf die Langzeitsicherheit und den störungsfreien Betrieb der Bahninfrastruktur gerechtfertigt.

[155] Quelle: ÖBB-Regelwerk Einheitsdarstellungen Band III, 2021, ED 415, S.4.
[156] Vgl.: ÖBB-Regelwerk Einheitsdarstellungen Band III, 2021, ED 415, S.1-3.

4.6.6.3 Rückstromführung und Bahnerdung Masse - Federsystem

Ein weiterer Punkt der Betrachtung der Rückstromführung und Bahnerdung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt“ ist die Bahnerdung des Masse-Federsystems entlang der Strecke.

Das Masse-Federsystem der Eisenbahnstrecke „Weiz Stadt“ muss aufgrund seiner elektrischen Leitfähigkeit und einer Ausdehnung von mehr als 3 m geerdet werden.

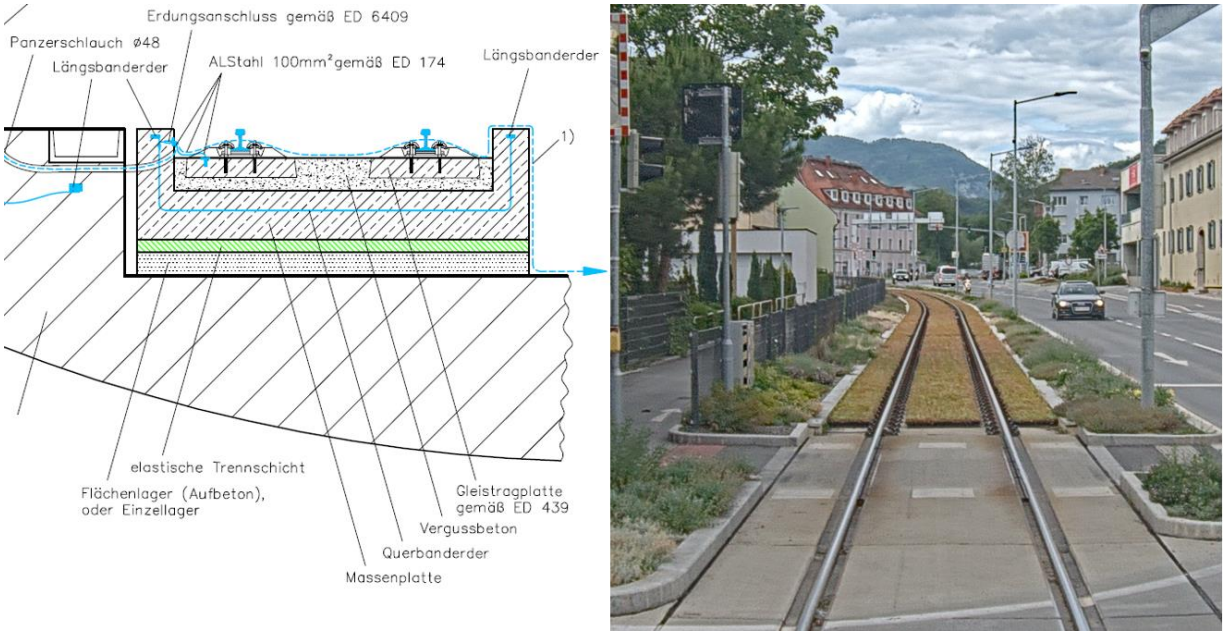


Abbildung 50: Rückstromführung und Bahnerdung Masse Federsystem[157]

Um eine adäquate Erdung sicherzustellen, sind, wie in Abbildung 50 gezeigt, sowohl ein Längsbanderder als auch ein Querbanderder erforderlich. Weiterhin ist es essenziell, das Masse-Federsystem in jeder Halbsektion mindestens zweimal mit dem Rückleiterseil zu verbinden. Dies gewährleistet eine sachgerechte Erdung des Systems und trägt zur Reduktion möglicher elektrischer Gefahren bei.[158]

Die genauen Kosten für die Implementierung und Nachrüstung des Erdungskonzepts des Masse-Federsystems konnten im Rahmen dieser Masterarbeit nicht ermittelt werden. Mangels vergleichbarer Referenzprojekte war nur eine grobe Schätzung möglich. Dabei wurde mit einem finanziellen Aufwand von etwa 100.000 € für die Anpassung des Erdungskonzepts kalkuliert.

[157] Quelle: ÖBB-Regelwerk Einheitsdarstellungen Band III, 2021, ED 405, S.6 und eigene Aufnahme, (12.07.2022).
[158] Vgl.: ÖBB-Regelwerk Einheitsdarstellungen Band III, 2021, ED 405, S.6.

4.6.6.4 Schutz gegen direktes und indirektes Berühren

Dieses Kapitel widmet sich dem Schutz gegen direktes und indirektes Berühren in der Planung, im Bau und im Betrieb von Oberleitungsanlagen. Insbesondere werden die Sicherheitsanforderungen und -richtlinien beleuchtet, die für die Elektrifizierung der Eisenbahnstrecke „Weiz Stadt“ relevant sind.

Oberleitungsanlagen müssen so konzipiert und betrieben werden, dass jederzeit der Schutz von Menschen vor spannungsführenden Teilen und dem Bereich des Stromabnehmers durch direktes und indirektes Berühren gewährleistet ist. Bei indirektem Berühren handelt es sich um das Berühren eines leitfähigen Bauteils der Oberleitungsanlage, das im Fehlerfall Spannung aufnehmen kann. Daher sind bei der Errichtung und im Betrieb von Fahrleitungsanlagen präventive Maßnahmen notwendig, die einen elektrischen Schlag verhindern.[159]

Das Regelwerk der ÖBB definiert Schutzmaßnahmen gegen das unbeabsichtigte Berühren spannungsführender Anlagenteile. Es ist zu beachten, dass diese Maßnahmen das absichtliche Berühren nicht verhindern können. Ein Schutz gegen elektrischen Schlag durch direktes Berühren kann entweder durch einen ausreichenden Abstand oder, falls dieser nicht einzuhalten ist, durch Hindernisse realisiert werden.

Für die Bestimmung des nötigen Abstands zur Oberleitung müssen unter anderem der Spannungsbereich der Oberleitung, der Raum für den Durchgang des Stromabnehmers und Einflüsse wie Windabtrieb oder thermische Bewegungen berücksichtigt werden.

Eine zentrale Voraussetzung für einen zuverlässigen Schutz durch Abstand ist die Einhaltung der Mindestabstände, die bei Standflächen für Personen gewährleistet sein müssen. So soll direktes Berühren aktiver Teile von Fahrleitungsanlagen oder unter Spannung stehenden Fahrzeugteilen in allen Betriebszuständen verhindert werden.[160]

Am Beispiel von Eisenbahnkreuzungen mit einer Oberleitung muss der Mindestabstand zwischen Straßenoberfläche und tiefstem Punkt der Oberleitung 5,5 m betragen. Bei Abspannungen von Oberleitungsketten und bei den Auslegern der Oberleitungsstützpunkte kann der Abstand durch zusätzliche Isolationen erreicht werden.

Das ÖBB-Regelwerk gibt die Mindestabstände gegen direktes Berühren von spannungsführenden Teilen vor. Dabei wird zwischen öffentlichem und nicht öffentlichem Bereich unterschieden. Wie in Abbildung 51 dargestellt, wird mithilfe der ED 5442 bestimmt, ob das Anbringen einer Warnungstafel als Schutzmaßnahme ausreichend ist.

[159] Vgl.: Kießling, 2014, S.139.
[160] Vgl.: ÖBB-Regelwerk TR EL 42, 2011, S.7-11.

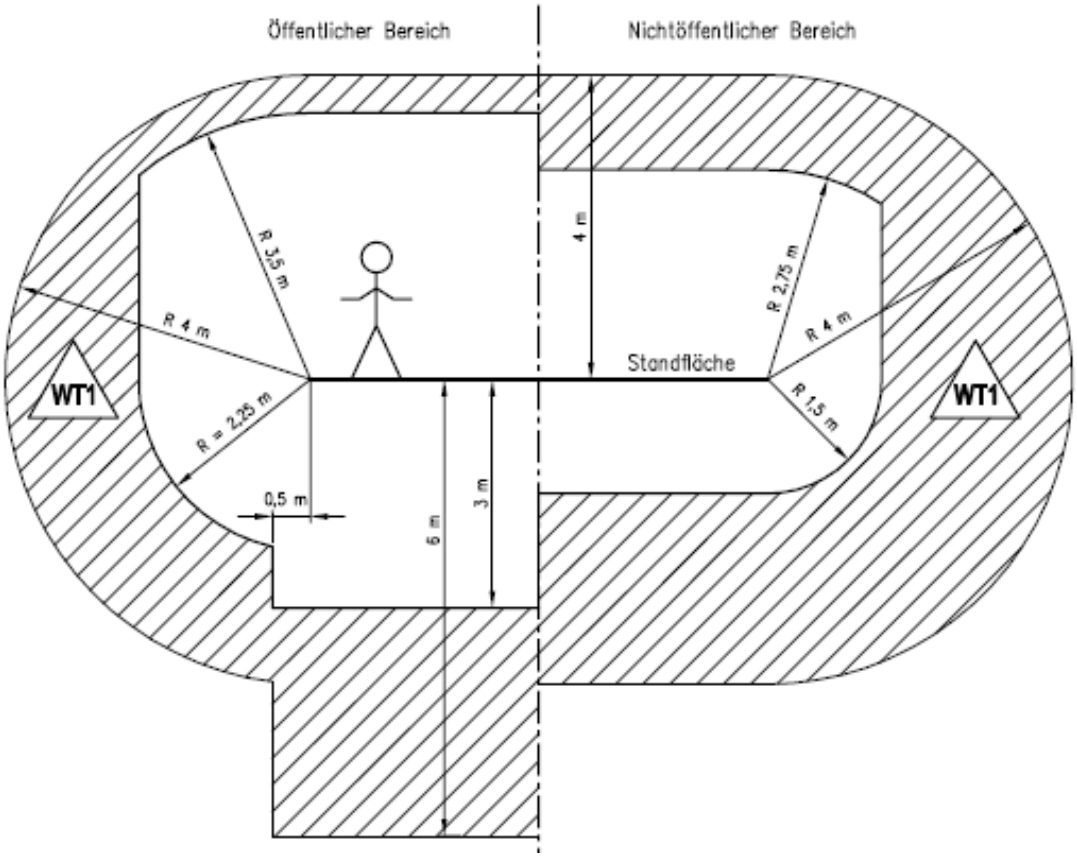


Abbildung 51: ED 5442 Mindestabstände gegen direktes Berühren[161]

Sollte der Schutz durch Abstand nicht realisierbar sein, müssen Hindernisse installiert werden. Diese können entweder in vollwandiger Ausführung oder als Gitter gestaltet sein. Die Maschenweite der Gitter muss so gewählt sein, dass ein Durchgreifen verhindert wird. [162]

In Abbildung 52 wird die Ausgestaltung von Hindernissen gemäß ED 5442 dargestellt. Entscheidend für die Bestimmung des geeigneten Hindernisses sind dessen Abstand und Position in Bezug auf spannungsführende Teile. In öffentlichen Bereichen sollten diese Hindernisse mindestens 1,8 m hoch und vollwandig sein.

[161] Quelle: ÖBB-Regelwerk Übersichtszeichnungen Band I, 2021, ED 5442, S.1.
[162] Vgl.: ÖBB-Regelwerk TR EL 42, 2011, S.9.

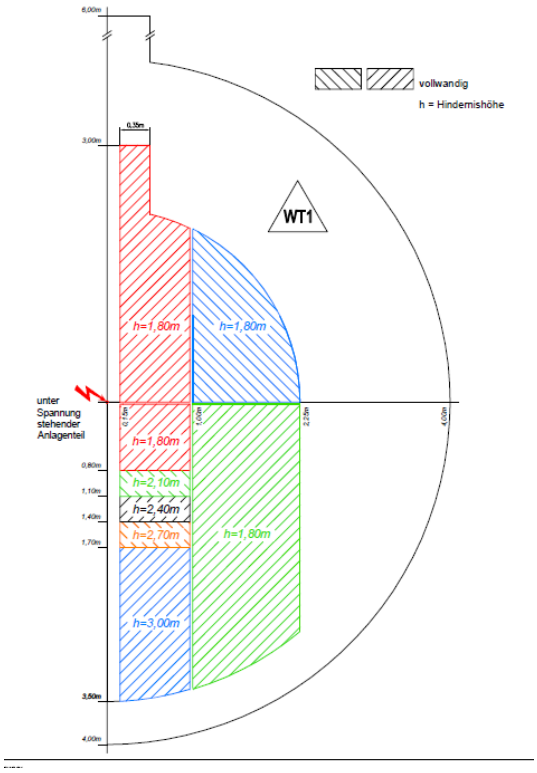


Abbildung 52: ED 5442 Ausführung von Hindernissen im öffentlichen Bereich[163]

Im Streckenabschnitt „Weiz Stadt“ lag ein Fokus darauf, den Schutz durch ausreichenden Abstand zu spannungsführenden Oberleitungsteilen zu realisieren. Bei den Eisenbahnkreuzungen wurde so geplant, dass die Mindestabstände eingehalten werden. Zudem wurden zusätzliche Isolationsmaßnahmen vorgesehen, um die Sicherheit von Personen zu gewährleisten.

Auch die Mindestabstände zu Signalanlagen und Straßenbeleuchtungsanlagen wurden detailliert untersucht, insbesondere im Hinblick auf die Sicherheit während Wartungsarbeiten. Hierbei sind die Abstände des nicht öffentlichen Bereichs zu berücksichtigen. Die Erkenntnisse dazu finden sich ausführlich in Kapitel 4.6.10 und 4.6.12.

Neben dem Schutz vor direktem Berühren ist auch der Schutz vor indirektem Berühren essenziell. Hierfür müssen alle leitfähigen Teile, die im Einflussbereich der Oberleitung und des Stromabnehmers liegen und im Fehlerfall unter Spannung stehen könnten, geerdet sein.[164]

[163] Quelle: ÖBB-Regelwerk Übersichtszeichnungen Band I, 2021, ED 5442, S.3.
[164] Vgl.: Kießling, 2014, S.141.

4.6.7 Betrachtung der Eisenbahnkreuzungen

In der vorliegenden Untersuchung wurden die vier technisch gesicherten Eisenbahnkreuzungen entlang des Streckenabschnitts „Weiz Stadt“ hinsichtlich der Elektrifizierungsplanung analysiert.

Eisenbahnkreuzungen sind signifikante Faktoren, die bei der Planung von Oberleitungen berücksichtigt werden müssen. Besondere Herausforderungen stellen hierbei die Vorgaben zur Sicherheit und die Gegebenheiten der Infrastruktur dar. Ein besonderes Augenmerk liegt auf der Standortwahl der Oberleitungsmasten und der Sicherstellung der Sicherheitsabstände.

Im betrachteten Streckenabschnitt sind vier Eisenbahnkreuzungen zu berücksichtigen:

- EK km 15,220 Birkfeldstraße
- EK km 15,350 Europa-Allee
- EK km 15,485 Siegfried-Esterl-Gasse
- EK km 15,650 Doktor-Karl-Wildmann-Straße

Die Planung der Oberleitungen für diese Kreuzungen stellte eine besondere Herausforderung dar, da sie nicht lediglich einfache Kreuzungen darstellen, sondern vielmehr weitläufige Straßenkreuzungen mit intensivem Verkehrsfluss und dichter Bebauung. Besondere Aufmerksamkeit musste den Abständen zu öffentlichen Bereichen und Straßensignalanlagen sowie der optimalen Standortwahl für die Oberleitungsmasten aufgrund der engen Bogenradien und der baulichen Dichte gewidmet werden. An der Eisenbahnkreuzung EK km 15,485 Siegfried-Esterl-Gasse war die Integration der Oberleitung in die Anschlussbahn „Andritz Hydro Nord“ eine zusätzliche Komplexität.

In diesem Zusammenhang spielte die 3D-Simulation des Streckenabschnitts mittels FLTG eine entscheidende Rolle, indem sie einen erheblichen Beitrag zur technischen Machbarkeit der Oberleitungsanlage an den herausfordernden Eisenbahnkreuzungen lieferte. Durch den Einsatz dieses Tools konnten die spezifischen Herausforderungen jeder Kreuzung visualisiert und genaue Planungen und Anpassungen vorgenommen werden. Darüber hinaus ermöglichte die Simulation eine effiziente Fehlererkennung und -behebung in der Planungsphase, was zu optimalen und sicheren Lösungen für die Elektrifizierung der Strecke führte.

Die Standortfindung für die Oberleitungsmasten und die Gewährleistung der erforderlichen Sicherheitsabstände wurden neben der 3D-Simulation des Streckenabschnitts mittels FLTG auch durch eine Vor-Ort-Inspektion, eine Prüfung mit GIS-Steiermark, Google Maps, Google Street View und eine Überprüfung der von der STLB bereitgestellten Detailpläne realisiert.

Die Oberleitungsplanung muss sicherstellen, dass der Bahnübergang sicher von Straßen- und Bahnverkehr genutzt werden kann und die vorgeschriebene Fahrzeughöhe von 4,0 m gemäß österreichischer Straßenverkehrs-Ordnung gewährleistet ist. Die Mindesthöhe des Fahrdrahts an Bahnübergängen muss, unter Berücksichtigung von thermischen, dynamischen

Bewegungen sowie Eislast und Toleranzen, mindestens 5,50 m betragen.[165] An allen vier betrachteten Eisenbahnkreuzungen musste diese Anforderung eingehalten und dabei die spezifischen Herausforderungen jeder einzelnen Kreuzung berücksichtigt werden.

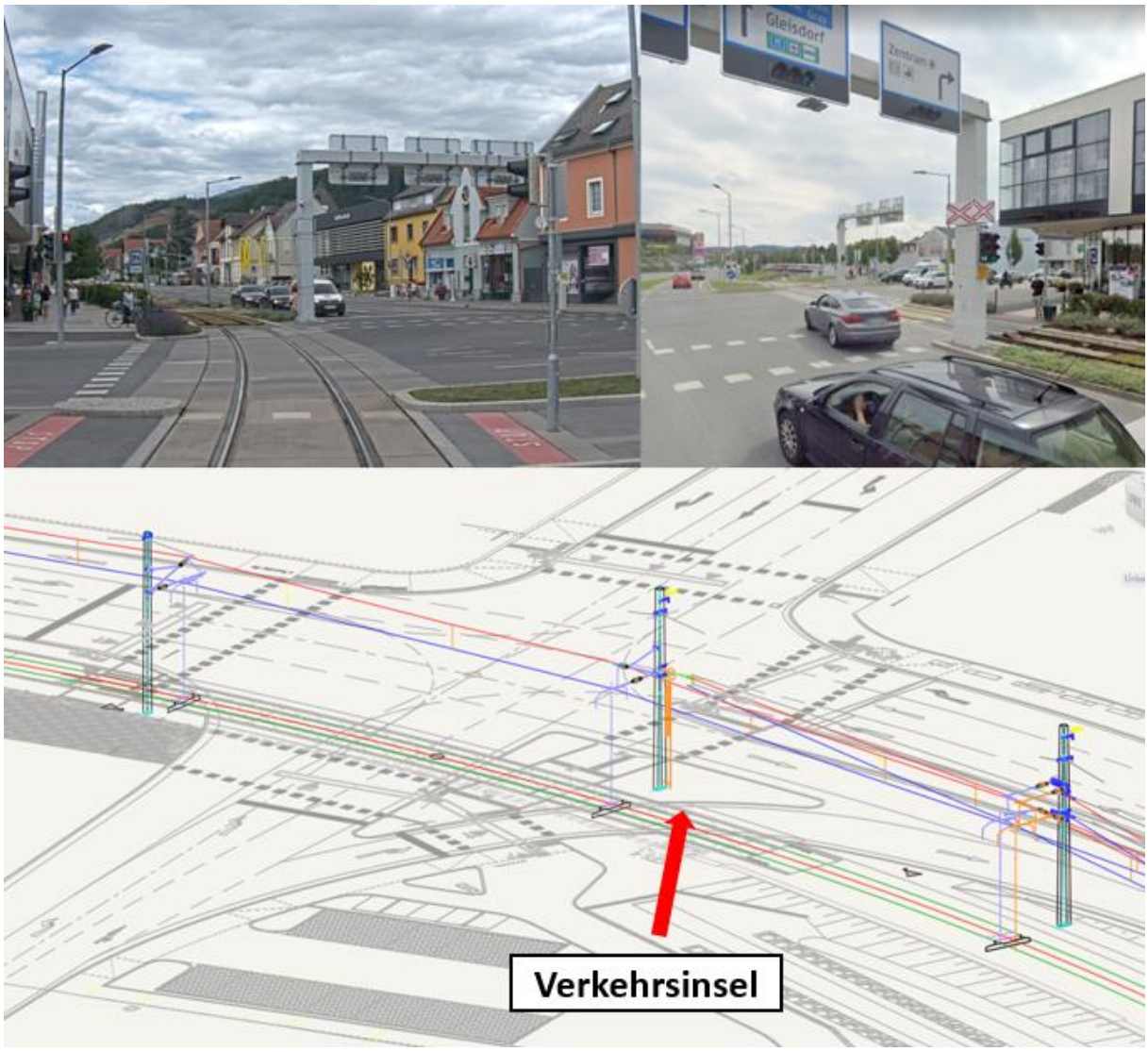


Abbildung 53: EK km 15,220 Birkfeldstraße[166]

EK km 15,220 Birkfeldstraße stellte aufgrund ihrer Länge, der dichten Bebauung, engen Bogenradien und der Nähe zu zahlreichen Straßensignalanlagen und öffentlichen Bereichen eine besondere Herausforderung dar. Die notwendigen Abstände konnten jedoch durch genaue Planung und den Einsatz eines Oberleitungsmastes direkt in einer Verkehrsinsel

[165] Vgl.: Kießling, 2014, S.827-828
[166] Quelle: Eigene Abbildung mittels FLTG.

eingehalten werden. Abbildung 53 veranschaulicht die örtliche Situation und die Oberleitungsplanung an dieser Kreuzung.

Für die EK km 15,350 Europa-Allee traten im Zuge der Oberleitungsplanung trotz gerader Streckenabschnitte und weniger baulicher Hindernisse Herausforderungen auf. Die Platzierung eines Oberleitungsmastes in einer Verkehrsinsel war auch hier notwendig, um alle relevanten Abstände einzuhalten. Abbildung 54 veranschaulicht die örtlichen Situationen und die Oberleitungsplanung an diesen Kreuzungen.

Abbildung 54: EK km 15,350 Europa-Alle[167]

[167] Quelle: Google Street View, (05.06.2023) und eigene Abbildung mittels FLTG.

Abbildung 55: EK km 15,485 Siegfried-Esterl-Gasse[168]

Im Zuge der Mastaufteilung der EK km 15,485 Siegfried-Esterl-Gasse traten keine zusätzlichen Probleme auf. Abbildung 55 veranschaulicht die örtliche Situation sowie die Oberleitungsplanung an der EK.

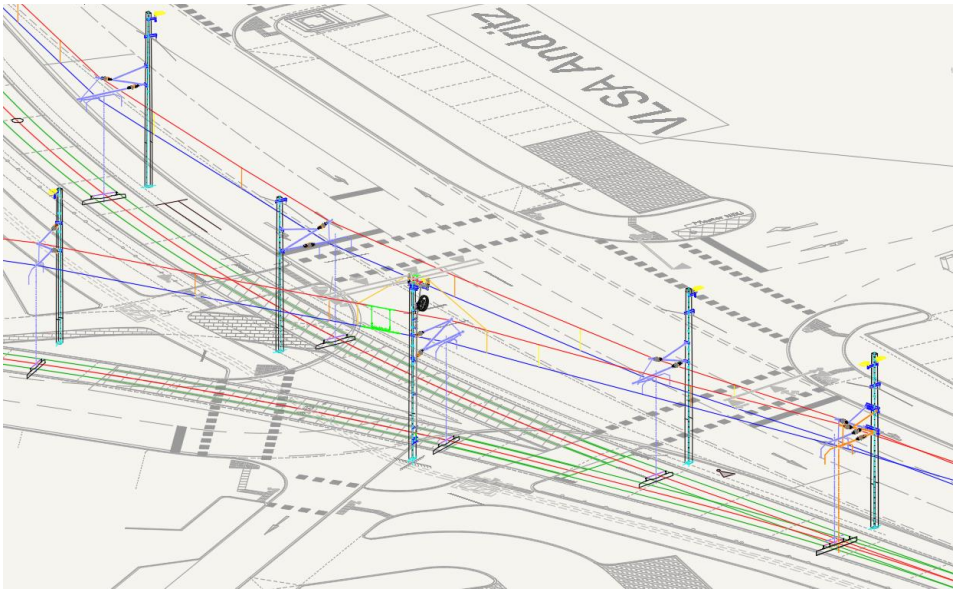


Abbildung 56: Oberleitungsplanung EK km 15,650 Doktor-Karl-Wildmann-Straße[169]

Die EK km 15,650 Doktor-Karl-Wildmann-Straße stellte sich als besonders herausfordernd dar. Hier war neben dem engen Bogenradius des Gleises auch die Weiche zur Anschlussbahn „Andritz Hydro Nord“ zu berücksichtigen. Deswegen mussten sehr geringe Feldweiten geplant

[168] Quelle: Google Street View, (05.06.2023) und eigene Abbildung mittels FLTG.
[169] Quelle: Eigene Abbildung mittels FLTG.

werden und die Mastaufteilung exakt auf den Verkehrsinseln erfolgen. Abbildung 56 verdeutlicht diese Situation vor Ort.

Abbildung 57: Ausführung Profiltor Deutsche Bahn an Eisenbahnkreuzungen. [170]

Überspannte Eisenbahnkreuzungen im Bereich „Weiz Stadt“, die stark frequentiert sind, stellen ein potenzielles Risiko dar. Gerade zu Beginn könnten LKWs oder Landmaschinen die Oberleitung übersehen, was Schäden an der Anlage und möglicherweise schwerwiegende Unfälle zur Folge hätte. Durch das Einrichten von Profiltoren an diesen Kreuzungen, wie in Abbildung 57 ersichtlich, könnten Fahrer*innen gewarnt und ihre Fahrzeuge gestoppt werden, bevor sie in die Oberleitung geraten.

Dieses Kapitel verdeutlicht die Komplexität der Oberleitungsplanung an Eisenbahnkreuzungen. Es zeigt die spezifischen Herausforderungen, die bei der Planung berücksichtigt werden müssen, und unterstreicht die Bedeutung von detaillierten Vor-Ort-Inspektionen und des Einsatzes geeigneter technischer Tools, wie FLTG. Es wird klar, dass die Planung von Oberleitungen an Eisenbahnkreuzungen eine sorgfältige Abstimmung zwischen den technischen Anforderungen, den sicherheitstechnischen Abständen und den gegebenen lokalen Bedingungen erfordert. Diese Betrachtungen machen deutlich, dass trotz der Komplexität und der besonderen Herausforderungen jeder Eisenbahnkreuzung durch genaue Analyse und Planung adäquate Lösungen für die Integration der Oberleitungen gefunden werden können.

[170] Quelle: springer.com, (15.05.2023).

4.6.8 Betrachtung der Anschlussbahn

Durch die Anschlussbahn „Andritz Hydro Weiz“ erhält das Transformatorenwerk der Firma Andritz einen direkten Zugang an das öffentliche Schienennetz und damit auch zu den wichtigsten europäischen Häfen, Terminals, Industrie- und Wirtschaftszentren. Die Andritz-Produktionsstätte in Weiz gilt als der weltweit führende Produktionsstandort für die Konzeption und Fertigung von Transformatoren. Transformatoren mit einem Gewicht von bis zu 280 Tonnen werden aus dieser Einrichtung in die ganze Welt geliefert.[171]

Die vorliegende Betrachtung konzentriert sich auf die mögliche Elektrifizierung des Verbindungsgleises der Anschlussbahn. Aufgrund der eisenbahntechnischen Besonderheiten dieses Abschnitts, einschließlich der Eisenbahnkreuzung, der engen Bogenradien und der dichten Bebauung, bildet dieser eine Art Nadelöhr, dessen Elektrifizierung sorgfältig geplant und ausgeführt werden muss. Leider waren für einige Teile der Anschlussbahn keine vollständigen Gleisdaten verfügbar, daher konnte in dieser Arbeit nur eine Untersuchung der möglichen Elektrifizierung des Verbindungsgleises mit einer Oberleitungsanlage durchgeführt werden.

Bei der Ausstattung von Anschlussbahnen mit Oberleitungsanlagen sind zahlreiche Faktoren zu berücksichtigen, um die Einhaltung der Vorgaben und Richtlinien des ÖBB-Regelwerks zu gewährleisten. Dabei steht die Sicherheit an erster Stelle, da in den Ladebereichen aufgrund der umfangreichen Arbeitstätigkeiten ein besonderes Unfallrisiko besteht. Es ist essenziell, diese Bereiche besonders zu kennzeichnen. Bei der Planung der Oberleitungsanlage muss die korrekte Platzierung der Masten, die Einhaltung der notwendigen Sicherheitsabstände und die korrekte Höhe und seitliche Verschiebung des Fahrdrahts gewährleistet werden.

Es sollte vermieden werden, Oberleitungsmasten und Abspannungen von Oberleitungen zwischen Ladebahnen und Ladegleisen zu positionieren, um Beschädigungen der Masten durch Fahrzeuge zu verhindern. Gegebenenfalls muss ein Schutz gegen Anprall eingerichtet werden, um die Masten zu schützen.

Die Minimalhöhe für Fahrdrähte und Oberleitungsstützpunkte auf Anschlussbahnen sollte 5,5 m betragen, wobei unter bestimmten Umständen eine Erhöhung bis maximal 6,0 m möglich ist. Es sind Seitenverschiebungen des Fahrdrahtes von bis zu ± 45 cm zulässig.[172]

Es ist essenziell, dass Oberleitungen über Gleisen oder Gleisabschnitten, auf denen regelmäßig Lade- oder sonstige Arbeiten innerhalb des Gefahrenbereiches der Oberleitungsanlage durchgeführt werden, elektrisch von der restlichen Oberleitungsanlage getrennt sind. Hierbei sollte grundsätzlich ein Freilufttrennschalter, ausgestaltet als Ladegleisschalter mit Erdkontakt und einer Schaltzeigertrommel für das Ladegleis, und ein Streckentrenner gemäß dem ÖBB-Regelwerk vorgesehen werden. In der Stellung „AUS" des

[171] Quelle: steiermark.orf.at, (05.05.2023).
[172] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.62.

Ladegleisschalters liegt die Schalterzeigetrommel waagrecht, während sie in der Stellung „EIN" senkrecht steht.

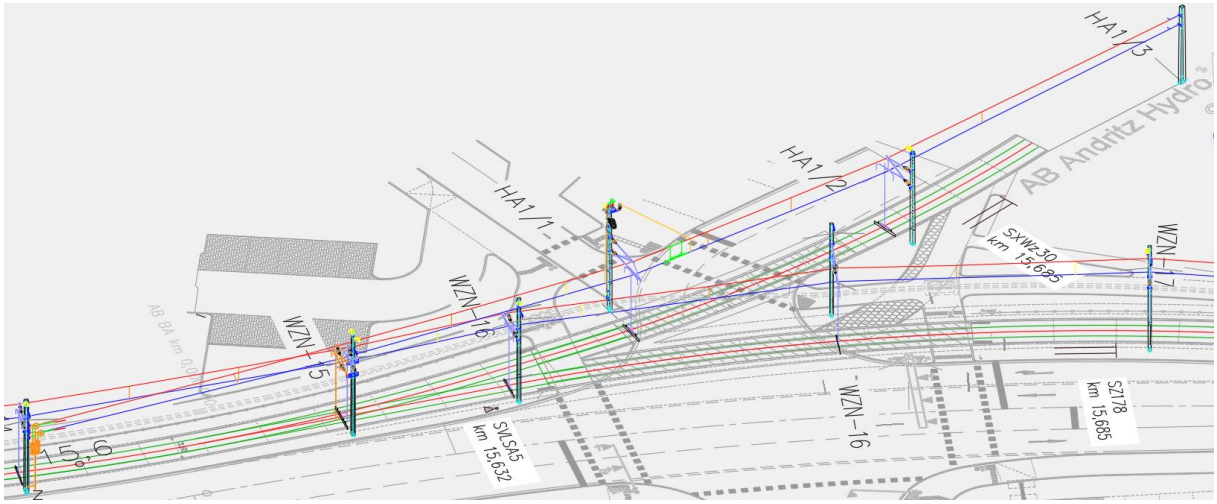


Abbildung 58: Oberleitungsplanung Anschlussbahn „Andritz Hydro Weiz“[173]

Die von FLTG projektierte Oberleitung der Anschlussbahn „Andritz Hydro Weiz“ ist in Abbildung 58 dargestellt. Trotz der beengten Platzverhältnisse konnte mithilfe der Oberleitungsprojektierungssoftware eine geeignete Positionierung der Masten auf den Verkehrsinseln realisiert werden, die allerdings zu geringen Feldweiten führte. Die elektrische Trennung der Oberleitungsanlage erfolgte gemäß den Vorgaben des ÖBB-Regelwerks und wurde mit einem Ladegleisschalter umgesetzt.

Die Untersuchung der Anschlussbahn „Andritz Hydro Weiz“ hat gezeigt, dass trotz der herausfordernden örtlichen Gegebenheiten und technischen Anforderungen eine elektrifizierte Oberleitungsanlage realisiert werden kann, die den Vorgaben und Richtlinien des ÖBB-Regelwerks entspricht. Die Anwendung der Oberleitungsprojektierungssoftware FLTG hat sich als wertvolles Werkzeug erwiesen, das die Planung auch in beengten Platzverhältnissen ermöglicht. Das Ergebnis verdeutlicht, dass eine umsichtige und sorgfältige Planung in Kombination mit den richtigen technischen Werkzeugen dazu beitragen kann, auch unter anspruchsvollen Bedingungen nachhaltige und effiziente Lösungen zu erarbeiten.

[173] Quelle: Eigene Abbildung mittels FLTG.

4.6.9 Betrachtung der Haltestellen

Ein zentraler Aspekt dieser Planung ist die detaillierte Untersuchung der Haltestellen „Weiz Zentrum" und „Weiz Nord" entlang der Strecke. Sie und ihre zugehörigen Bahnsteige könnten sich als kritische Punkte bei der Positionierung der Oberleitung herausstellen, weshalb sie einer intensiven Betrachtung bedürfen.

In der Planungsphase ist es von entscheidender Bedeutung, sicherzustellen, dass Oberleitungsmasten und ihre Fundamente den Fahrgastverkehr nicht behindern. Zudem müssen sämtliche Anbauten an den Masten, einschließlich der beweglichen Nachspanneinrichtungen, im festgelegten Sicherheitsbereich verbleiben. An Bahnsteigen werden vorgesetzte Isolationen angebracht, um die Fahrgäste vor elektrischem Strom zu schützen. Diese Maßnahme sichert den im ÖBB-Regelwerk vorgeschriebenen notwendigen Sicherheitsabstand. Zum Schutz der Fahrgäste vor potenziellen elektrischen Gefahren kommen zusätzlich Warntafeln, gemäß ÖBB-Regelwerk zum Einsatz.[174]

Bauteile, wie Bahnsteigdächer, die sich im Bereich der Oberleitung und des Stromabnehmers befinden und leitfähig sind, müssen mit dem Rückleiter verbunden werden, um gefährliche Berührungsspannungen zu verhindern. Da Bahnsteige im Bereich der Oberleitung liegen, ist es notwendig, die Bewehrung der Betonbauwerke mit dem Rückleiter zu verbinden. [175] Die spezifischen Erdungsmaßnahmen für Bahnsteige werden in Kapitel 4.6.6.2 umfassend behandelt.

Wo es möglich ist, sollten Masten am Bahnsteig vermieden und die Oberleitungsmasten auf der gegenüberliegenden Gleisseite platziert werden. Es ist auch ratsam, Streckentrennungen nicht an Bahnsteigen zu positionieren, da hier Lichtbögen und Funkenflug auftreten können.[176]

[174] Quelle: ÖBB-Regelwerk Übersichtszeichnungen Band I, 2021, ED 5442, S.1-3.
[175] Vgl.: Kießling, 2014, S.468.
[176] Vgl.: Kießling, 2014, S.844.

Abbildung 59: Haltestelle „Weiz Zentrum"[177]

Für die Haltestelle „Weiz Zentrum" wurde beschlossen, die Oberleitungsmasten auf der gegenüberliegenden Gleisseite zu positionieren. Dies vermeidet umfangreiche Umbaumaßnahmen und spart hohe Kosten. Durch den Einsatz der FLTG-Software war es möglich, eine exakte Planung der Oberleitungsanlage zu realisieren, welche alle elektrotechnischen und sicherheitstechnischen Abstände berücksichtigt. Abbildung 59 zeigt die aktuelle Situation an der Haltestelle „Weiz Zentrum" sowie die geplante Positionierung der Oberleitungsanlage.

[177] Quelle: Google Street View, (05.06.2023) und eigene Abbildung mittels FLTG.

Ein ähnliches Konzept wurde für die Haltestelle „Weiz Nord" gewählt, wobei ebenfalls die Oberleitungsmasten auf der gegenüberliegenden Gleisseite positioniert wurden. Abbildung 60 präsentiert die derzeitige Situation an der Haltestelle „Weiz Nord" sowie die geplante Projektierung der Oberleitungsanlage.

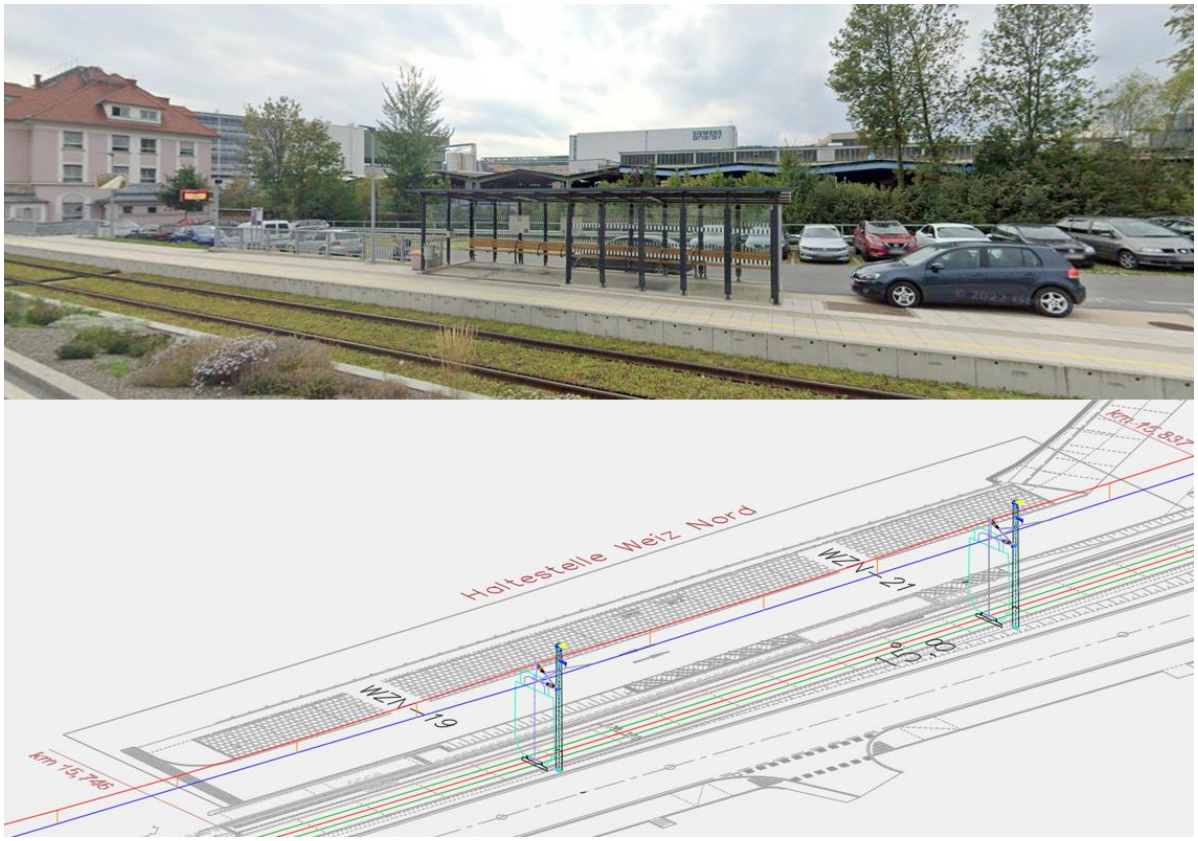


Abbildung 60: Haltestelle „Weiz Nord"[178]

Die Elektrifizierung der Haltestellen „Weiz Zentrum" und „Weiz Nord" auf dem Streckenabschnitt „Weiz Stadt" hat zahlreiche Herausforderungen aufgezeigt. Besonders die präzise Positionierung der Oberleitungsmasten erforderte eine umsichtige Planung, bei der sowohl Sicherheitsabstände, die Vermeidung von Bauwerksumbauten als auch der reibungslose Fahrgastverkehr berücksichtigt wurden.

[178] Quelle: Google Street View, (05.06.2023) und eigene Abbildung mittels FLTG.

4.6.10 Betrachtung der Leit- und Sicherungsanlagen

Ein weiterer kritischer Aspekt in der Planung der Elektrifizierung der Eisenbahnstrecke „Weiz Stadt“ ist die Berücksichtigung der Leit- und Sicherungsanlagen in Bezug auf die geplante Oberleitungsanlage. Eine sorgfältige und genaue Betrachtung dieser Anlagen ist unabdingbar, um sowohl die Sicherheit als auch die Effizienz des Bahnbetriebs zu gewährleisten.

Signale erfordern einen spezifischen Mindestabstand zum nächsten Oberleitungsmast, der nach den Vorschriften der ÖBB normalerweise mindestens 8 m beträgt. In Ausnahmefällen kann dieser Abstand mit Zustimmung der für die Sicherungsanlage verantwortlichen Stelle auf 3 m reduziert werden.[179] Es ist wichtig zu beachten, dass die Positionierung von Oberleitungsmasten vor ortsfesten Signalen gemäß ÖBB-Regelwerk erfolgen muss und dabei eine Sichtkeilausbildung einzuhalten ist. Dies bedeutet, dass die Signale von den Triebfahrzeugführern rechtzeitig und deutlich erkannt werden müssen. Abbildung 61 veranschaulicht das Prinzip dieser Sichtkeilausbildung gemäß dem ÖBB-Regelwerk.

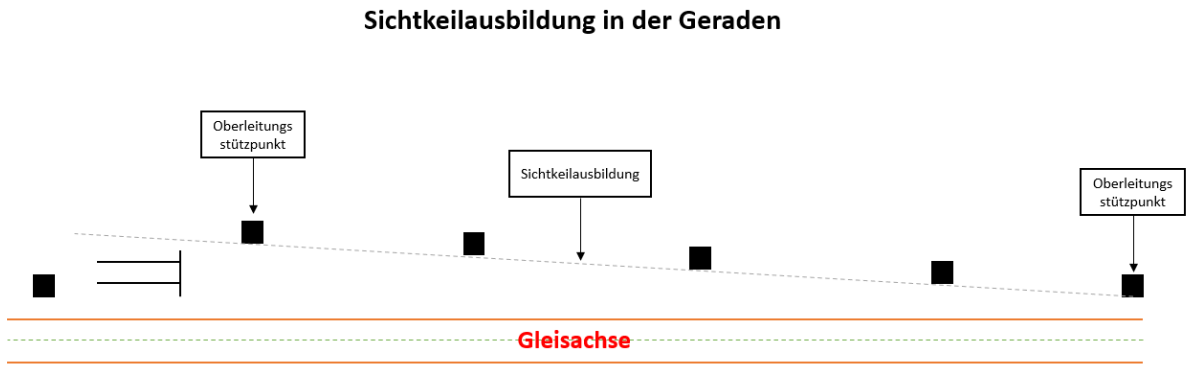


Abbildung 61: Sichtkeilausbildung in der Geraden gemäß ÖBB-Regelwerk[180]

Da Signale als elektrische Betriebsmittel im erweiterten Oberleitungsbereich liegen, müssen sie geerdet werden. In Fällen, in denen ein Rückleiter vorhanden ist, wird das Signal mit diesem verbunden. Ist kein Rückleiter verfügbar, muss das Signal an die Schiene geerdet werden.[181]

Ein weiteres Thema ist die Einhaltung der elektrischen Mindestabstände. Es ist wichtig, dass zwischen geerdeten Bauteilen des Signals und aktiven Bauteilen des Kettenwerks genügend Abstand besteht, um elektrische Überschläge zu verhindern. Sollten diese Abstände nicht eingehalten werden können, müssen entsprechende Schutzmaßnahmen, wie vorgesetzte Isolationen, getroffen werden.

[179] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.44.
[180] Quelle: ÖBB-Regelwerk Einheitsdarstellungen Band III, 2021, ED 58, S.1.
[181] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.64.

Auf dem Streckenabschnitt „Weiz Stadt“ befinden sich vier Hauptsignale und drei Verschubsignale. Mit Hilfe der mittels FLTG erstellten 3D-Simulation konnte der genaue Standort für die Oberleitungsmasten ermittelt werden, um die freie Sicht auf die Signale und somit die Sicherheit für den Eisenbahnbetrieb auf diesem Streckenabschnitt zu gewährleisten. Abbildung 62 und Abbildung 63 zeigen die Situation an den Masten WZN-9 und WZN-16. Anhand der 3D-Simulation konnten mögliche Konfliktpunkte identifiziert und eine klare Sicht auf das Hauptsignal und das Verschubsignal sichergestellt werden. Die Oberleitungsmasten wurden hierbei jeweils kurz nach den Signalen positioniert.

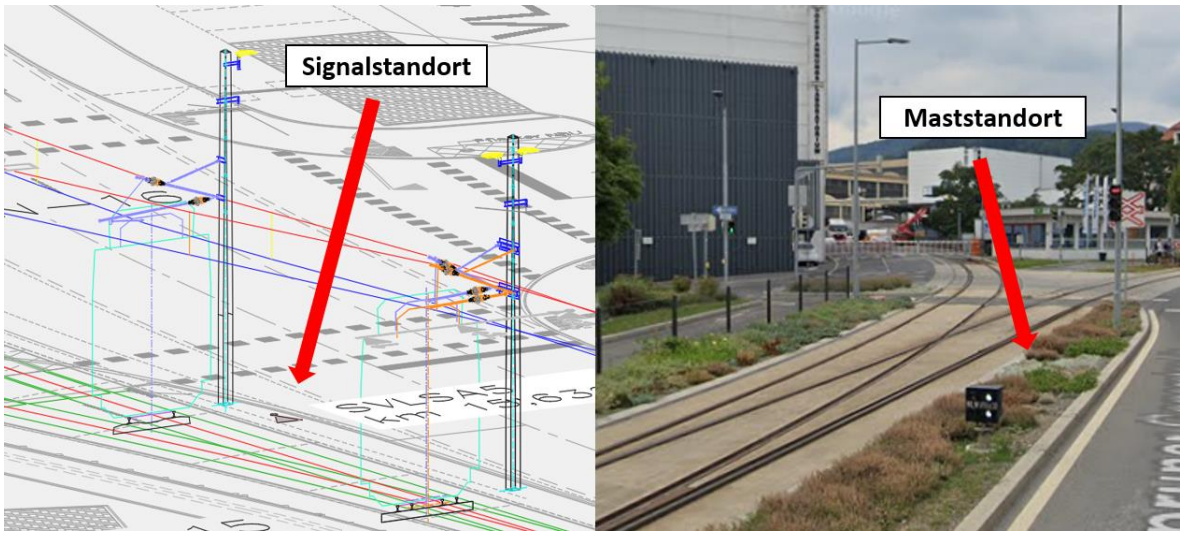


Abbildung 62: Betrachtung Situation Signal SXWz 30 [182]

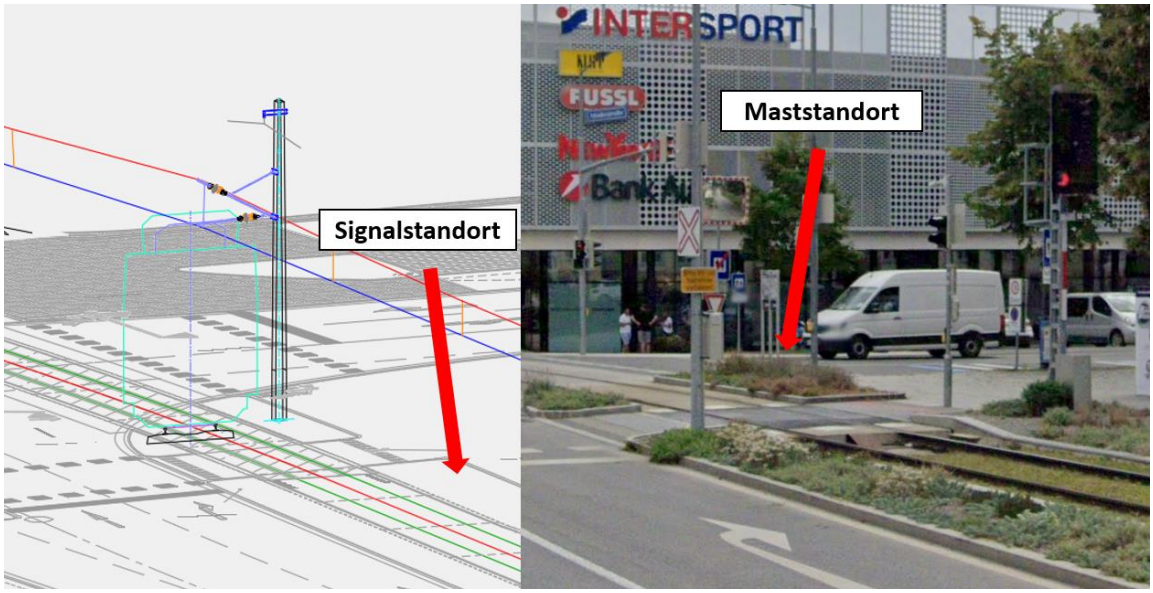


Abbildung 63: Betrachtung Situation Signal SZ 176[183]

[182] Quelle: Google Street View, (05.06.2023) und eigene Abbildung mittels FLTG.
[183] Quelle: Google Street View, (05.06.2023) und eigene Abbildung mittels FLTG.

Die Betrachtung der Leit- und Sicherungsanlagen hat gezeigt, dass die Einbeziehung dieser Aspekte in die Planung der Elektrifizierung von Eisenbahnstrecken äußerst wichtig ist. Die Durchführung von 3D-Simulationen hat sich als äußerst nützlich erwiesen.

4.6.11 Betrachtung der Straßensignalanlagen

Bei der detaillierten Analyse der Elektrifizierung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt“ spielt die Berücksichtigung der vorhandenen Straßensignale eine entscheidende Rolle. Hierbei steht insbesondere der Schutz gegen direktes und indirektes Berühren der elektrifizierten Anlagenteile im Vordergrund. Es ist essenziell, dass die sicherheitstechnischen Abstände zu den Oberleitungen während des regulären Betriebs eingehalten werden. Darüber hinaus muss besondere Aufmerksamkeit darauf gelegt werden, dass der Schutz der Arbeitskräfte bei Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten an den Straßensignalen zu jeder Zeit sichergestellt ist.

Mittels einer 3D-Simulation des betreffenden Streckenabschnitts konnte der Abstand der Straßensignale zu den elektrifizierten Teilen der Oberleitung genau überprüft werden. Zusätzlich wurde analysiert, ob die Straßensignale im erweiterten Bereich der Oberleitung und des Stromabnehmers liegen, was die Notwendigkeit von Erdungsmaßnahmen nach sich ziehen würde.

Straßensignale sind in diesem Kontext als elektrische Anlagen zu betrachten und müssen innerhalb des erweiterten Oberleitungsbereichs von 5 m zur Gleisachse geerdet werden. Zudem müssen die Straßensignalanlagen gemäß den Bestimmungen des ÖBB-Regelwerks einen Abstand von mehr als 1,5 m zu unter Spannung stehenden Teilen aufweisen, um einen sicheren Abstand für Wartungsarbeiten zu gewährleisten und keine zusätzlichen Schutzmaßnahmen notwendig zu machen.[184]

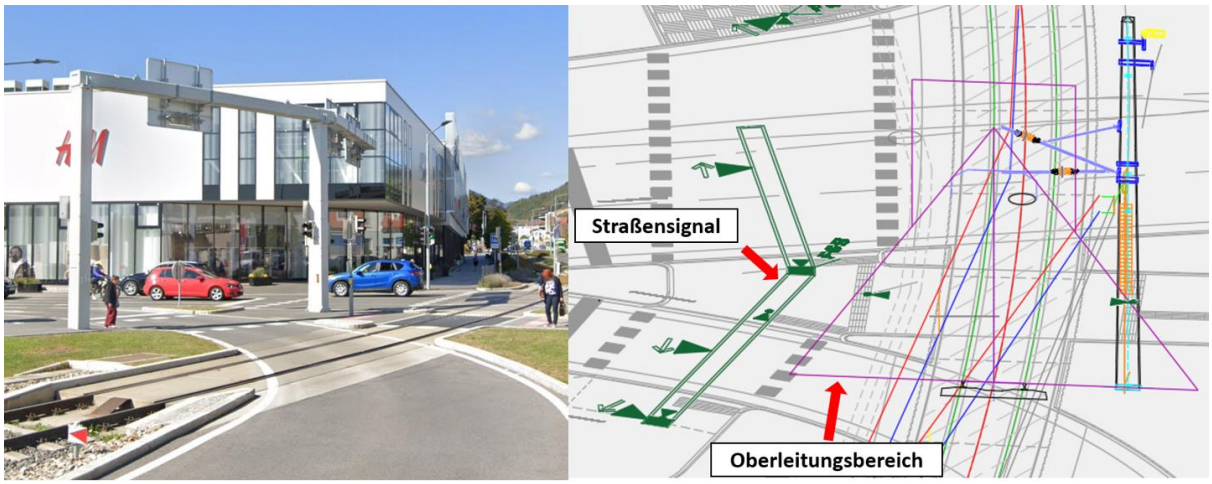


Abbildung 64: Eisenbahnkreuzung „Birkfeldstraße“ (km 15,220)[185]

[184] Vgl.: ÖBB-Regelwerk TR EL 42, 2011, S.9.
[185] Quelle: Google Street View, (05.06.2023) und eigene Abbildung mittels FLTG.

Die 3D-Simulation der Straßensignalanlage an der Kreuzung „Birkfeldstraße“ hat ergeben, dass sich die Straßensignalanlage außerhalb des erweiterten Oberleitungsbereichs von 5 m zur Gleisachse befindet. Dies bedeutet, dass keine Erdungsmaßnahmen erforderlich sind. Darüber hinaus zeigen die Simulationen, dass die Mindestabstände gegen direktes Berühren von unter Spannung stehenden Anlagenteilen eingehalten werden können und somit keine zusätzlichen Schutzmaßnahmen notwendig sind. Abbildung 64 veranschaulicht die Situation an der Eisenbahnkreuzung „Birkfeldstraße“ (km 15,220).

Die Untersuchung der Straßensignalanlage an der Eisenbahnkreuzung „Europa-Allee“ hat ergeben, dass sich die Anlage innerhalb des erweiterten Stromabnehmerbereichs befindet und somit geerdet werden muss. Weiterhin konnte ermittelt werden, dass, wie in Abbildung 65 ersichtlich, ein ausreichender Sicherheitsabstand für Wartungsarbeiten an der Straßensignalanlage zur Oberleitung vorhanden ist.

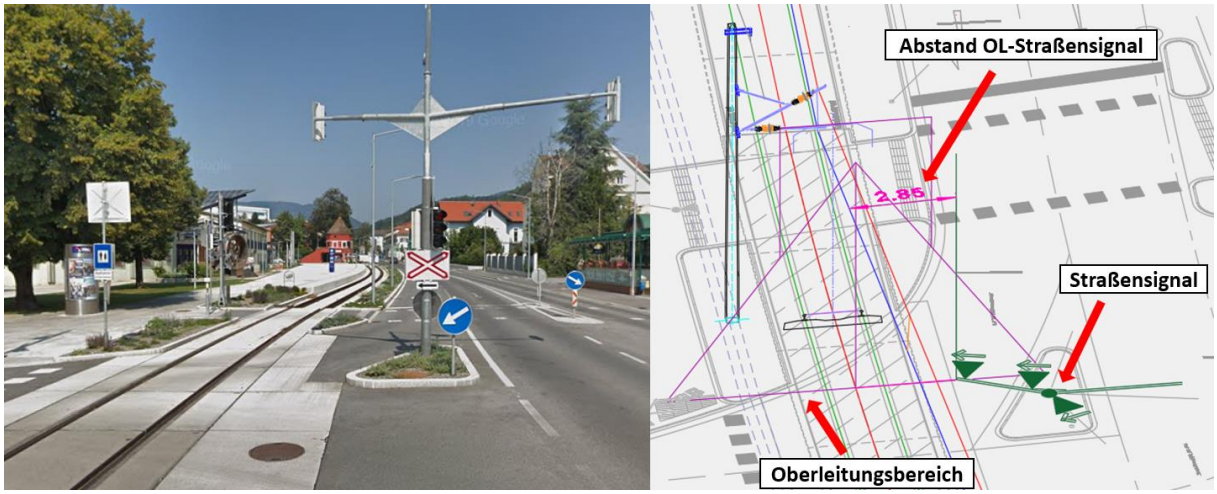


Abbildung 65: Eisenbahnkreuzung „Europa-Allee“ (km 15,350)[186]

Ähnlich wie bei der Kreuzung „Europa-Allee“ ist auch an der Eisenbahnkreuzung „Doktor-Karl-Wildmann-Straße“ eine Erdung erforderlich, da sich die Straßensignalanlage innerhalb des erweiterten Oberleitungsbereichs befindet. Weiterhin konnte ermittelt werden, dass ein ausreichender Sicherheitsabstand für Wartungsarbeiten an der Straßensignalanlage zur Oberleitung vorhanden ist. Abbildung 66 veranschaulicht die Situation an der Eisenbahnkreuzung „Doktor-Karl-Wildmann-Straße“ (km 15,650).

[186] Quelle: Google Street View, (05.06.2023) und eigene Abbildung mittels FLTG.

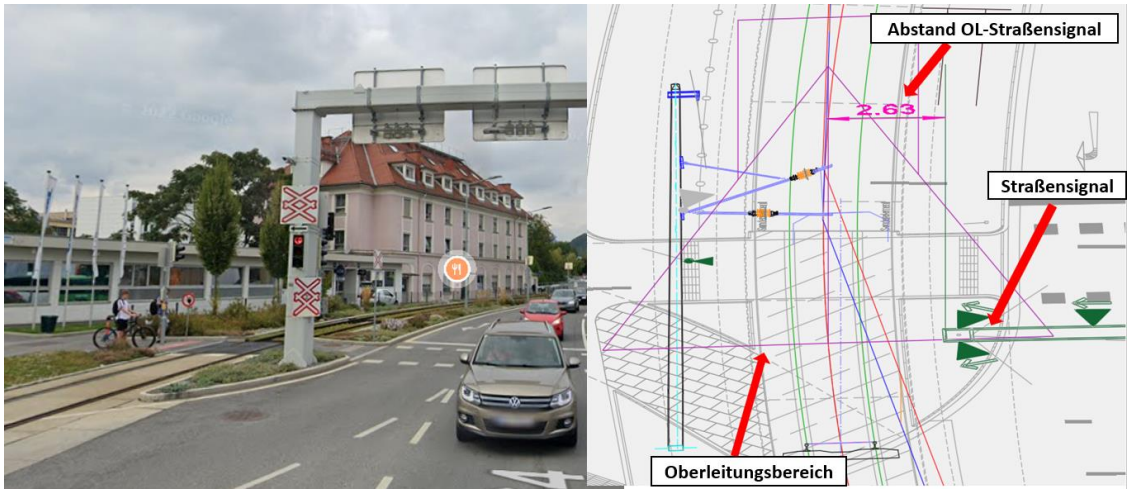


Abbildung 66: Eisenbahnkreuzung „Doktor-Karl-Wildmann-Straße“ (km 15,650)[187]

4.6.12 Betrachtung der Situation an der Straße B64

Während der Projektierung der Oberleitung stellte sich die Situation entlang der Straße B64 als zusätzliches Hindernis für die Elektrifizierung des Abschnitts „Weiz Stadt“ heraus. Das folgende Kapitel geht detailliert auf die Problemstellungen ein und betrachtet die mit der Elektrifizierung verbundenen Herausforderungen.

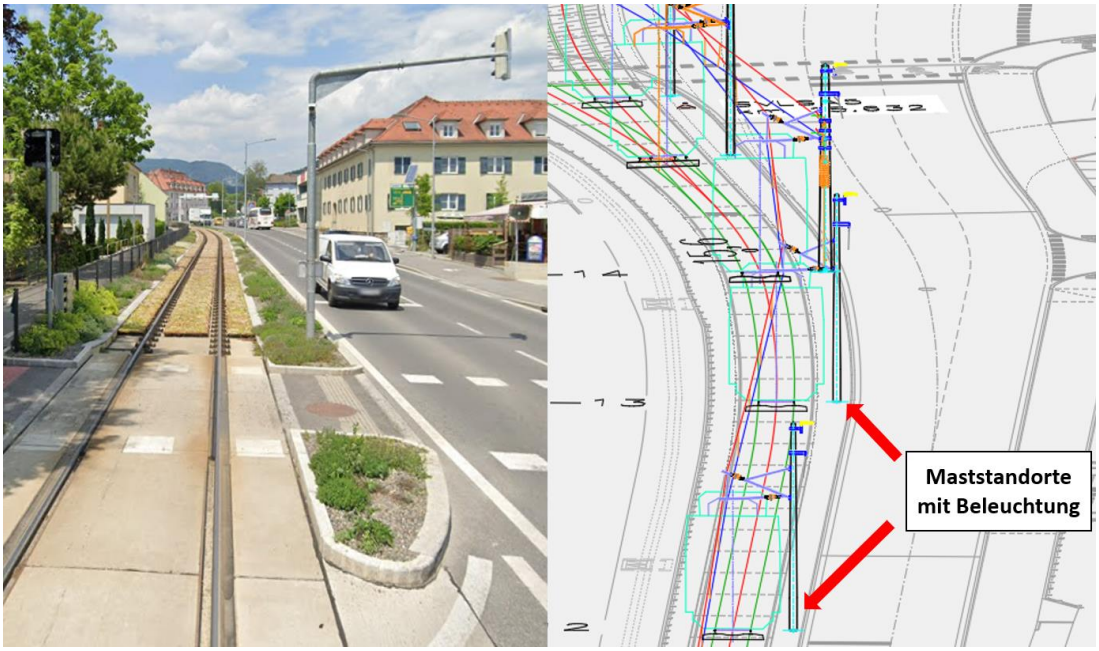


Abbildung 67: Situation an der Straße B64[188]

[187] Quelle: Google Street View, (05.06.2023) und eigene Abbildung mittels FLTG.
[188] Quelle: Google Street View, (05.06.2023) und eigene Abbildung mittels FLTG.

Wie in Abbildung 67 deutlich wird, liegt zwischen der Eisenbahninfrastruktur und der Straßenanlage nur ein schmaler Streifen Bankett. Dieser Streifen musste in der Oberleitungsplanung als Mastgasse für die Oberleitung des Streckenabschnitts berücksichtigt werden.

Die 3D-Simulation ermöglichte eine präzise Bestimmung der Position der Oberleitungsmasten. Im Zuge dessen wurde der Vorschlag gemacht, die bestehende Straßenbeleuchtung aufgrund des beengten Raums zu entfernen und alternativ an den Oberleitungsmasten zu befestigen.

Um die Oberleitungsmasten, die im Bereich der Straße platziert werden, vor möglichen Schäden durch Kraftfahrzeuge zu schützen, wird ein Schutz durch Radabweiser oder Leitschienen vorgeschlagen. Abbildung 68 zeigt eine mögliche Umsetzung einer Leitschiene, speziell für den Schutz der Oberleitungsmasten.

Abbildung 68: Anprallschutz von Oberleitungsmaste[189]

Ein weiterer Konfliktpunkt in der Oberleitungsplanung ist die bestehende Straßenentwässerung. Die Entwässerung befindet sich in der vorgesehenen Mastgasse, was eine Neuplanung erforderlich macht. Wie in Abbildung 69 zu sehen ist, wird vorgeschlagen, die Entwässerungsrinne vom Bankett zu entfernen und auf dem gleichen Niveau der Fahrbahn zu integrieren.

[189] Quelle: Eigene Aufnahme, (03.07.2023) und roleit.de, (03.07.2023).

Abbildung 69: Situation der Straßenentwässerung[190]

4.6.13 Betrachtung der Einbauten und bestehender Kabelwege

Bei der Planung der Elektrifizierung einer Eisenbahnstrecke sind neben den technischen Aspekten auch die räumlichen Gegebenheiten von besonderer Bedeutung. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Integration der Oberleitungsanlage in die bestehende Infrastruktur.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt bei der Projektierung der Oberleitung ist die Gewährleistung, dass die Oberleitungsmasten und ihre Fundamente keine Kollisionen mit den Einbauten der existierenden Infrastruktur verursachen. Dank der 3D-Simulation mittels FLTG konnten potenzielle Kollisionen der Oberleitungsanlage mit bereits bestehenden Einbauten und Kabelwegen frühzeitig identifiziert werden. Das ermöglichte es, rechtzeitig Lösungsstrategien zu entwickeln.

Abbildung 70 gibt einen Überblick über die räumlichen Gegebenheiten und die Lage der Einbauten. Es wurde festgestellt, dass am Mast WZN-07 eine Kollision des Mastes mit einem Kabelschacht besteht. Ebenso besteht am Mast WZN-09 ein Kollisionsproblem mit einem Kabeltrog. Aufgrund dieser Erkenntnisse werden im Zuge der Fundierungsarbeiten notwendige Umbaumaßnahmen an den Kabelwegen erforderlich sein, um eine sichere und reibungslose Elektrifizierung der Strecke „Weiz Stadt“ zu gewährleisten.

[190] Quelle: Google Street View, (05.06.2023) und hydrotec.com, (07.06.2023).

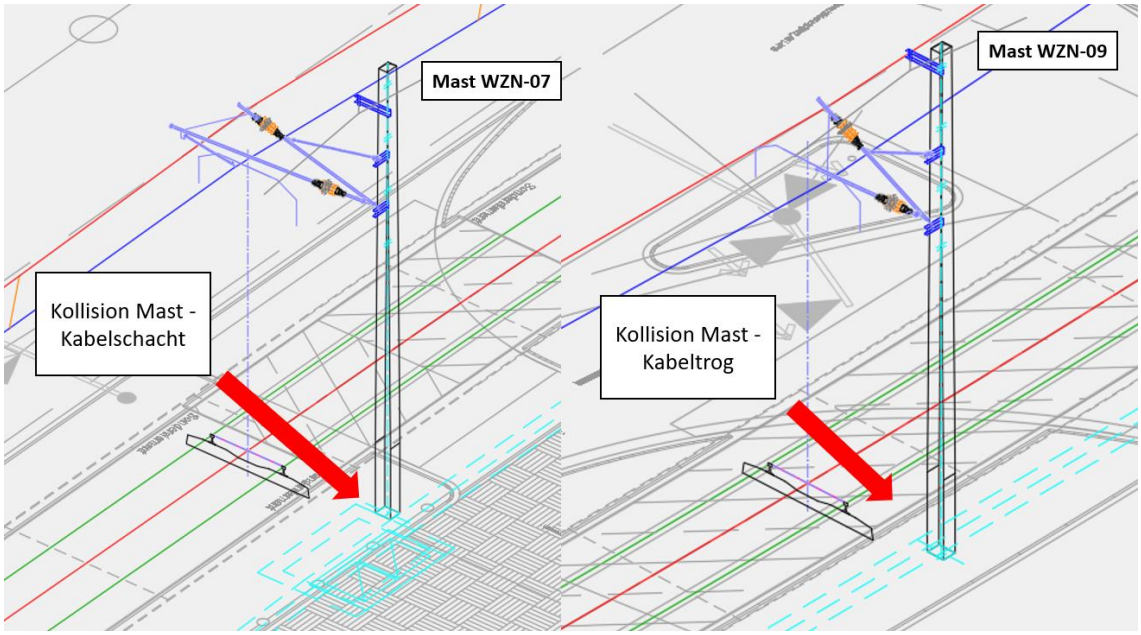


Abbildung 70: Situation Mast WZN-07 und WZN-09[191]

4.6.14 Betrachtung der Beleuchtung

Dieses Kapitel widmet sich der Beleuchtung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt“, da diese direkt mit der Platzierung und Auswahl der Oberleitungsmasten verbunden ist.

Gemäß den Vorgaben des ÖBB-Regelwerks wird die Beleuchtung der Eisenbahninfrastruktur im Streckenabschnitt „Weiz Stadt“ an den Oberleitungsmasten der Weichen WZN-03 und WZN-15 situiert.[192] Dies ist insbesondere wichtig, da hierbei eine gute Ausleuchtung des Weichenbereichs notwendig ist.

Ein herausfordernder Aspekt der Planung besteht in der derzeitigen Positionierung der Straßenbeleuchtung, die sich in Teilen mit der Mastgasse der Oberleitungsmasten überschneidet. Ein Lösungsansatz besteht darin, die Straßenbeleuchtung entlang der Straße B64 an den Oberleitungsmasten zu positionieren. Dieser Ansatz würde nicht nur eine effiziente Raumnutzung fördern, sondern auch eine angemessene Ausleuchtung der Straßeninfrastruktur sicherstellen. Hierbei ist im Zuge der Fundierungsarbeiten auf die bereits vorhandenen Kabelanlagen für die Anspeisung der Straßenbeleuchtung im Erdreich zu achten

Die Planungssoftware FLTG wird eingesetzt, um die Beleuchtung als Bauelement zu definieren und die richtige Höhe der Beleuchtung gemäß ÖBB-Regelwerk zu bestimmen. Dabei ist es wichtig, die korrekte Integration der Beleuchtung in die bestehende Oberleitungsanlage sicherzustellen und potenzielle Konflikte zwischen den verschiedenen Bauteilen zu vermeiden.

[191] Quelle: Eigene Darstellung mittels FLTG.
[192] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 12.10.01, 2010, S.68.

Abbildun 71 zeigt die örtlichen Gegebenheiten der Straßenbeleutug sowie die Oberleitunsplanung.

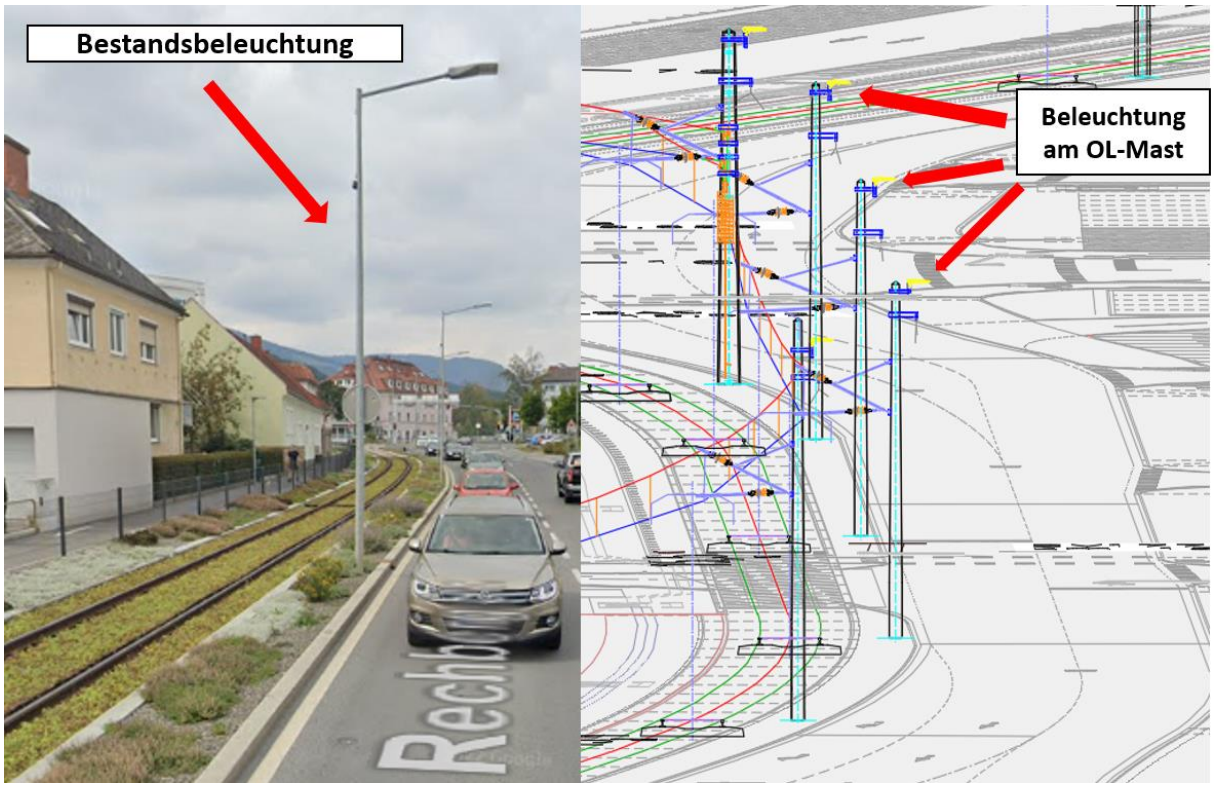


Abbildung 71: Situation der Straßenbeleuchtung entlang der B64[193]

4.6.15 Fazit Projektierung der Oberleitung

Die Elektrifizierung des Abschnitts „Weiz Stadt“ stellt eine beachtliche technische Herausforderung dar, die durch präzise Planung und moderne Technologien bewältigt werden kann.

Mittels 3D-Simulationen konnten sowohl die Interaktion zwischen Oberleitung und Stromabnehmer als auch potenzielle Konfliktpunkte des Streckenabschnitts präzise modelliert und analysiert werden. Die Oberleitungsprojektierungssoftware FLTG hat sich dabei als wertvolles Werkzeug herausgestellt. Sie ermöglichte eine genaue Planung der Oberleitungsanlage unter Berücksichtigung aller elektrotechnischen und sicherheitstechnischen Abstände. Insbesondere die beengten Platzverhältnisse im Abschnitt „Weiz Stadt“ stellten eine große Herausforderung dar.

In diesem Kontext spielte die 3D-Simulation mittels FLTG eine entscheidende Rolle. Sie trug wesentlich zur technischen Realisierung der Oberleitungsanlage bei, insbesondere an

[193] Quelle: Eigene Darstellung mittels FLTG.

kritischen Punkten wie Eisenbahnkreuzungen. Weiterhin konnte durch sie die Oberleitungsanlage direkt in den Bestandsplan des Streckenabschnitts integriert werden, was einen ganzheitlichen Blick auf den Streckenverlauf ermöglichte. Dieser umfasste sowohl die bestehende Infrastruktur als auch die neu geplante Oberleitungsanlage.

In verschiedenen Bereichen, wie dem Oberleitungs- und Stromabnehmerbereich, der Rückstromführung, Bahnerdung, Schutzmaßnahmen und Signaltechnik, war eine sorgfältige Abstimmung und Planung unerlässlich. Das unterstreicht die Bedeutung einer umfassenden Vorbereitung und einer interdisziplinären Zusammenarbeit, um während des Elektrifizierungsprozesses Sicherheit und Funktionalität zu gewährleisten. Es müssen nicht nur technische und sicherheitstechnische Vorgaben berücksichtigt werden, sondern auch die spezifischen Herausforderungen jedes Streckenabschnitts.

Eine besondere Herausforderung war die Integration der Elektrifizierung in die bestehende Infrastruktur, wie Haltestellen, Eisenbahnkreuzungen, Leit- und Sicherungsanlagen sowie Straßensignalanlagen. Die Nähe zur Straße B64 erforderte innovative Lösungen.

Wichtige leitfähige Teile im Bahnbereich, vor allem im Abschnitt „Weiz Stadt“, wurden durch die 3D-Simulation identifiziert und entsprechende Erdungsmaßnahmen festgelegt. Durch die Simulation konnte ein harmonisches Zusammenspiel von Stromabnehmer und Oberleitung sichergestellt werden. Die Auswahl der Gründungen konnte ebenfalls von FLTG erleichtert werden. Nach Bestimmung des Fundamenttyps kalkulierte die Software automatisch die richtige Dimensionierung. Schließlich integrierte die Simulation ein detailliertes Lichtraumprofil, das die genaue Positionierung der Oberleitungsmaste sicherstellte.

Die Umsetzung der Erdungskonzepte und Sicherheitsmaßnahmen ist essenziell für einen zuverlässigen Betrieb. Die Planung und Umsetzung der Elektrifizierung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt“ zeigt, wie wichtig es ist, Sicherheit, Funktionalität und Infrastrukturanforderungen zu kombinieren.

Abschließend zeigt die umfassende Untersuchung dieses Kapitels, dass die Elektrifizierung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt“, trotz zahlreicher Herausforderungen, realisierbar ist. Das Projekt unterstreicht die Bedeutung sorgfältiger Planung, moderner Technologie und konstanter Beachtung von Sicherheitsstandards.

4.7 Oberleitungstechnische Projektunterlagen

In diesem Kapitel werden die oberleitungstechnischen Projektunterlagen behandelt, die für die Materialermittlung, Montage und Instandhaltung von Oberleitungsanlagen unerlässlich sind.

Während des Planungsprozesses erstellt der Oberleitungsplaner die oberleitungstechnischen Projektunterlagen. Sie stellen ein wesentliches Instrument dar, um die spezifischen Anforderungen und Bedürfnisse des Projekts zu erfüllen. Diese Unterlagen enthalten wichtige technische Details und Spezifikationen, die die Implementierung und Wartung des Systems erleichtern.

Für den Streckenabschnitt „Weiz Stadt“ wurden im Rahmen der Elektrifizierung folgende Unterlagen vorbereitet:

- **Oberleitungsschaltplan:** Ein detaillierter Schaltplan, der die elektrische Anordnung der Oberleitungsanlage aufzeigt.
- **Oberleitungslageplan:** Dieser Plan informiert über die genaue Lage und Anordnung der Oberleitung des Streckenabschnitts.
- **Querprofile der einzelnen Masten:** Diese Profile zeigen den Querschnitt der Masten und enthalten wichtige Informationen über deren Aufbau.
- **Mastverzeichnis:** Eine vollständige Auflistung aller Masten, inklusive spezifischer Details, die für den Bau benötigt werden.
- **Fundierungsverzeichnis:** Dieses Verzeichnis enthält Informationen zur Gründung der Masten.
- **Materialstückliste:** Eine umfassende Liste aller Materialien, die für die Errichtung der Oberleitungsanlage benötigt werden, einschließlich Hauptkomponenten, Kleinmaterialien und Verbrauchsmaterialien.

4.7.1 Oberleitungslageplan „Weiz Stadt“

Der Oberleitungsplan für den Streckenabschnitt „Weiz Stadt“ wird im Folgenden erläutert, wobei der von der STLB bereitgestellte Gleislageplan als Grundlage dient.

Der Oberleitungsplan für „Weiz Stadt“ enthält dabei folgende spezifische Details:

- Fahrdrahtführung, Abspannungen und Festpunkte,
- Fahrdrahtseitenlage,
- Längsspannweite,
- Elektrische Trennungen,
- Ausführung der Oberleitungsstützpunkte,
- Masten mit Mastnummern,

- Oberleitungsschalter mit Nummer und Art des Antriebs,
- Signale für den elektrischen Betrieb,
- Kommentare und Legenden.

Der Oberleitungslageplan veranschaulicht die Führung der Kettenwerke in einem verzerrten Maßstab. Aus ihm können die Seitenverschiebung des Fahrdrahts, die Längsspannweite und die Stützpunktart entnommen werden. Oberleitungslagepläne sind nicht nur für die Oberleitungsmontage wichtig, sondern auch zur Wiederherstellung des Kettenwerks nach möglichen Schäden.

Alle Anlagenteile sind im Oberleitungslageplan durch Sinnbilder dargestellt, die in der Legende des Plans detailliert erläutert werden. Die Spannweiten, welche den Abstand zwischen benachbarten Masten bestimmen, sind im Lageplan eingetragen. Die Lage der Oberleitung, die Oberleitungsstützpunkte und die Masten sind gemäß den Symbolen des ÖBB-Regelwerks im Lageplan zu kennzeichnen.

Abbildung 72 veranschaulicht einen Ausschnitt des Oberleitungsplans der Eisenbahnstrecke „Weiz Stadt“ an der Anschlussbahn „Andritz Hydro Nord“. Der komplette Oberleitungsplan des Streckenabschnitts „Weiz Stadt“ ist im Anhang 8 der Masterarbeit dargestellt.

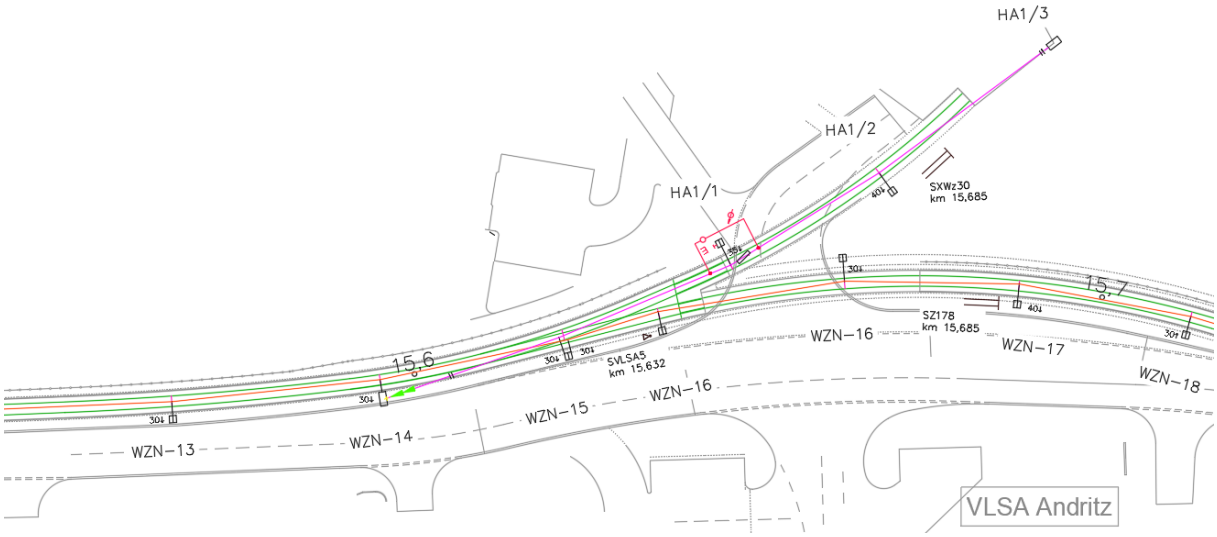


Abbildung 72: Ausschnitt des Oberleitungsplans der Strecke „Weiz Stadt“[194]

[194] Quelle: Eigene Darstellung.

4.7.2 Querprofile

Für die Elektrifizierung der Eisenbahnstrecke „Weiz Stadt“ wurden für jeden einzelnen Oberleitungsstützpunkt Querprofile erstellt. Diese veranschaulichen den Oberleitungsmast, dessen Stützpunkt sowie die Anordnung der Leitungen im Querschnitt. Die Profile sind unerlässlich für die korrekte Materialermittlung, die präzise Montage und die fortlaufende Instandhaltung der Oberleitungsanlage.

Durch die Verwendung der Software FLTG können Querprofile generiert werden, die folgende wesentliche Informationen für den Bau von Oberleitungsanlagen enthalten:

- Mastnummer
- Fahrdrahthöhe
- Systemhöhe
- Fahrdrahtseitenlage
- Parameter des Auslegers und Seitenhalters
- Höhe der Armaturen für die Montage

In der Abbildung 73 ist das Querprofil des Mast WZN-01 dargestellt.

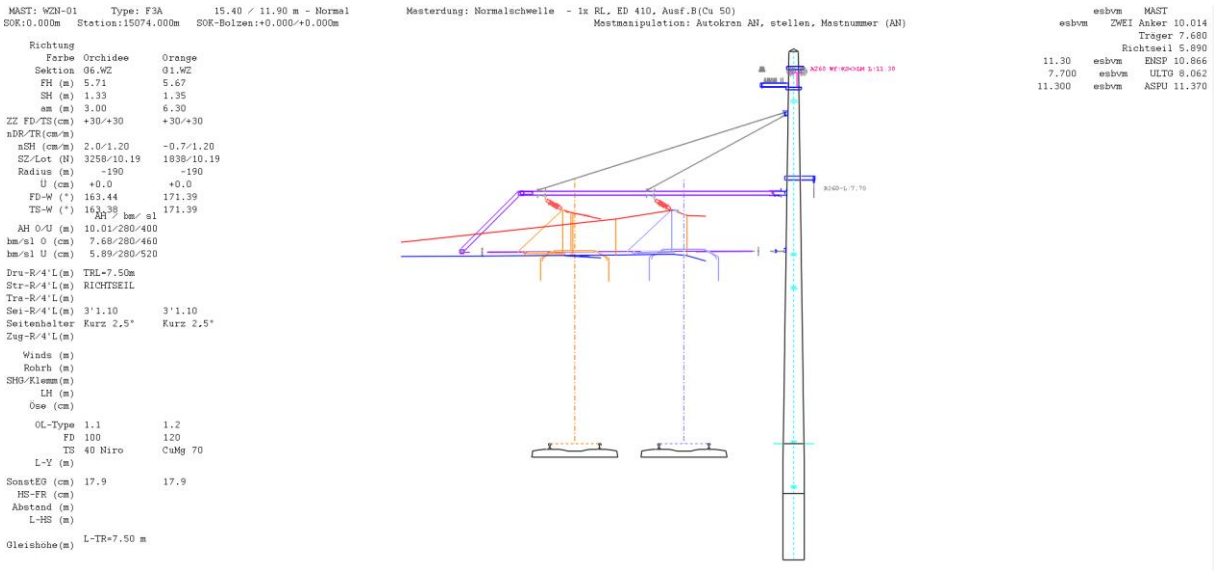


Abbildung 73: Querprofil Mast WZN-01[195]

[195] Quelle: Eigene Darstellung mittels FLTG.

Die vollständigen Querprofile aller Oberleitungsmaste des Streckenabschnitts finden sich im Anhang 3 dieser Masterarbeit. Sie bieten eine umfassende Übersicht über die konkrete Umsetzung dieser zentralen Komponente des Elektrifizierungsprojekts.

4.7.3 Mastverzeichnis

Die Elektrifizierung eines Eisenbahnstreckenabschnitts, wie im Fall von „Weiz Stadt“, erfordert detaillierte und präzise Planungsunterlagen. Ein solches Dokument ist das Mastverzeichnis, das eine spezifische Übersicht über die verwendeten Oberleitungsmaste bzw. Oberleitungsstützpunkte liefert. Diese Dokumentation ist sowohl in der Planungsphase als auch während der Herstellungsarbeiten der Oberleitungsmaste unerlässlich. In diesem Unterkapitel wird das Mastverzeichnis näher erläutert.

Das Mastverzeichnis wird vom Oberleitungsplaner erstellt und ist für jeden Lageplan getrennt als tabellarische Aufstellung zu organisieren. Es bietet eine detaillierte Beschreibung der folgenden Aspekte:

- **Mastnummer:** Identifizierungsnummer für jeden einzelnen Oberleitungsstützpunkt.
- **Maststandort:** Detaillierte Angaben zur Position des Mastes relativ zum Gleis, einschließlich Abstand, Lage, Bezugsgleisnummer und Bogenradius.
- **Bauform und Richtung des Oberleitungsmastes:** Gibt an, um welche Mastart es sich handelt und ob der Mast normal („N“) oder parallel („P“) zur Gleisachse steht.
- **Längenangaben:** Angabe zur Gesamtlänge des Mastes, der Länge über und unter der Schienenoberkante (SOK).
- **Fundamentangaben:** Enthält Informationen zur Art der Gründung und den Abstand von Schienenoberkante zu Fundamentoberkante (FOK).
- **Fahrdrahthöhe:** Angabe für die Oberleitungsmontage.
- **Ausführung der Leitungen am jeweiligen Mast**: Gibt an, ob es sich am Mast eine Bahnhofsumgehungsleitung (U), Verstärkungsleitung (V), Speiseleitung (S) oder Rückleitung (R) handelt.
- **Zusätzliche Anmerkungen:** Hier werden spezielle Merkmale wie Abspannung, Einspeisung, Lichtpunkthöhe der Beleuchtungen usw. festgehalten.[196]

Abbildung 74 veranschaulicht das speziell für den Streckenabschnitt „Weiz Stadt“ erstellte Mastverzeichnis. Eine vollständige Darstellung befindet sich im Anhang 5 dieser Masterarbeit.

[196] Quelle: ÖBB-Regelwerk Einheitsdarstellungen Band III, 2021, ED 40, S.5.

FH St. Pölten

Planung Oberleitung

MASTVERZEICHNIS

Streckenabschnitt "Weiz Stadt"

Strecke: Gleisdorf -Weiz

von km 15.077 - km 15.846

Bearbeiter: Zechner

Mastnummer	Standort				Mast		Mastlängen			Fundament		FH	Leitungen	Anmerkung
	AX-MVK	o	zu Gleis	Radius	Normal/	Bauform	Gesamt	über SOK	unter SOK	SOK-FOK	BF		U/V/S/R	
	[m]	u		[m]	Parallel		[m]	[m]	[m]	[cm]		[m]		
WZN-01	3,00	u	174	190	N	F3A	15,40	11,90	3,50	150	R	5,50	S/R	Einspeisung
WZN-02	3,00	u	174	190	N	F3A	14,40	10,90	3,50	150	R	5,50	R	
WZN-03	2,60	u	174	170	N	F3A	13,40	9,90	3,50	150	R	5,50	R	LPH9,0m
WZN-04	2,94	u	174	170	N	F3A	13,40	9,90	3,50	35	H	5,50	R	LPH9,0m
WZN-05	2,96	u	174	250	N	F3A	13,40	9,90	3,50	150	R	5,50	R	LPH9,0m
WZN-06	2,80	o	175	190	N	NS6	11,85	8,95	2,90	150	R	5,50	R	
WZN-07	2,80	o	175	Gerade	N	NS6	11,85	8,95	2,90	35	H	5,50	R	
WZN-08	3,01	o	175	Gerade	N	NS6	11,85	8,95	2,90	150	R	5,50	R	
WZN-09	2,50	o	176	300	N	NS6	11,85	8,95	2,90	150	R	5,50	R	

Abbildung 74: Mastverzeichnis „Weiz Stadt"[197]

4.7.4 Fundierungsverzeichnis

Das Fundierungsverzeichnis dient als grundlegende Projektunterlage, die für die Herstellungsarbeiten der Gründungen der Oberleitungsmaste unerlässlich ist. Diese Unterlage dient als strukturierte Übersicht über die Fundamente der Oberleitungsmaste und ist für den Streckenabschnitt „Weiz Stadt" sorgfältig erstellt worden.

Das Fundierungsverzeichnis ist eine tabellarische Aufstellung, die wichtige Angaben zu den Oberleitungsmasten und den jeweiligen Gründungen enthält:

- **Mastnummer:** Jeder Oberleitungsstützpunkt erhält eine eigene Identifizierungsnummer.
- **Bauform und Richtung:** Diese Angaben klassifizieren die Mastart und die Ausrichtung, ob normal („N") oder parallel („P") zur Gleisachse.
- **Maststandort:** Präzise Informationen zur Position des Mastes, einschließlich Koordinaten und kilometergenauer Lage.
- **Fundamentangaben:** Angaben zum Abstand zwischen Schienenoberkante und Fundamentoberkante sowie zur genauen Lage von SOK und FOK.
- **Bodenangaben:** Detaillierte Informationen zur Bodenbeschaffenheit, einschließlich Bodengruppe und Grundwassergehalt.
- **Zusätzliche Anmerkungen:** Hier werden spezielle Charakteristika festgehalten, wie z.B. Abspannung, Einspeisung, Lichtpunkthöhe der Beleuchtungen.
- **Angaben zum Rammfundament:** Angaben zum Pfahltyp und zur Pfahllänge sind in diesem Abschnitt enthalten.
- **Angaben zum Ortbetonfundament:** Diese umfassen die Länge, Breite und Höhe des Fundaments.[198]

[197] Quelle: Eigene Darstellung.
[198] Quelle: ÖBB-Regelwerk Einheitsdarstellungen Band III, 2021, ED 40, S.6.

FH St. Pölten — **FUNDIERUNGSVERZEICHNIS** — Strecke: Gleisdorf -Weiz

Streckenabschnitt "Weiz Stadt" — von km 15.077 - km 15.846

Planung Oberleitung — Bearbeiter: Zechner

Mastnummer	Mast		Standort						Fundamentangaben			Bodenangaben		Anmerkung	Rammfundament		Hohl- u. Blockfundament		
	Normal	Bauform	AX-MVK	AX-MM	zu Gleis	km-Angabe	Mastmittelpunkt		SOK-FOK	SOK	FOK	Bodengruppe	Wasser		Pfahltype	Pfahllänge	Länge	Breite	Tiefe
	Parallel		[m]	[m]			Y	X	[cm]	[m.ü.A.]	[m.ü.A.]		%			[m]	bx [m]	by [m]	t [m]
WZN-01	N	F3A	3,00	3,35	174	15.074	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	150	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	100	Einspeisung	400	5,5			
WZN-02	N	F3A	3,00	3,35	174	15.102	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	150	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	100		400	5,5			
WZN-03	N	NS6	2,60	2,76	174	15.132	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	150	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	100	LPH9,0m	400	5,5			
WZN-04	N	F3A	2,94	3,28	174	15.161	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	35	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	100	LPH9,0m			4,20	4,20	2,30
WZN-05	N	F3A	2,80	2,96	174	15.189	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	150	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	100	LPH9,0m	400	5,5			
WZN-06	N	NS6	2,80	2,96	175	15.215	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	150	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	100		350	5			
WZN-07	N	NS6	2,80	2,96	175	15.246	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	35	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	100				1,70	1,70	2,30
WZN-08	N	NS6	3,00	3,16	175	15.316	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	150	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	100		350	5			
WZN-09	N	NS6	2,50	2,66	176	15.362	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	150	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	100		350	5			
WZN-10	N	NS6	2,50	2,66	176	15.411	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	150	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	100	LPH9,0m	350	5			
WZN-11	N	NS6	2,50	2,66	176	15.456	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	150	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	100	LPH9,0m	350	5			
WZN-12	N	NS6	2,40	2,56	177	15.512	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	35	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	100	LPH9,0m			1,70	1,70	2,30

Abbildung 75: Fundierungsverzeichnis „Weiz Stadt"[199]

Abbildung 75 bietet eine visuelle Darstellung des Fundierungsverzeichnisses für „Weiz Stadt“, während das vollständige Verzeichnis im Anhang 6 der Masterarbeit zu finden ist.

4.7.5 Fazit Oberleitungstechnische Projektunterlagen

Die Elektrifizierung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt" erforderte umfassende oberleitungstechnische Projektunterlagen, die sowohl in der Planungsphase als auch in der Umsetzungs- und Wartungsphase von entscheidender Bedeutung sind. Diese Unterlagen wurden sorgfältig im Zuge der Oberleitungsplanung erstellt, um sicherzustellen, dass alle projektbezogenen Anforderungen erfüllt sind. Zu den wichtigsten Dokumenten gehören der Oberleitungsschaltplan, der Lageplan, Querprofile, das Mastverzeichnis und das Fundierungsverzeichnis. Jede dieser Unterlagen bietet detaillierte technische Informationen, die für eine korrekte Montage und Wartung der Anlagen notwendig sind. Es ist jedoch wichtig zu betonen, dass einige Daten, insbesondere in Bezug auf die Fundierung, auf Annahmen beruhen und nicht auf konkreten Vermessungen oder geologischen Untersuchungen

4.8 Zusätzliche Herausforderungen der Elektrifizierung

Die Elektrifizierung einer Eisenbahnstrecke ist ein komplexes Unterfangen, das weit über den reinen baulichen Aspekt hinausgeht. Dieses Kapitel widmet sich den zusätzlichen Herausforderungen, die bei der Elektrifizierung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt“ zu berücksichtigen sind und hebt die Bedeutung einer gut durchdachten und koordinierten gesamtheitlichen Betrachtung hervor.

- **Elektromagnetische Verträglichkeit:** Es ist von Bedeutung, die durch die Oberleitungsanlage erzeugten, elektromagnetischen Felder in Bezug auf Menschen und technische Anlagen zu untersuchen. Dabei muss sichergestellt werden, dass

[199] Quelle: Eigene Darstellung.

durch die Oberleitungsanlage keine gesundheitlichen Risiken oder technischen Störungen entstehen.

- **Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP):** Bei jedem großen Bauprojekt sind die Umweltauswirkungen zu berücksichtigen. Eine UVP ermöglicht es, potenzielle Umweltprobleme frühzeitig zu identifizieren und geeignete Schutzmaßnahmen zu planen.
- **Grunderwerb:** Der Prozess des Erwerbs notwendiger Grundstücke und die Klärung von Eigentumsrechten sind in der Planungsphase zu berücksichtigen.
- **Kabel und Leitungen Dritter:** Eine sorgfältige Planung und Koordination mit anderen Behörden und Organisationen ist notwendig, wenn es darum geht, bestehende Infrastrukturen wie Kabel, Leitungen, Straßen und Wege zu berücksichtigen.
- **Vermessungstätigkeiten:** Um die genaue Lage der Maste und Gründungen zu gewährleisten und zu dokumentieren, sind Vermessungen vor, während und nach der Bauphase erforderlich.
- **Geologische Untersuchung:** Für die korrekte Ausführung und Dimensionierung der Gründungen ist die Untersuchung der Bodenbeschaffenheit unerlässlich.
- **Kampfmitteltechnische Untersuchung:** Diese Untersuchung dient der Sicherstellung, dass im Baugrund keine Kampfmittel vorhanden sind.
- **Erdungs- und Hochspannungsprüfung:** Diese Überprüfungen sind essenziell, um die Funktionalität sicherzustellen und die Sicherheit sowohl der Anlagen als auch der Benutzer zu gewährleisten.
- **Erschütterungstechnische Maßnahmen**: Um mögliche Auswirkungen des Rammverfahrens auf nahegelegene Gebäude zu dokumentieren, sind bestimmte Maßnahmen erforderlich. Dies dient der Vorbeugung von Streitigkeiten und möglichen gerichtlichen Verhandlungen.
- **Bodenchemische Untersuchung:** Ein wichtiger Aspekt des Projekts ist die Beurteilung von Altlasten im Baugrund sowie die sachgemäße Entsorgung von Aushub- und Abbruchmaterial.
- **Behördenverfahren und Bauabwicklung:** Eine korrekte Durchführung und Abwicklung von Behördenverfahren ist für Infrastrukturprojekte essenziell.
- **Bauablauf, Termin- und Zeitplan:** Die erfolgreiche Umsetzung des Projekts hängt von der Koordination der verschiedenen Arbeitsphasen, der Einhaltung des Zeitplans und der Reaktion auf unerwartete Verzögerungen ab.

4.8.1 Elektromagnetische Verträglichkeit

Die Elektrifizierung von Eisenbahnstrecken, wie der von „Weiz Stadt“, bringt neben technischen und baulichen Herausforderungen auch potenzielle elektromagnetische Auswirkungen mit sich. Diese Auswirkungen, insbesondere auf Menschen, Tiere und die Umwelt, müssen bei der Planung und Implementierung solcher Projekte berücksichtigt werden.

Die Betrachtung der elektromagnetischen Verträglichkeit von Elektrifizierungsprojekten bezieht sich auf die Auswirkungen auf Menschen, die Umwelt und technische Systeme und folgt dabei den bestehenden gesetzlichen Vorschriften. Innerhalb dieser Masterarbeit war es nicht möglich, eine ausführliche Untersuchung zur elektromagnetischen Verträglichkeit des Streckenabschnitts vorzunehmen. Trotzdem konnte die Beurteilung der elektrischen und magnetischen Felder von 16,7-Hz-Bahnanlagen im Bereich „Weiz Stadt“ durch die Verwendung eines Grundsatzgutachtens der TU-Graz erfolgen, das von den ÖBB in Auftrag gegeben wurde.

Für die Exposition von Personen durch elektrische und magnetische Felder von 50 Hz- und 16,7 Hz-Anlagen wurden Referenzwerte in den österreichischen Normen festgelegt. Die Einhaltung dieser Werte stellt sicher, dass keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen auftreten. Abbildung 76 veranschaulicht die Grenzwerte.

Frequenz Hz	Referenzwerte			Basiswerte
	Elektrische Feldstärke (Effektivwert) E in kV/m	Magnetische Feldstärke (Effektivwert) H in A/m	Magnetische Flussdichte (Effektivwert) B in µT	Stromdichte für Kopf und Rumpf (Effektivwert) S in mA/m²
16,7	10	240	300	2
50	5	80	100	2

Abbildung 76: Referenz- und Basiswerte für die Allgemeinbevölkerung in 16,7 Hz und 50 Hz Felder[200]

Maßnahmen, um die magnetischen Felder zu minimieren, umfassen:

- **Abstand:** Einfacher Schutz durch Distanz.
- **Leiterführung:** Das möglichst enge Nebeneinanderlegen von Hin- und Rückleitern eines Stromkreises. Ein Rückleiter kann das Feld um bis zu 30 % reduzieren.
- **Abschirmung:** Physikalische Barrieren können dazu beitragen, das Feld zu begrenzen. [201]

[200] Quelle: Schmautzer, 2009, S.411
[201] Vgl.: ÖBB-Schulungsunterlagen EN 15, 2019, S15.

Im Grundsatzgutachten wurden verschiedene Elektrifizierungsszenarien betrachtet. Für diese Masterarbeit sind insbesondere zwei Szenarien relevant:

- **Szenario 1:** Eine eingleisige Strecke ohne Rückleiter und ohne Verstärkungsleitung.
- **Szenario 2:** Eine eingleisige Strecke mit Rückleiter und ohne Verstärkungsleitung.

Wie in Abbildung 77 ersichtlich, wird in beiden Szenarien der Grenzwert von 2 mA/m^2 eingehalten. Der Vergleich beider Szenarien verdeutlicht, dass die Nutzung eines Rückleiters erheblich dazu beiträgt, die elektromagnetischen Einflüsse zu begrenzen.

Die elektromagnetische Verträglichkeit für die Elektrifizierung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt“ ist somit gegeben.

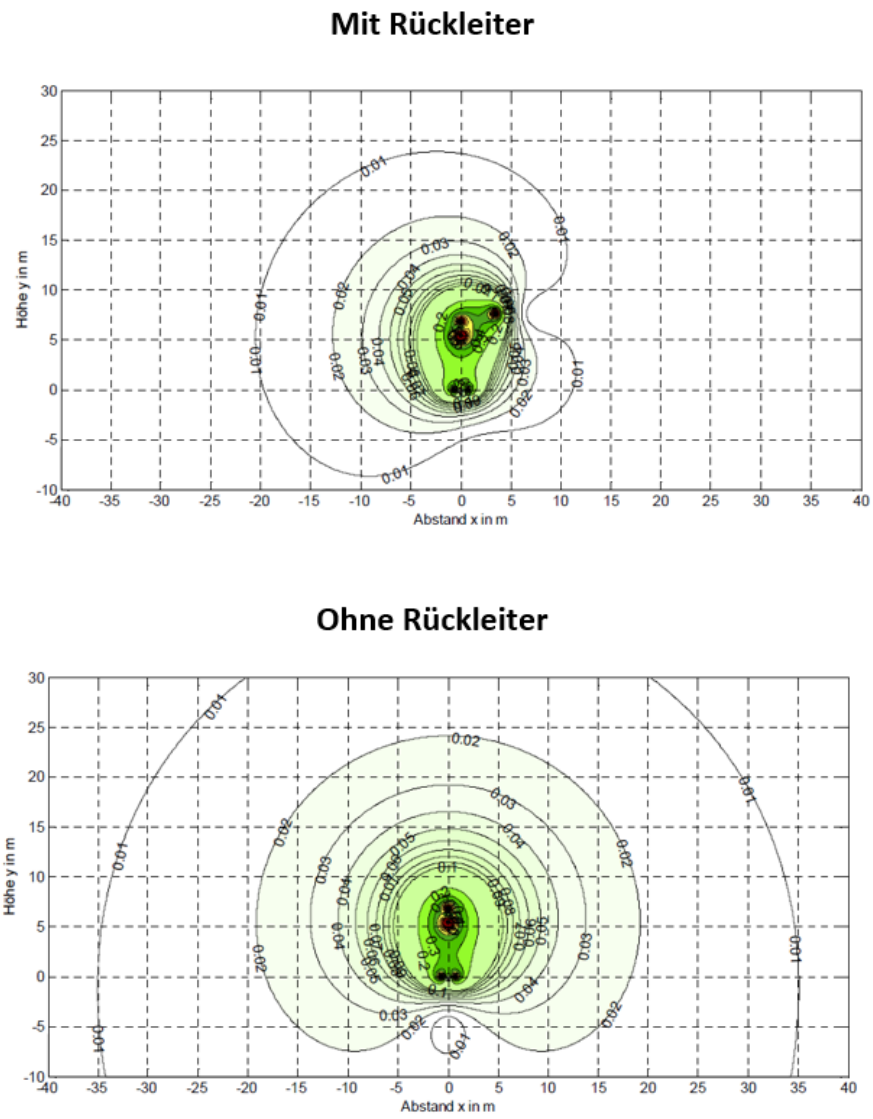


Abbildung 77: Expositionskoeffizient Elektromagnetischer Felder mit und ohne Rückleiter[202]

[202] Quelle: Schmautzer, 2009, S. 106 und 109.

4.8.2 Umweltverträglichkeitsprüfung UVP

Um die rechtlichen und umwelttechnischen Aspekte der Elektrifizierung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt“ zu begutachten, wurde eine Umweltverträglichkeitsprüfung in der Theorie durchgespielt. Alle notwendigen Informationen hierfür wurden in der Lehrveranstaltung Planung/Behördenverfahren für Eisenbahninfrastrukturprojekte sowie durch Eigenstudium im Rechtsinformationssystem RIS erworben.

Die Hauptfunktion der UVP ist die Ermittlung, Beschreibung und Bewertung der direkten und indirekten Auswirkungen eines Projekts auf die Schutzgüter gemäß UVP-G. Mit der Beteiligung der Bürger sollen im teilkonzentrierten Genehmigungsverfahren folgende Aspekte festgestellt und untersucht werden:

- Auswirkungen auf die Schutzgüter des UVP-G:
  - Mensch, Fauna und Flora
  - Boden, Wasser, Luft, Klima und Landschaft
  - Sachgüter und kulturelles Erbe
- Wechselwirkungen zwischen den oben genannten Faktoren
- Maßnahmen zur Minimierung der negativen und Verbesserung der positiven Auswirkungen
- Vor- und Nachteile der untersuchten Variante[203]

Für Eisenbahnprojekte ist die Unterscheidung zwischen teil- und vollkonzentrierten Genehmigungsverfahren wichtig. Das vollkonzentrierte Verfahren dauert länger und erfordert mehr organisatorischen Aufwand, was zu einer Verlängerung der Projektumsetzungszeit von bis zu einem Jahr führen kann.[204]

Die Bewertung der Auswirkungen auf die Schutzgüter erfolgte durch die Erstellung einer Relevanzmatrix. Der Kriterienkatalog, ersichtlich in Tabelle 4, reicht von „SEHR GUT“ (keine Auswirkungen) bis „SCHLECHT“ (sehr hohe Auswirkungen). Die Elektrifizierung wurde nach eigenen Ermessenskriterien bewertet, wobei die Oberleitung während des gesamten Lebenszyklus auf fast alle Schutzgüter geringfügige bis erhebliche Auswirkungen haben kann.

[203] Vgl.: ris.bka.gv.at, (05.12.2022).
[204] Vgl.: ris.bka.gv.at, (05.12.2022).

Kriterienkatalog		
SEHR GUT	5	keine Auswirkungen auf die Schutzgüter
GUT	4	geringe Auswirkungen auf die Schutzgüter
DURCHSCHNITT	3	mäßig Auswirkungen auf die Schutzgüter
MÄSSIG	2	hohe Auswirkungen auf die Schutzgüter
SCHLECHT	1	sehr hohe Auswirkungen auf die Schutzgüter

Tabelle 4: Kriterienkatalog Auswirkungen auf die Schutzgüter[205]

Die Bewertungsmatrix, ersichtlich in Tabelle 5, liefert detaillierte Ergebnisse für die verschiedene Phasen und Schutzgüter. Wesentliche Faktoren sind dabei die Gefahr des elektrischen Stroms, die Auswirkungen während des Baus und der Demontage der Infrastruktur sowie die Auswirkungen auf das Landschaftsbild durch eine Oberleitung.

Bewertungsmatrix Elektrifizierung „Weiz Stadt"					
Schutzgüter	**Errichtungsphase**	**Betriebsphase**	**Normalbetrieb**	**Störfall**	**Betriebsende**
Mensch	2	2	2	1	2
Fauna	3	4	4	1	3
Flora	4	5	4	4	4
Boden	4	5	5	4	4
Wasser	5	5	5	5	5
Luft	5	5	5	5	4
Klima	5	5	5	5	5
Landschaft	3	3	3	3	3
Sachgüter	3	3	3	3	3
kulturelles Erbe	4	4	4	4	4
Ergebnis	**3,8**	**4,1**	**4,0**	**3,5**	**3,7**

Tabelle: 5 Bewertungsmatrix Elektrifizierung „Weiz Stadt"[206]

[205] Quelle: Eigene Darstellung.
[206] Quelle: Eigene Darstellung.

Neben den zu Schützenden Gütern sind weitere Aspekte in einer Umweltverträglichkeitsprüfung zu beachten. Hierbei wird in ordentlichen teilkonzentrierten Genehmigungsverfahren und vereinfachten Genehmigungsverfahren unterschieden.

Ordentlichen teilkonzentrierten Genehmigungsverfahren sind folgende Vorhaben zu unterziehen:

- Der Neubau von Strecken oder Teilabschnitten für den Eisenbahn-Fernverkehr
- Der Neubau von anderen Eisenbahnstrecken oder deren Teilabschnitten, sofern sie eine durchgehende Länge von mindestens 10 km aufweisen
- Änderungen an bestehenden Eisenbahnstrecken oder deren Teilabschnitten, die sich über eine durchgehende Länge von mindestens 10 km erstrecken, vorausgesetzt, die Mitte des äußersten Gleises der veränderten Trasse ist mehr als 100 m von der Mitte des äußersten Gleises der ursprünglichen Trasse entfernt.[207]

Umweltverträglichkeitsprüfung im vereinfachten Genehmigungsverfahren sind folgende Vorhaben zu unterziehen:

- Modifikationen von Eisenbahn-Fernverkehrsstrecken, entweder durch Veränderung der Trasse oder durch Hinzufügung eines Gleises, und zwar jeweils über eine Strecke von weniger als 10 km.
- Der Neubau von Eisenbahnstrecken oder Teilabschnitten derselben, wenn diese ein schutzwürdiges Gebiet der Kategorien A, B, C oder E tangieren.
- Änderungen an Eisenbahnstrecken oder Teilabschnitten, falls die Mitte des äußersten Gleises der veränderten Trasse mehr als 100 m von der Mitte des äußersten Gleises der ursprünglichen Trasse entfernt liegt und ein schutzwürdiges Gebiet der Kategorien A, B, C oder E berührt.
- Modifikationen von Eisenbahnstrecken durch das Hinzufügen eines Gleises auf einer Strecke von mindestens 2,5 km, sofern ein schutzwürdiges Gebiet der Kategorien A, B oder C betroffen ist.
- Änderungen an Eisenbahnstrecken oder Teilabschnitten, die ein Verkehrsaufkommen von mindestens 60.000 Zügen pro Jahr haben (vor oder nach der Kapazitätserhöhung), indem die Zugkapazität um mindestens 25 % erhöht wird, falls ein schutzwürdiges Gebiet der Kategorie E berührt wird.[208]

Die Analyse ergab, dass weder ein ordentliches teilkonzentriertes noch ein vereinfachtes Genehmigungsverfahren für die Elektrifizierung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt“ erforderlich ist, da keine der beschriebenen Infrastrukturmaßnahmen notwendig ist. Die Bewertungsmatrix hat zusätzlich ergeben, dass die Elektrifizierung in allen Phasen nur mäßige bis geringe Auswirkungen auf die Schutzgüter hat.

[207] Vgl.: ris.bka.gv.at, (05.12.2022).
[208] Vgl.: ris.bka.gv.at, (05.12.2022).

4.8.3 Grunderwerb

Der Prozess des Grunderwerbs spielt eine wichtige Rolle bei der Planung und Durchführung von Infrastrukturprojekten. Insbesondere bei der Elektrifizierung der Eisenbahnstrecke "Weiz Stadt" stellt der Grunderwerb eine zentrale Herausforderung dar. Dieses Kapitel beleuchtet die spezifischen Prozesse, Herausforderungen und Überlegungen, die im Kontext der Elektrifizierung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt“ relevant sind.

Die Grundeinlöse ist Teil der Projektrealisierung und wird im Auftrag der Projektleitung der STLB durchgeführt, welche die Gesamtverantwortung für das Projekt trägt. Die STLB ist auch dafür verantwortlich, den unmittelbaren und mittelbaren Flächenbedarf zu bestimmen. Der Prozess kann in normales und vereinfachtes Verfahren unterteilt werden und erfolgt in vier Phasen:

- Phase 1 - Grundeinlöseplanung
- Phase 2 - Verhandlungsphase
- Phase 3 - Grundinanspruchnahme
- Phase 4 - Schlussvermessung[209]

Im Zuge der Oberleitungsplanung war die Standortfindung der Oberleitungsmaste aufgrund der beengten Platzverhältnisse besonders anspruchsvoll. Nach Überprüfung der Mastsituation wurde festgestellt, dass für 16 der 25 Maststandorte eine Grundeinlöse erforderlich ist. Dies kann ein langwieriger und aufwändiger Prozess sein, der den Bauablauf um bis zu ein Jahr verzögern kann. Daher strebt die STLB eine schnelle Lösung an. [210]

Darüber hinaus basieren die Einschätzungen bezüglich der Flächeninanspruchnahme der Gründungen ebenfalls auf Annahmen. Wie am Mast WZN-13 in Abbildung 78 deutlich wird, ist die Flächenanforderung für die Gründung stark von der gewählten Gründungsart abhängig. Ein Rampfahlfundament für einen F3A Mast beispielsweise nimmt nur etwa 0,7 m² in Anspruch, während das Ortbetonfundament für denselben Mast, je nach Bodenbeschaffenheit und Grundwassergehalt, bis zu 22 m² benötigen kann.

[209] Vgl.: Experteninterview Martin Waltl, 20.05.2023.
[210] Vgl.: Experteninterview Martin Waltl, 20.05.2023.

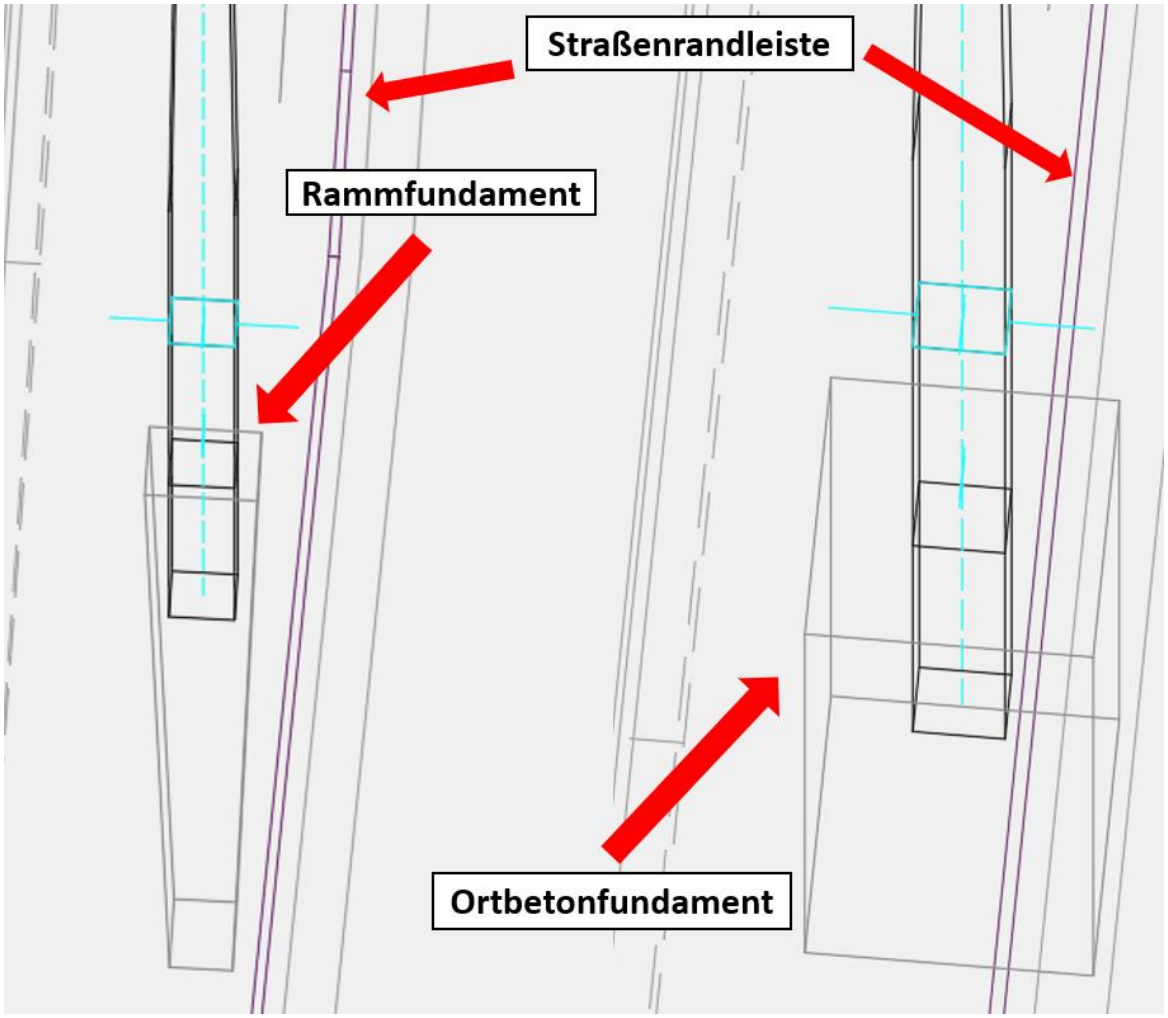


Abbildung 78: Vergleich der Gründungsarten anhand der Gründung des Mast WZN-13.[211]

Neben der Flächeninanspruchnahme für die Oberleitungsmasten und die Gründungen, ist auch die vorübergehende Flächeninanspruchnahme für Baustraßen und Baustelleneinrichtungsflächen für die Baustellenabwicklung an der B64 sowie den Gehwegen links der Bahn zu berücksichtigen.

Abbildung 79 veranschaulicht die Situation an Mast WZN-11. Abhängig von der Art der Gründung kann es erforderlich sein, umfangreiche Teile der Straße für die Errichtung der Gründungen zu nutzen. Dies sollte bereits in der Planungsphase berücksichtigt und mit der Stadt Weiz, dem Eigentümer des Grundstücks, vorab geklärt werden.

[211] Quelle: Eigene Darstellung mittels FLTG.

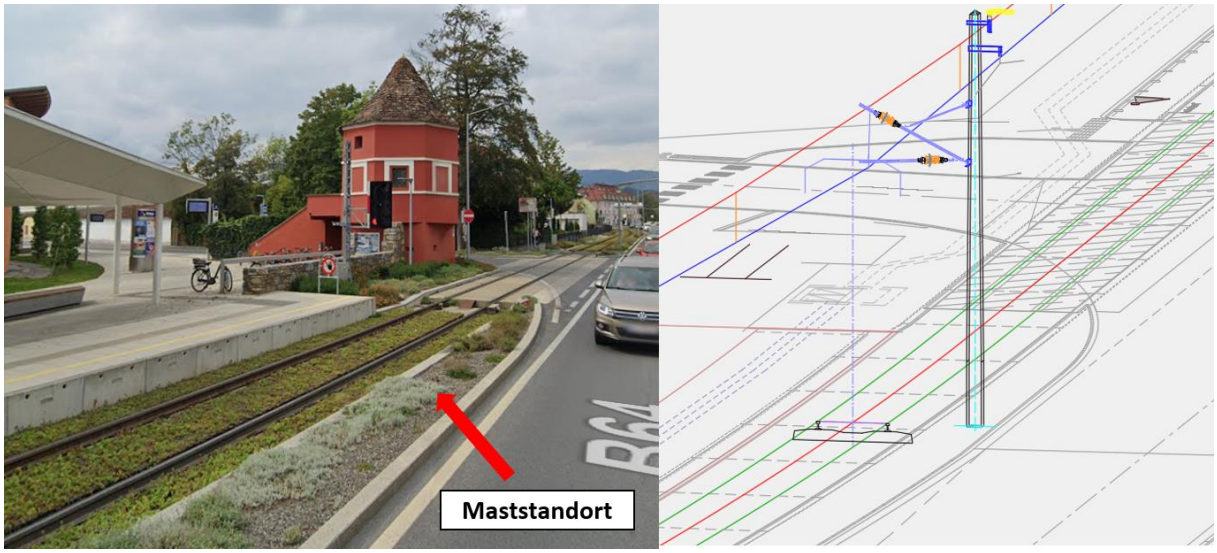


Abbildung 79: Situation der Flächeninanspruchnahme im Zuge der Bauphase an Mast WZN-11[212]

4.8.4 Vermessungstätigkeiten

Die Vermessung spielt eine zentrale Rolle bei der Elektrifizierung von Eisenbahnstrecken, um sicherzustellen, dass die Maste und Gründungen präzise platziert und dokumentiert werden. Diese Maßnahmen sind sowohl in den Vorbereitungsphasen, während der Bauausführung, als auch im Nachgang essenziell.

Vor der Bauphase ist es unerlässlich, die genauen Standorte der Masten zu ermitteln. Hierbei ist eine Absteckung des Mittelpunktes des Oberleitungsmastes notwendig, wobei auf dem Markierungspflock die Mastnummer klar vermerkt sein muss. Alle markierten Maststandorte sind zudem in einen separaten Plan aufzunehmen, der bei Fertigstellung der STLB übergeben wird.

Bei der Planung der Rammarbeiten für die Masten ist eine Detailabsteckung des Mastmittelpunktes erforderlich. Ein charakteristisches Merkmal dieser Absteckung ist die indirekte Markierung jedes Mastes durch drei Punkte (P1, P2 und P3) gemäß Abbildung 80. Eine solche Markierung stellt sicher, dass der Mast korrekt ausgerichtet und verankert wird und genug Platz für die Rammarbeiten vorhanden ist.[213]

[212] Quelle: Google Street View, (05.06.2023) und eigene Abbildung mittels FLTG.
[213] Vgl.: Experteninterview Martin Waltl, 20.05.2023.

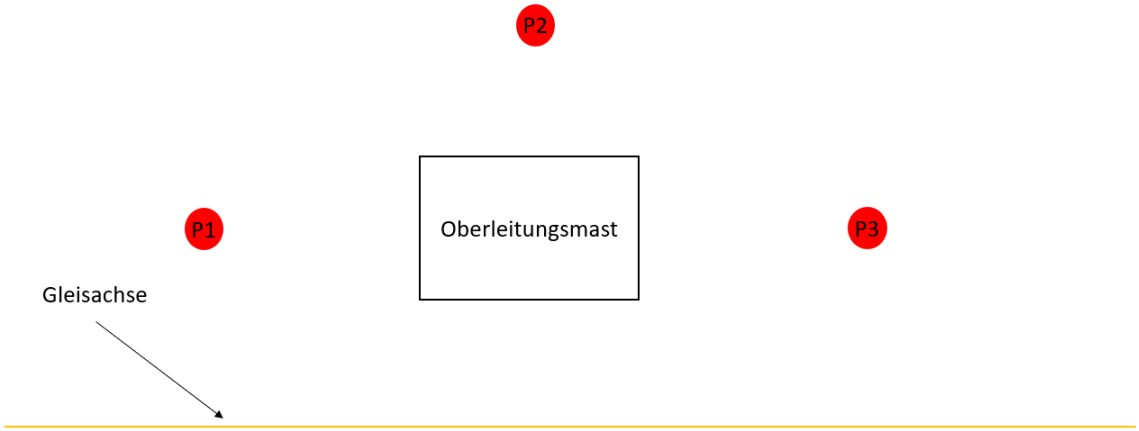


Abbildung 80: Systemskizze indirekte Mastabsteckung[214]

Die Vermessung der aufgestellten Oberleitungsmasten muss mit besonderer Sorgfalt durchgeführt werden. Diese erfordert einen präzisen Höhenriss der benachbarten Gleisachse, basierend auf genauen Gleisachsdaten. Nach der Installation der Mastbolzen, auch als Gleisvermarkungsbolzen bezeichnet, müssen diese exakt vermessen werden.

Schließlich, nach der Montage der Oberleitung, ist eine erneute Vermessung der Mastbolzen notwendig. Neben der direkten Vermessung ist es auch wichtig, diese Daten in die Gleisachse einzurechnen, sodass sie in die Gleisdatenbank übernommen werden können. Diese Daten bilden die Grundlage für den technischen Endvermessungsplan.

4.8.5 Geologische Untersuchung

Die Geologie spielt bei der Planung von Eisenbahninfrastrukturprojekten eine bedeutende Rolle. Im Zuge der Elektrifizierung der Eisenbahnstrecke „Weiz Stadt“ stellt die geologische Untersuchung eine grundlegende Komponente dar, um die spezifischen Anforderungen für Mastgründungen und Bodenbeschaffenheit zu verstehen. Dieses Kapitel behandelt detailliert die geologischen Aspekte und die damit verbundenen Untersuchungsverfahren, die berücksichtigt werden müssen.

Die Stützpunkte einer Fahrleitung verteilen sich über einen großen Bereich, und an den einzelnen Maststandorten können unterschiedliche Bodenverhältnisse herrschen. Es ist essenziell, den Baugrundaufbau unter der Oberfläche bis in eine Tiefe zu kennen, die mindestens der wirksamen Breite der Gründung entspricht. Bei Pfahlgründungen muss diese Kenntnis sogar bis unter die Pfahlspitzen reichen.

[214] Quelle: Eigene Darstellung.

Die Ermittlung der geotechnischen Baugrundkennwerte bildet die Grundlage zur Bestimmung der Gründungsart, ihrer Form und ihrer Maße. Hierfür sind Baugrunderkundungen notwendig, die gemäß DIN EN 1997-1 geplant werden. Die Auswertung der geotechnischen Kennwerte sollte gemäß den Vorgaben in DIN EN 1997-2 erfolgen.[215]

Folgende Verfahren zur geotechnischen Untersuchung werden bei der Elektrifizierung angewendet:

- **Kernbohrung:** Entnahme von Bodenproben durch spezialisierte Bohrwerkzeuge.
- **Rammsondierung:** Eindringwiderstand des Bodens mittels Rammgerät.
- **Bohrlochrammsondierung:** Kombination von Bohren und Rammsondierung.
- **Drucksondierung:** Messung des Bodenwiderstands durch hydraulischen Druck.
- **Schurfe:** Graben oder Einschnitte zur direkten Untersuchung des Bodens.

Eine Begehung der Strecke ermöglicht die Entscheidung über die Art der Baugrunderkundung.

Ein geologisches Gutachten umfasst:

- Regionalgeologische und hydrologische Verhältnisse.
- Bodengruppen gemäß ÖVE/ÖNORM EN 50119.
- Bewertung der Rammbarkeit der vorgesehenen Rammköcherfundamente.
- Bewertung der Tragfähigkeit und der Setzungsempfindlichkeit des Untergrundes bzw. der Bettung der Köcher.
- Sonstige Hinweise und Empfehlungen je Homogenbereich.

Diese Punkte werden dann bezüglich der Bodenbeschaffenheit und der sich daraus ableitenden Herstellungsanforderungen für die Mastgründungen kategorisiert.[216]

Bei den ÖBB wurden, wie in Abbildung 81 ersichtlich, die Böden in sogenannte Bodengruppen zusammengefasst, auf deren Basis die Gründungen ausgelegt werden. Ein geologisches Gutachten ermöglicht die Erkennung von Erschwernissen in der Bodenbeschaffenheit und den Grundwassergehalt.

[215] Vgl.: Kießling, 2014, S.956.
[216] Vgl.: Experteninterview Martin Waltl, 20.05.2023.

Geotechnische Kennwerte

Bodengruppe gemäß EN 50119 1)	Reibungswinkel Grad	Kohäsion kN/m²	Wichte kN/m³	Bodenpressung Tiefe 1,5 m kN/m²	Faktor k –	Anmerkung –
Kies	35	0	21	300	5,5	–
Sand dicht	30	0	20	250	5,0	–
Schluff/Ton, steif	22,5	15	19	200	4,5	–
Schluff/Ton, weich	17,5	10	17	150	4,0	–
Fels, sehr mürbe bis mürbe	25	25	21	400	6,0	nicht rammbar
Fels, mäßig hart bis hart	30	50	22	500	6,5	nicht rammbar

Abbildung 81: Geotechnische Kennwerte für Gründungen[217]

Im nächsten Schritt wird, wie in Abbildung 82 dargestellt, das jeweilige Fundament anhand der Bodenbeschaffenheit, des Grundwassergehalts und der Mastart bestimmt.

50% Grundwasser (Stand Mitte Gründung)

Bodengruppe nach ED 6939	**Normalmast N3**			**Normalmast N4**			**Normalmast N6**		
	Mx/My = 70/25			Mx/My = 88/58			Mx/My = 123/82		
	$b_x = b_y$	t_0	V	$b_x = b_y$	t_0	V	$b_x = b_y$	t_0	V
Kies	1,00m	1,80m	1,8m³	1,00m	2,00m	2,0m³	1,00m	2,20m	2,2m³
Sand dicht	1,00m	2,00m	2,0m³	1,00m	2,20m	2,2m³	1,00m	2,40m	2,4m³
Schluff/Ton steif	1,00m	2,50m	2,5m³	1,20m	2,50m	3,6m³	1,40m	2,50m	4,9m³
Schluff/Ton weich	1,30m	2,50m	4,2m³	1,40m	2,50m	4,9m³	1,80m	2,50m	8,1m³

Abbildung 82: Fundamentbestimmung für Stahlbetonmaste[218]

Es sollte betont werden, dass im Rahmen dieser Masterarbeit keine geotechnische Untersuchung durchgeführt werden konnte. Für diese Arbeit wurde angenommen, dass der gesamte Streckenabschnitt aus der Bodengruppe „Kies“ besteht und einen Grundwassergehalt von 50 % aufweist.

[217] Quelle: ÖBB-Regelwerk Einzelteilzeichnungen Band II, 2021, ED 6939, S.1.
[218] Quelle: ÖBB-Regelwerk Einzelteilzeichnungen Band II, 2021, ED 6940, S.4.

4.8.6 Kampfmitteltechnische Untersuchung

Bahnanlagen waren historisch ein bevorzugtes Ziel im Krieg, da sie eine kritische Infrastruktur darstellen. Für die Errichtung der Oberleitungsmaste und deren Gründungen müssen deshalb umfangreiche Untersuchungen zur Ermittlung potenzieller Kampfmittelbelastungen durchgeführt werden. Dieses Kapitel beschreibt den Ablauf einer kampfmitteltechnischen Untersuchung bei Elektrifizierungsprojekten.

In Österreich wurden beispielsweise während des Zweiten Weltkriegs 56 % aller Bombenangriffe auf Bahnanlagen gerichtet. Dies unterstreicht die Bedeutung und die Notwendigkeit einer gründlichen Untersuchung von Kampfmitteln in solchen Gebieten.[219]

Bilanz Kampfmittel Österreich	
Abgeworfene Bomben Österreich in Tonnen	135.000 t
Davon 14 % Blindgänger	100.500 Stk.
1/3 aller Blindgänger explodierte im Krieg	33.150 Stk.
1/6 aller Blindgänger wurden im Krieg entschärft	16.850 Stk.
Bombenblindgänger Stand 1945	50.500 Stk.
Bis heute entschärft	20.800 Stk.
Heute noch vorhandene Blindgänger in Österreich	29.700 Stk.
Davon auf Bahnanlagen	11.000 Stk

Tabelle 6: Bilanz Kampfmittel in Österreich[220]

Die Bilanz der in Österreich verbliebenen Kampfmittel wird in Tabelle 6 dargelegt.

[219] Vgl.: ÖBB-Schulungsunterlagen Beratung Kampfmittelräumung, 2011, S.3.
[220] Quelle: ÖBB-Schulungsunterlagen Beratung Kampfmittelräumung, 2011, S.5.

Abbildung 83 bietet eine Übersicht über die größeren dokumentierten Luftangriffe, die auf Österreichs Bahnanlagen ausgeführt wurden.

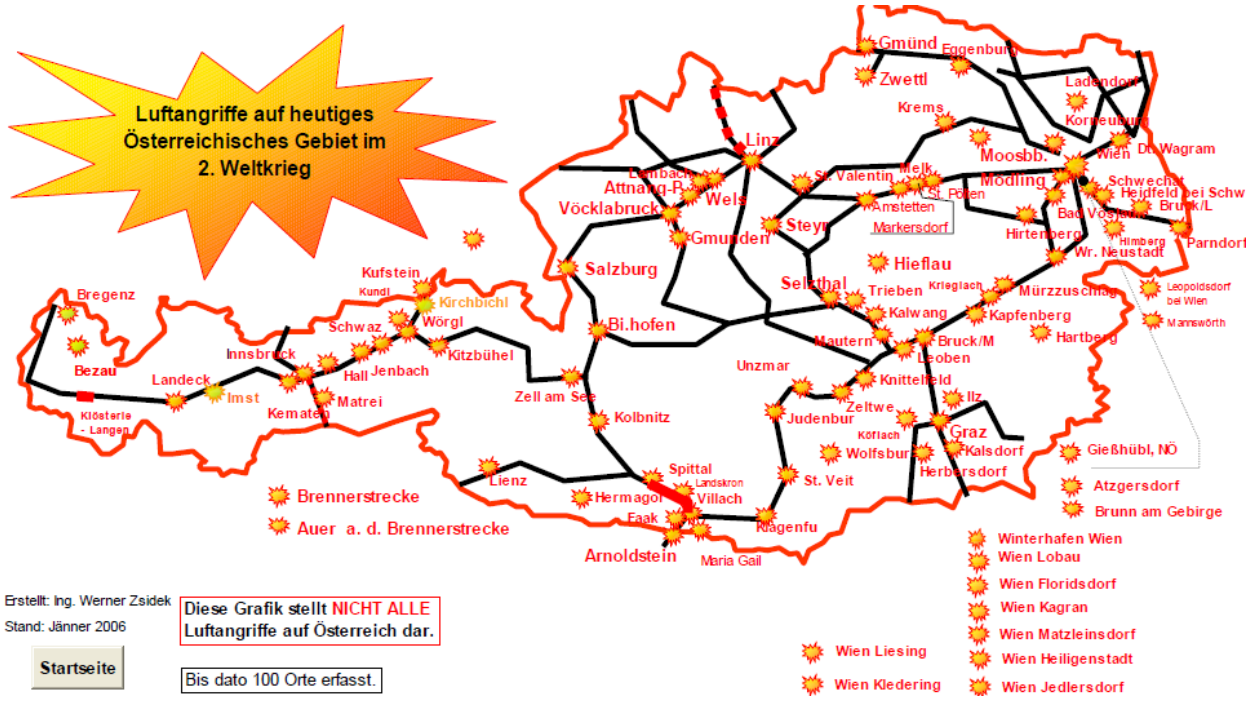


Abbildung 83: Luftangriffe auf österreichische Bahnanlagen[221]

Die Kampfmitteluntersuchung ist ein umfangreicher Prozess und wird detailliert in Abbildung 84 dargestellt.

Dieser besteht ausfolgenden Schritten:

- Kampfmitteltechnische Voruntersuchung: Untersuchung des Projektgebiets.
- Bewertung: Bewertung der Ergebnisse
- Technische Erkundung: Kampfmittelerkundung mittels Tiefensondierung.
- Entschärfung durch den Entminungsdienst: beseitigen der Gefahrenquelle.
- Verdachtspunkt ausgeräumt: Sicherheit hergestellt Bauarbeiten können beginnen.

[221] Quelle: ÖBB-Regelwerk 09.12, 2016, S.48.

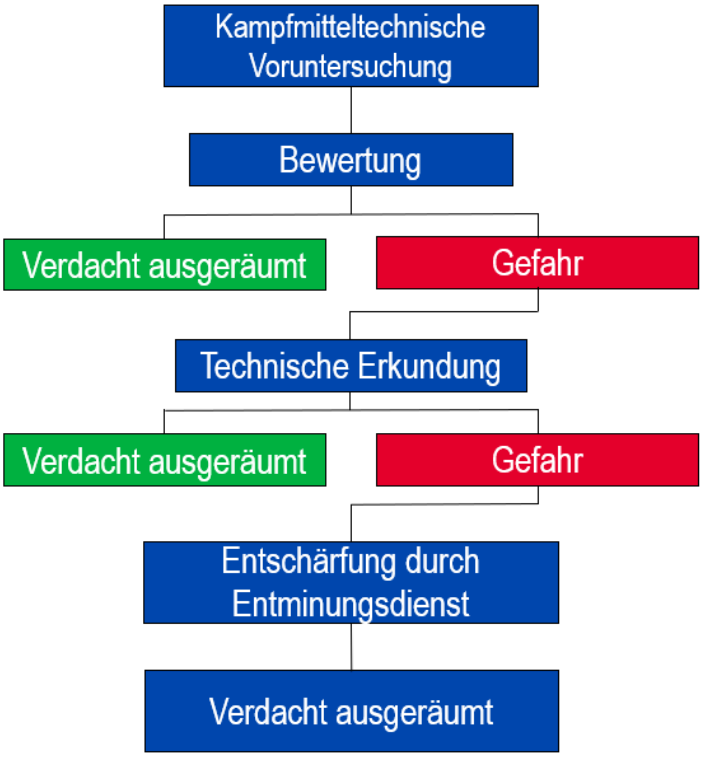


Abbildung 84: Prozess Kampfmitteluntersuchung[222]

Kampfmitteltechnische Voruntersuchung:

Der erste Schritt in diesem Prozess ist die Kampfmitteltechnische Voruntersuchung. Hierbei wird eine umfassende Untersuchung des Projektgebiets durchgeführt, indem Fotodokumentationen der amerikanischen, englischen und russischen Streitkräfte ausgewertet werden. Dies umfasst die Analyse von:

- Blindgänger-Verdachtspunkten
- Bombentrichtern
- Bombardierten Flächen
- Gebäudeschäden
- Spuren von Bodenkämpfen
- Militärisch genutzten Arealen
- Potenziellen Entsorgungsbereichen[223]

[222] Quelle: ÖBB-Regelwerk 09.12, 2016, S.14.
[223] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 09.12, 2016, S.11-13.

Bewertung:

Nach der gründlichen Untersuchung des Projektgebiets gemäß den oben genannten Bedingungen wird eine Auswertung vorgenommen, und die ermittelten Gebiete werden in verschiedene Risikozonen eingeteilt. Die ÖBB Infrastruktur AG unterscheidet diese Zonen in drei Farben: grün, gelb und rot, welche das Risiko von Kampfmitteln repräsentieren.

- Die grüne Zone steht dafür, dass keine Anzeichen von Kampfmitteln vorhanden sind. Es sind somit keine weiteren Maßnahmen zur Beseitigung erforderlich.
- Die gelbe Zone zeigen, dass die Chance, auf Kampfmittel zu stoßen, gering ist.
- Die rote Zone hingegen weist auf das Vorhandensein von Kampfmitteln hin.

In den Regelwerken der ÖBB Infrastruktur AG sind die genauen Anforderungen für diese Zonen definiert, die erfüllt sein müssen, um als solche anerkannt zu werden. [224]

Wie in Abbildung 85 dargestellt, werden Luftbilder sowohl aus der Nachkriegszeit als auch aktuelle Aufnahmen verwendet. Diese Bilder ermöglichen die Lokalisierung von Bombenkratern und Militärstellungen, wo vermehrt Kampfmittel im Boden vermutet werden können. Auch „Blindgänger“, also nicht detonierte Kampfmittel, können identifiziert werden, obwohl ihre Erkennung aufgrund der geringeren Größe herausfordernder ist.

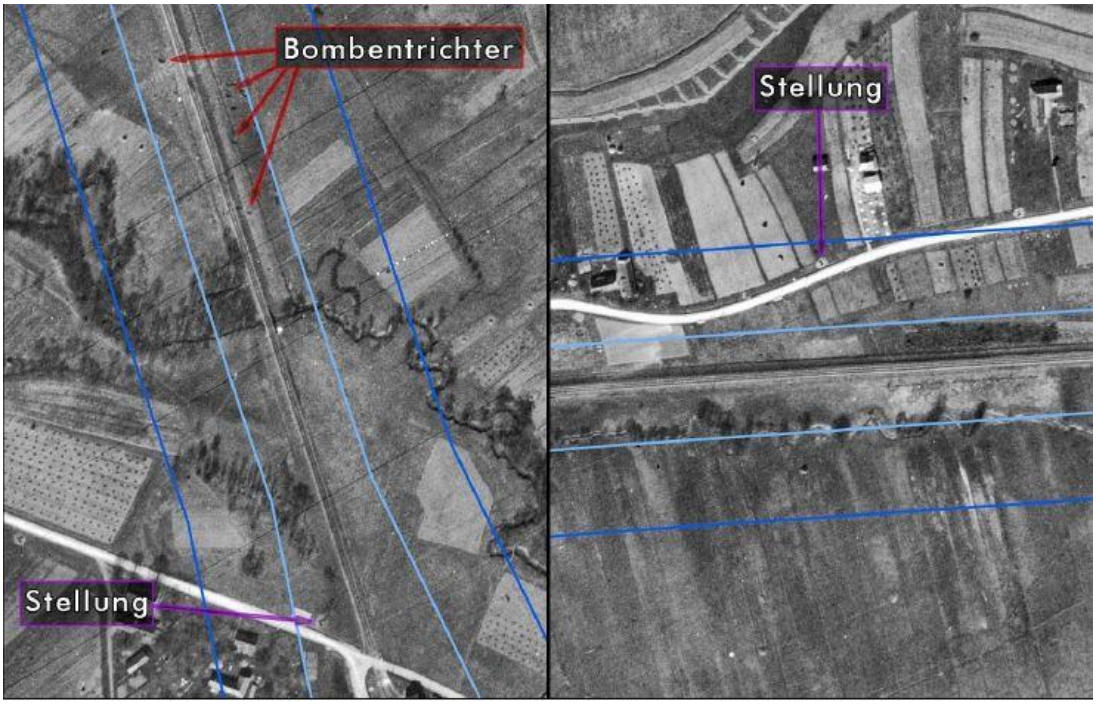


Abbildung 85: Fotodokumentation Kampfmittel Streckennetz GKB[225]

[224] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 09.12, 2016, S.11-13.
[225] Quelle: GKB-Kampfmittelgutachten, 2021. S.59.

Die Resultate der Analyse werden in Kampfmittelbelastungskategorien unterteilt. Sollten die Fundamentstandorte in den gelben oder roten Zonen liegen, sind spezifische Vorsichtsmaßnahmen erforderlich. Zur Einschätzung der Risiken beim Einsetzen der Masten müssen am Standort mastbezogene Untersuchungen durchgeführt werden. Hierbei werden verschiedene Techniken und Sondierungen angewandt, um den Boden nicht übermäßig zu beanspruchen, da sonst die Kriegsmittel beschädigt oder aktiviert werden könnten. Abbildung 86 zeigt als Beispiel die Aufteilung der Verdachtszonen im Streckennetz der GKB.[226]

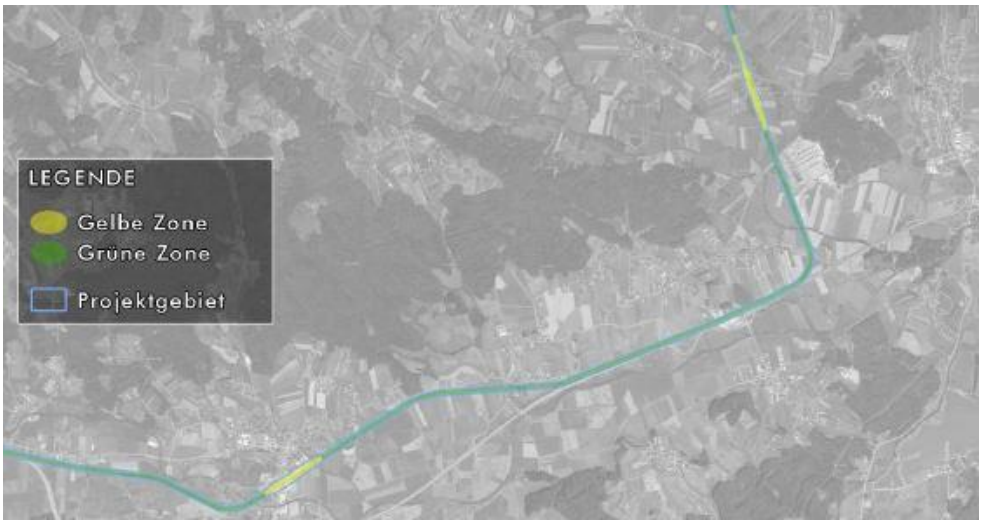


Abbildung 86: Kampfmittelbelastungskategorien Streckennetz GKB[227]

Technische Erkundung:

Bei der technischen Erkundung von Bahnanlagen kommt eine passive Sonde zur Tiefensondierung zum Einsatz. Diese Sonde reagiert auf größere Eisenteile, indem sie auf Abweichungen im Erdmagnetfeld anspricht. Die Erkundung erfolgt durch das Bohren von bis zu 7 m tiefen Löchern in den Boden mit einem Schneckenbohrer, wobei jeder Bohrvorgang ungefähr 30 Minuten dauert.[228]

Wie aus Abbildung 87 hervorgeht, misst die passive Tiefensondierung die Veränderungen im magnetischen Feld der Erde. Im Laufe der Zeit haben sich die metallischen Kriegsüberreste magnetisch aufgeladen, wodurch ein starkes magnetisches Feld erzeugt wird. Die Sonde ist in der Lage, auf dieses Feld zu reagieren, und liefert so Informationen über das mögliche Vorhandensein von Kampfmitteln im untersuchten Bereich.[229]

[226] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 09.12, 2016, S.11-13.
[227] Quelle: GKB-Kampfmittelgutachten, 2021. S.64.
[228] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 09.12, 2016, S.17-18.
[229] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 09.12, 2016, S.19.

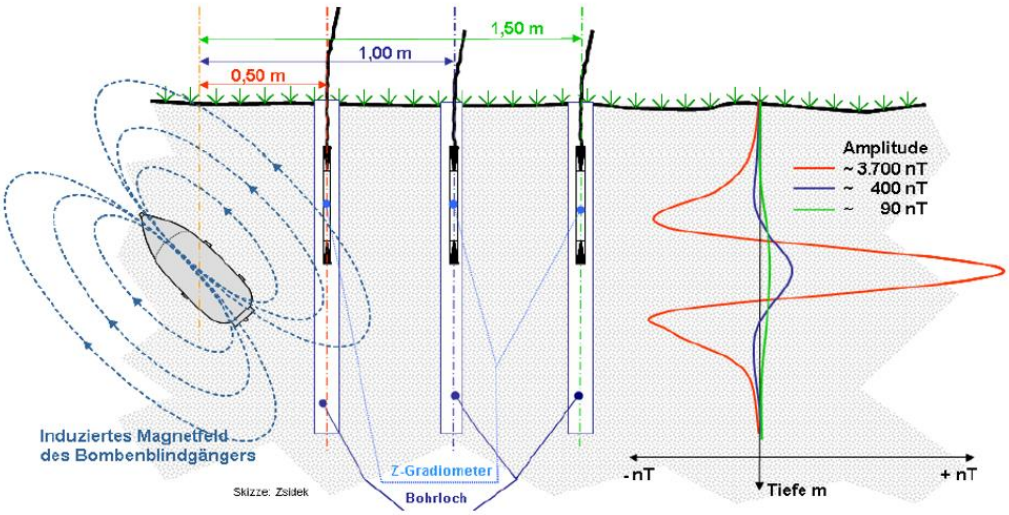


Abbildung 87: Schema Tiefensondierung[230]

Bei der Sondierung für Oberleitungsmaste erfolgt eine Unterscheidung zwischen N-Masten und F-Masten wie in Abbildung 88 dargestellt. Gemäß dem ÖBB-Regelwerk wird für N-Masten ein Bohrloch gefertigt, während für F-Masten aufgrund ihres größeren Durchmessers insgesamt drei Bohrlöcher erforderlich sind.

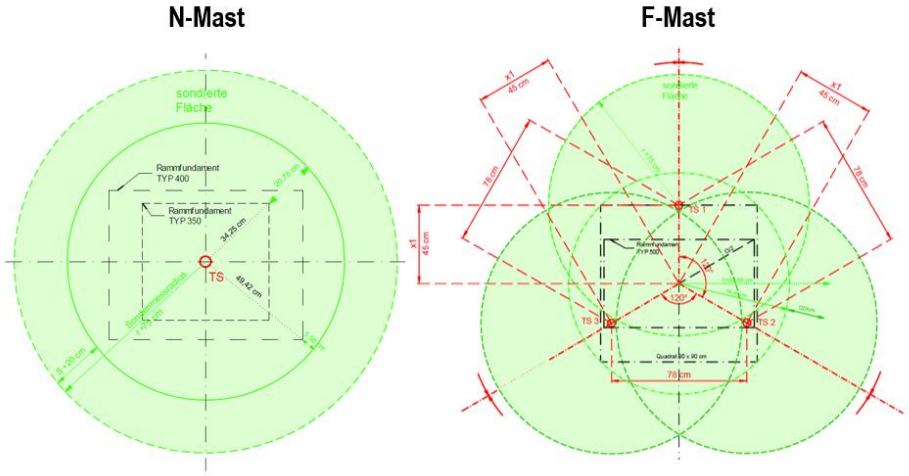


Abbildung 88: Sondierraster N-Mast und F-Mast[231]

Abbildung 89 veranschaulicht den Vorgang einer technischen Kampfmitteluntersuchung von Oberleitungsmasten.

[230] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 09.12, 2016, S.21.
[231] Quelle: ÖBB-Regelwerk 09.12, 2016, S.24-25.

Abbildung 89: Technische Kampfmitteluntersuchung von Oberleitungsmasten.[232]

Entschärfung durch den Entminungsdienst:

Nach der Sondierung der zu prüfenden Flächen tritt die Verifizierungsphase in Kraft, in der die analysierten Bereiche erneut begutachtet werden. Sollten Kriegsrelikte entdeckt werden, wird in dieser Phase deren Sprengung oder Beseitigung durch den verantwortlichen Entminungsdienst eingeleitet. Sobald sichergestellt ist, dass keine Kriegsrelikte vorhanden sind oder alle beseitigt wurden, kann die Verifizierung durchgeführt werden. [233]

Verdachtspunkt ausgeräumt:

Nachdem die Verifizierung durchgeführt oder die sachkundige Entschärfung von Kriegsrelikten durch den Entminungsdienst abgeschlossen wurde, werden die Befunde der Untersuchungen und Sondierungen in einem abschließenden Bericht dokumentiert. Dieser Schlussbericht dient als Nachweis, dass die Sicherheit gegeben ist und die Bauarbeiten eingeleitet werden können.[234]

Während der Bearbeitung dieser Masterarbeit war es nicht möglich, eine tatsächliche kampfmitteltechnische Untersuchung durchzuführen. Diese muss für die Elektrifizierung des Streckenabschnitts berücksichtigt werden.

[232] Quelle: Eigene Aufnahmen, (06.06.2023).
[233] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 09.12, 2016, S.15.
[234] Vgl.: ÖBB-Regelwerk 09.12, 2016, S.15.

4.8.6.1 Erdung- und Hochspannungsprüfung

Ein weiterer Aspekt der Elektrifizierung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt“ stellt die Erdungs- und Hochspannungsprüfung dar. Diese Überprüfungen sind nicht nur für die Sicherstellung der Funktionalität, sondern auch zur Gewährleistung der Sicherheit sowohl der Anlagen als auch der Benutzer von entscheidender Bedeutung.

Die Hochspannungsprüfanlage, kurz HPA, ist eine essenzielle Komponente in der Wartung und Überprüfung der Eisenbahn-Infrastruktur. Im Zentrum seiner Aufgaben stehen insbesondere die Sicherheitsprüfung des Erdungskonzepts sowie die Überprüfung von Hochstrom-Komponenten. Technisch gesehen verfügt der Prüfwaggon, wie in Abbildung 90 ersichtlich, über eine Vielzahl von Komponenten: vom Leistungsschalter und Netzschalter über den Prüftransformator bis hin zur explosionsgeschützten Prüfkabine und Bedienerkabine. Ein solches Equipment erfordert ein hohes Maß an Fachwissen. Daher ist für die Bedienung des HPA speziell geschultes Personal notwendig, das über die Risiken und Herausforderungen im Umgang mit Hochspannung informiert ist.[235]

Abbildung 90: ÖBB-Hochspannungsprüfanlage[236]

Erdungsprüfung:

Die Infrastruktur des Eisenbahnnetzes ist durch ständige Vibrationen und äußere Umweltfaktoren gefährdet, was das Risiko von Störungen erhöht. Ein fehlerhaftes Erdungssystem kann Gefahren sowohl für das Eisenbahnpersonal als auch für die Passagiere darstellen. Dies gilt insbesondere für Gebiete mit Hochspannungsleitungen zur Energieversorgung. Es ist entscheidend, alle potenziell spannungsführenden Metallteile

[235] Vgl.: dewesoft.com, (05.05.2023).
[236] Quelle: dewesoft.com, (05.05.2023).

korrekt zu erden. In Systemen, in denen die Energiezufuhr über eine dritte Schiene erfolgt, können Lichtbogenbrände und Spannungsfehler auftreten, weshalb eine angemessene Erdung hier unverzichtbar ist.

Das Eisenbahnunternehmen hat die Verantwortung, die Wirksamkeit ihrer elektrischen Erdungssysteme nachzuweisen. Dies ist bei allen neuen oder renovierten Stromleitungen, Bahnhöfen, Betriebseinrichtungen, Stahlbetonstrukturen und Schallschutzbarrieren notwendig. Die Tests basieren auf der Norm EN 50122-1:2017, die Maßnahmen gegen elektrischen Schlag in Bahnanwendungen vorschreibt. Während der Prüfung wird der betroffene Bahnabschnitt elektrisch isoliert und durch Erdspieße an einem spezifizierten Punkt geschlossen. Ein mobiler Transformator sendet einen konstanten Teststrom in die Oberleitung, um die mögliche Spannung zwischen Schiene und Erde zu ermitteln.

Während des Tests wird die Berührungsspannung an verschiedenen Punkten der Anlage gemessen, wobei der Teststrom durch die verschiedenen Erdungskomponenten fließt. Die Gesamtergebnisse werden anschließend analysiert. Während der gesamten Prüfphase werden Ströme und Spannungen überwacht, wobei sicherzustellen ist, dass festgelegte Grenzwerte und Zeiträume eingehalten werden.[237]

Hochspannungsprüfung:

Die Hochspannungsprüfung konzentriert sich auf die mechanische und thermische Stabilität von Betriebsmitteln und Komponenten der Oberleitung. Ziel dieser Prüfung ist es, sicherzustellen, dass die Bahninfrastrukturkomponenten den extremen Anforderungen im Betrieb standhalten. Durch induktive Erwärmung wird das Testobjekt auf einen potenziellen Kurzschlusszustand vorbereitet. Während der Prüfung werden sowohl der Strom als auch die Temperatur des Objekts an diversen Punkten erfasst. Solche Tests bestätigen die mechanische und thermische Zuverlässigkeit der Bahninfrastruktur-Komponenten. Sie gewährleisten, dass die Bauteile auch bei einem Kurzschluss die vorgegebenen Temperaturgrenzen nicht überschreiten.

Da Hochstromtransformatoren in der Lage sind, extrem hohe Ströme zu liefern, eignen sie sich besonders zur Prüfung der Kurzschluss- und Dauerstrombelastbarkeit von Bahnkomponenten, wie z.B. einem Kurzschluss-Test mit 30 kA für eine Sekunde oder einem Dauerbelastungstest mit 1.000 A über mehrere Stunden. Für die Prüfung werden Erdungselemente aus der Gesamtanlage entnommen und hohen Strömen ausgesetzt. Ein erster Langzeittest wird mit einer mobilen Konstantstromquelle bei normalem Betriebsstrom durchgeführt, wobei die Temperatur kontinuierlich aufgezeichnet wird. Anschließend werden die Komponenten einem Kurzschluss-Test ausgesetzt, wobei sie für eine Sekunde einem Prüfstrom von 30 kA ausgesetzt werden. Die Hochstromprüfanlage dokumentiert dabei kontinuierlich Temperatur, Strom, Spannung und erstellt synchron dazu eine Videoaufnahme des Prüfvorgangs.[238]

[237] Vgl.: dewesoft.com, (05.05.2023).
[238] Vgl.: dewesoft.com, (05.05.2023).

4.8.7 Erkundung von Einbauten

Während der Planungsphase für die Eisenbahnstrecke „Weiz Stadt“, sind neben geotechnischen und Kriegsmittelerkundungen auch die Untersuchungen vorhandener Infrastruktureinbauten von Bedeutung. Zu diesen Einbauten zählen diverse Anlagen, von alten Fundamenten bis hin zu Bahnstrom- und Telekommunikationsleitungen. Eine gründliche Erkundung dieser Strukturen ist notwendig, um eine adäquate Platzierung der Oberleitungsmasten sicherzustellen und potenzielle Schäden während der Bauphase zu verhindern.

Zu den typischen Einbauten gehören:

- Alte Fundamente
- Wasserleitungen
- Gasleitungen
- ÖBB-Leitungen
- Bahnfremde Leitungen

Im Zuge von Bauarbeiten kann es vorkommen, dass unerwartet im Boden verborgene Einbauten oder Kabel gefunden werden. Viele dieser Infrastrukturelemente liegen bereits seit Jahrzenten im Untergrund, weshalb die dazugehörigen historischen Dokumente oftmals ungenau oder nicht vorhanden sind.

Aus diesem Grund ist eine detaillierte Bestandserhebung vor Baubeginn unerlässlich. Dies setzt eine enge Kooperation mit allen involvierten Fachbereichen, Planern sowie externen Versorgungseinrichtungen voraus.

Abbildung 91: Einbauten Graz Vbf.[239]

[239] Quelle: Eigene Aufnahme, (12.6.2022).

Abbildung 91 verdeutlicht eine Situation, während der Fundamentarbeiten für Oberleitungsmasten, bei der unerwartet Leitungen gefunden wurden. Nach Rücksprache mit den Fachexperten wurde festgestellt, dass diese Leitungen nicht mehr in Betrieb waren und dementsprechend entfernt werden konnten.

In Abbildung 92 wird eine weitere häufige Situation dargestellt, in der während der Fundamentarbeiten Kabel einer Leit- und Sicherungsanlage beschädigt wurden. Diese Beschädigung verursachte eine Störung, die den Bahnbetrieb mehrere Stunden lang beeinträchtigte.

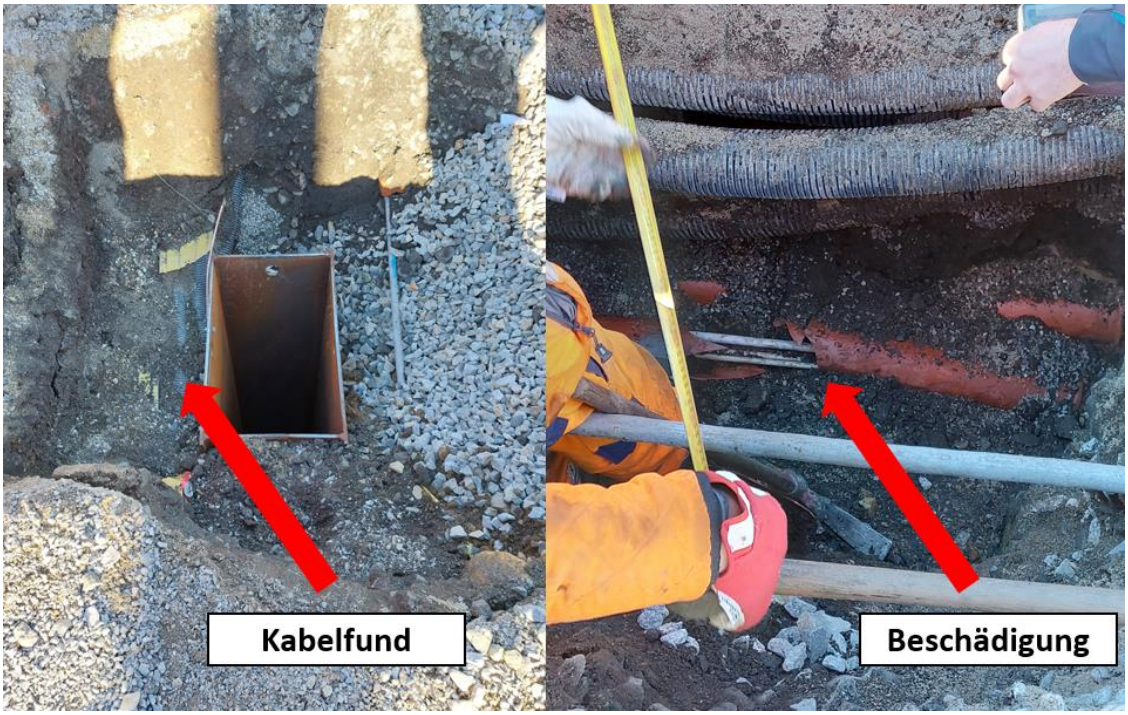


Abbildung 92: Einbauten Graz Vbf.[240]

Eine umfassende Untersuchung der Einbauten während des Planungsprozesses ist für die erfolgreiche Elektrifizierung der Eisenbahnstrecke unerlässlich. Dadurch lassen sich potenzielle Störungen vermeiden, Schäden an bestehenden Anlagen verhindern und eine reibungslose Implementierung der Oberleitungsanlage gewährleisten.

[240] Quelle: Eigene Aufnahme, (12.06.2022).

4.8.8 Erschütterungstechnische Untersuchungen

Die Durchführung von erschütterungstechnischen Untersuchungen ist ein weiterer notwendiger Bestandteil im Rahmen des Projekts zur Elektrifizierung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt". Im Kontext der Errichtung der Rammfundamente können durch die Arbeiten Erschütterungen erzeugt werden, die möglicherweise zu Beeinträchtigungen und sogar Schäden an den Wohngebäuden im Baubereich führen können.

Eine erschütterungstechnische Untersuchung zielt darauf ab, die Erschütterungsimmissionen zu ermitteln, die sich aus dem Projektgebiet auf den Menschen und die Gebäude auswirken könnten. Dies wird durch Prognosen auf Basis von Messdaten erreicht.

Einwirkung auf Gebäude:

Die DIN 4150 – „Erschütterungen im Bauwesen: Einwirkung auf bauliche Anlagen" liefert Richtwerte für zulässige Schwinggeschwindigkeitsamplituden zur Beurteilung der Einwirkungen auf Gebäude. Für die Beurteilung der durch die Rammarbeiten der Elektrifizierung verursachten Erschütterungseinwirkungen sind die Anhaltswerte für Wohngebäude und vergleichbare Bauarten relevant.

Es besteht ein Unterschied zwischen kurzzeitigen Bauwerkserschütterungen und stationären Bauwerksschwingungen. Bei den durch die Rammarbeiten verursachten Erschütterungen handelt es sich um kurzzeitige Bauwerkserschütterungen.

Für kurzzeitige Bauwerkserschütterungen liegen die entsprechenden Anhaltswerte bei Frequenzen von 10 - 50 Hz im Fundamentbereich zwischen 5 und 15 mm/s bzw. 15 mm/s unabhängig vom Frequenzbereich für die horizontale Richtung der Deckenebene des obersten Vollgeschosses. Für vertikale Deckenschwingungen in der Deckenfeldmitte wird ein Wert von 20 mm/s (unabhängig vom Frequenzbereich) angegeben.[241]

Einwirkung auf Menschen:

Die Einwirkung von Erschütterungen auf den Menschen in Gebäuden wird gemäß der DIN 4150 beurteilt.

Aufgrund der dichten Bebauung und der zahlreichen angrenzenden Gebäude des Projektgebiets sind Maßnahmen erforderlich, um die potenziellen Auswirkungen des Rammbetriebs auf die nahegelegenen Gebäude zu dokumentieren. Dadurch können Streitigkeiten und mögliche gerichtliche Auseinandersetzungen vermieden werden.[242]

Abbildung 93 veranschaulicht die Herstellung einer Rammpfahlgründung für Oberleitungsmaste. Es sei darauf hingewiesen, dass im Kontext dieser Masterarbeit keine tatsächlichen erschütterungstechnischen Untersuchungen vorgenommen werden konnten. Diese müssen für die Elektrifizierung des Streckenabschnitts berücksichtigt werden.

[241] Vgl.: Bonk, 2016, S.5.
[242] Vgl.: Bonk, 2016, S.6.

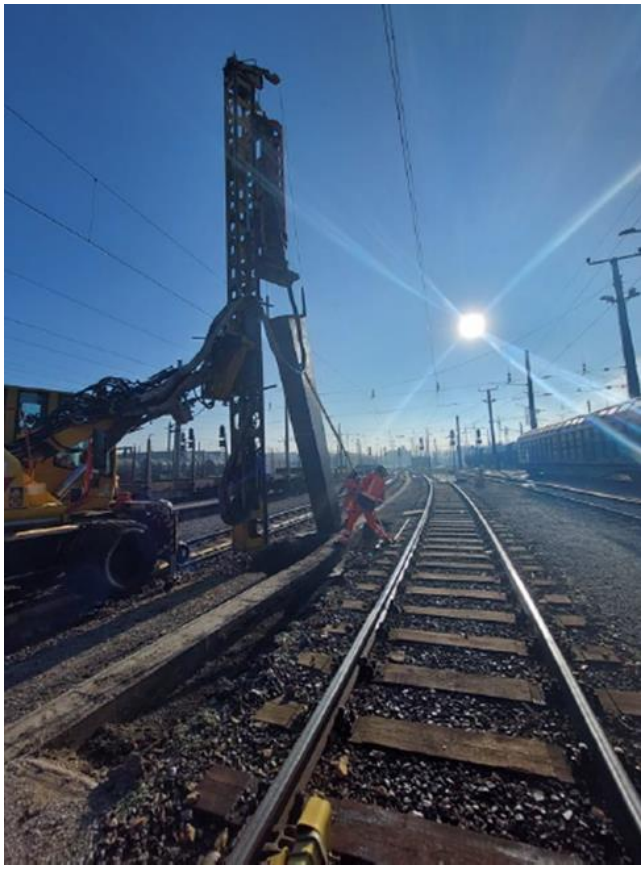


Abbildung 93: Herstellung einer Rammpfahlgründung[243]

4.8.9 Bodenchemische Untersuchung

Ein weiteres zentrales Element zur Gewährleistung eines ungestörten und sicheren Ablaufs der Elektrifizierung ist die Kontrolle der Bodenbeschaffenheit auf chemischer Ebene. In diesem Kapitel wird erläutert, welche Gründe für eine bodenchemische Untersuchung sprechen und auf welche Weise diese durchgeführt wird.

Während der Planungsphase ist es die Aufgabe der Projektleitung zu untersuchen, ob die im Zuge des Bauvorhabens berührten Flächen als Altlasten- oder Verdachtsflächen eingetragen sind. Quellen, die Hinweise auf mögliche Kontaminationen geben können, sind Grundbuchauszüge, Auswertungen von Luftbildern oder bekannt gewordene frühere Nutzungen. Auch die Befragung ehemaliger Eigentümer oder Nachbarn kann hilfreiche Informationen liefern.

Die in Österreich geltenden abfallrechtlichen Vorschriften und Gesetze, wie zum Beispiel das Abfallwirtschaftsgesetz, die Deponieverordnung, das Altlastensanierungsgesetz, der Bundesabfallwirtschaftsplan und die Abfallnachweisverordnung, schreiben unter anderem vor,

[243] Eigene Abbildung, (13.08.2022).

dass Untersuchungen für Aushub-, Abtrags-, Abbruch- und Ausbruchsmaterialien zum Zweck der Deponierung und Wiederverwertung durchgeführt werden müssen.

Für das Material, das nicht wiederverwertet werden kann und laut Planung auf eine Deponie gebracht werden soll, ist eine Beurteilung des Materials erforderlich. Eine dafür zugelassene Fachanstalt muss das Material beproben und es auf Basis der chemischen Analyse den entsprechenden Deponieklassen zuordnen. Dieser Prozess wird als „Grundlegende Charakterisierung" bezeichnet und das Ergebnis wird im „Beurteilungsnachweis" festgehalten. Ohne diesen Nachweis darf das Material nicht auf der Deponie angenommen werden.

Für das Material, das im Rahmen der Planung und der Massendisposition wiederverwertet werden kann, ist ebenfalls eine Beurteilung erforderlich. Wenn das Material erst nach einer Aufbereitung oder einem Recyclingprozess wiederverwendet werden kann, ist gemäß der Richtlinie für Recycling-Baustoffe zu verfahren.[244]

Im Hinblick auf den Streckenabschnitt „Weiz Stadt" wurde mit Hilfe des Verdachtsflächenkatasters des Umweltbundesamts eine Untersuchung auf Altlasten- oder Verdachtsflächen durchgeführt. Wie in Abbildung 94 dargestellt, ergab die Untersuchung, dass sich keine Altlasten- oder Verdachtsflächen im Projektgebiet befinden.

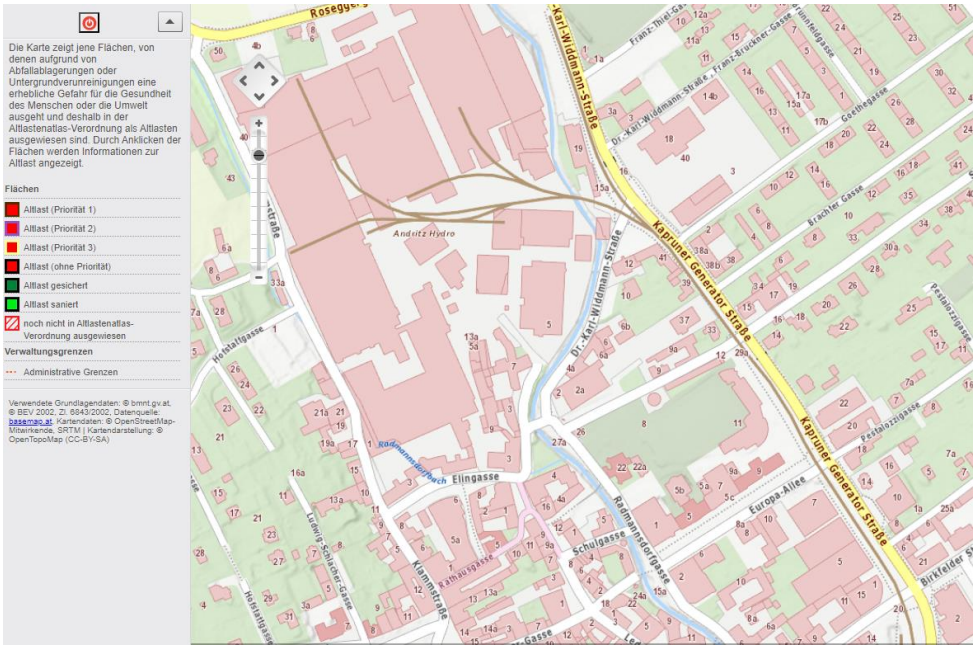


Abbildung 94: Übersicht von Altlasten und Verdachtsflächen im Streckenabschnitt „Weiz Stadt"[245]

Für das Aushubmaterial der Fundamente ist eine „Grundlegende Charakterisierung" des Materials erforderlich.

[244] Quelle: Hödl, 2020, S.29-31.
[245] Quelle: altlasten.gv.at, (20.06.2023).

4.8.10 Behördenverfahren Bauabwicklung

Die Durchführung von Behördenverfahren ist ein wesentlicher Aspekt in der Planung und Umsetzung von Infrastrukturprojekten, wie der Elektrifizierung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt". Dabei gilt es, alle notwendigen behördlichen Genehmigungen und Bescheide rechtzeitig einzuholen und abzuwickeln, um eine reibungslose Durchführung der Bauarbeiten sicherzustellen.

Während der Bauabwicklung sind in der Regel zahlreiche zusätzliche Behördenverfahren durch den Auftragnehmer durchzuführen und die erforderlichen Bescheide einzuholen. Beispiele dafür sind:

- Verkehrsverhandlungen gemäß Straßenverkehrsordnung
- Verfahren nach dem Rohrleitungsgesetz
- Verfahren für Wasserableitungen während der Bauphase gemäß Wasserrechtsgesetz
- Verfahren für Materialentnahmen bzw. Deponien gemäß Abfallwirtschaftsgesetz
- Genehmigungsverfahren für Sprengmittellager gemäß Sprengmittelgesetzes

In der Planungs- oder Ausschreibungsphase ist es ratsam, so weit wie möglich vorhersehbare Genehmigungen, wie z.B. für Wasserableitungen, Rohrquerungen und Verkehrsphasen, zu beantragen oder zumindest vorab mit der zuständigen Behörde abzustimmen. [246]

Insbesondere während der Bauphase der Elektrifizierung ist ein Bescheid für die eingeschränkte Verkehrsverhandlung gemäß §90 StVO für die Bauarbeiten an der B64 erforderlich. Dieser Bescheid muss rechtzeitig vor den Bauarbeiten von der Projektleitung der STLB eingeholt werden. Eine Abstimmung mit der zuständigen Behörde ist notwendig, um einen reibungslosen Verlauf der Bauphase zu gewährleisten.

4.8.11 Bauablauf, Termin- und Zeitplan

Für jedes großangelegte Bauprojekt, wie die Elektrifizierung von Eisenbahnstrecken, ist eine sorgfältige Planung des Bauablaufs und der Zeitschiene von entscheidender Bedeutung. Der richtige Zeitpunkt für die Durchführung der verschiedenen Aktivitäten kann den Unterschied zwischen einem erfolgreichen Projekt und einem, das mit Verzögerungen und Überschreitungen konfrontiert wird, ausmachen.

Ein bedeutender Aspekt bei der Elektrifizierung von Eisenbahnstrecken ist der genaue Bauablauf sowie der zugehörige Zeitplan. Es ist wichtig zu betonen, dass im Rahmen dieser Masterarbeit lediglich der Abschnitt „Weiz Stadt" behandelt wird. Somit berücksichtigt diese Arbeit nicht den kompletten Bauablauf und Zeitplan für die Gesamtelektrifizierung der

[246] Vgl.: Hödl, 2020, S.32.

Bahnstrecke „Gleisdorf - Weiz“. Bei einer Gesamtbetrachtung könnten sich Synergien ergeben, die zu signifikanten Veränderungen im tatsächlichen Zeitplan führen könnten.

Wegen der Nähe zu Wohngebieten im Streckenabschnitt „Weiz Stadt" wurde empfohlen, alle Arbeiten tagsüber auszuführen, um nächtliche Lärmbelästigungen für Anwohner zu vermeiden. Die Kalkulation der Bauzeit basiert auf Erfahrungswerten aus dem Projekt zur Elektrifizierung der GKB. Grundlegend wurde mit Arbeitsschichten von 10 Stunden geplant, wobei die Arbeiten zur Elektrifizierung auch an Wochenenden durchgeführt werden sollen.

Die Vorarbeiten des Streckenabschnitts wurden wie folgt kalkuliert:

- **Vorfertigung der Armaturen und Ausleger:** Diese Arbeiten werden grundsätzlich in Werkstätten der zuständigen Oberleitungsfirma durchgeführt. Hierbei werden 15 Arbeitstage kalkuliert.
- **Vermessung:** Für die Vermessung und Absteckung der Oberleitungsmaste wurde ein Arbeitstag kalkuliert.
- **Geologische Untersuchung:** Drei Arbeitstage sind für die Ermittlung der Bodenbeschaffenheit vorgesehen.
- **Kampfmittelsondierung:** Für die Untersuchung des Baufeldes auf Kampfmittel wurden drei Arbeitstage eingeplant.
- **Baustelleneinrichtung:** Zwei Tage wurden für die Errichtung des Baulagers angesetzt.

Die Hauptarbeiten des Streckenabschnitts wurden wie folgt kalkuliert:

- **Herstellung der Gründungen:** Für die insgesamt 25 Gründungen wurden sechs Arbeitstage angesetzt.
- **Maststellung:** Für das Stellen der Oberleitungsmaste wurden drei Tage kalkuliert.
- **Vormontage:** Für die Vormontage der Armaturen sind 5 Tage vorgesehen.
- **Auslegermontage:** Für die Montage der Ausleger wurde ein Arbeitstag kalkuliert.
- **Kettenwerks- und Leitungsmontage:** Für die Kettenwerks- und Leitungsmontage wurde ein Arbeitstag angesetzt.
- **Regulierung des Kettenwerks:** Zwei Tage sind für Regulierungsarbeiten geplant.
- **Erdungsarbeiten:** Für die Erdungsmaßnahmen wurden fünf Tage eingeplant.
- **Abnahme der Oberleitungsanlage:** Ein Tag ist für die Abnahme vorgesehen.

Die Planung und Koordination solcher Elektrifizierungsprojekte ist eine komplexe Angelegenheit. Es ist daher entscheidend, dass alle Aktivitäten sorgfältig geplant werden, um einen reibungslosen Ablauf und eine erfolgreiche Projektumsetzung zu gewährleisten.

Der detaillierte Bauablaufplan befindet sich im Anhang 4 der Masterarbeit.

4.8.12 Fazit Zusätzliche Herausforderungen der Elektrifizierung

Die Elektrifizierung der Eisenbahnstrecke „Weiz Stadt" ist ein komplexes Unterfangen, das weit über bauliche Aspekte hinausgeht. Eine der zentralen Herausforderungen bildet die elektromagnetische Verträglichkeit. Die Berücksichtigung von Rückleitern kann hier den elektromagnetischen Einfluss signifikant verringern. Weiterhin ist die Umweltverträglichkeit, die mittels einer UVP geprüft wird, von großer Bedeutung. Für „Weiz Stadt" wurden dabei moderate bis geringe Auswirkungen auf Schutzgüter identifiziert.

Ein weiterer kritischer Aspekt ist der Grunderwerb. Die beengten Platzverhältnisse machen den Erwerb von Grundstücken für 16 der 25 Maststandorte notwendig, was den Bauablauf beeinträchtigen kann. Die präzise Festlegung der Maststandorte durch Vermessungen und die abschließende Dokumentation sind essenziell. Geologische Untersuchungen liefern eine wichtige Grundlage für die Planung der Mastfundamente. Kampfmitteltechnische und bodenchemische Untersuchungen dienen dazu, potenzielle Gefahrenquellen zu identifizieren.

Während der gesamten Bauphase ist die Erkundung bereits bestehender Infrastruktureinbauten zentral, um Schäden und Verzögerungen zu vermeiden. Erschütterungen durch Bauarbeiten müssen sorgfältig überwacht werden, um Beschädigungen an benachbarten Gebäuden und rechtliche Konflikte zu verhindern. Die Abwicklung des Baus erfordert zudem eine genaue Beachtung und Koordination behördlicher Prozesse.

Schlussendlich sind der Bauablauf und der Zeitplan von zentraler Bedeutung für den Projekterfolg. Eine sorgfältige Planung und Koordination der Bauarbeiten, das Berücksichtigen aller vorher genannten Aspekte und das strikte Einhalten des Zeitplans sind unerlässlich. Dies sichert die Effizienz und Kosteneffektivität des Projekts und minimiert unvorhergesehene Herausforderungen und Verzögerungen.

Insgesamt verdeutlicht dieses Kapitel, dass die Elektrifizierung von Eisenbahnstrecken eine äußerst komplexe Aufgabe darstellt. Sie erfordert einen multidisziplinären Ansatz und eine gründliche Planung.

4.9 Kostenermittlung

Die Ermittlung der Kosten für die Elektrifizierung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt“ ist ein zentrales Element dieser Masterarbeit. Als Basis für die Kalkulation dienten Daten, die von der GKB zur Elektrifizierung ihres Streckennetzes bereitgestellt wurden. Die Mengenangaben für Oberleitungs- und Fundierungsarbeiten wurden mittels der FLTG-Software präzisiert.

Es ist wichtig zu betonen, dass sich diese Arbeit lediglich auf den Abschnitt „Weiz Stadt“ fokussiert und nicht den gesamten Bauprozess oder Zeitplan der Bahnstreckenelektrifizierung „Gleisdorf Weiz“ einbezieht. Während der Umsetzung des Elektrifizierungsprojekts könnten Synergieeffekte auftreten, die einen wesentlichen Einfluss auf die Kosten ausüben.

Die Kosten für die Elektrifizierung setzen sich ausfolgenden Positionen zusammen:

- **Projektleitung:** Der Projektleitung obliegt die Gesamtverantwortung des Projekts, von der Planung bis zur Ausführung. Sie ist verantwortlich für die ordnungsgemäße Umsetzung sowie die Einhaltung der zeitlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Für die Kosten der Projektleitung wurden 1,5 % der Gesamtkosten veranschlagt, was in etwa einem Betrag von **25.000 €** für die Elektrifizierung entspricht.
- **Oberleitungsplanung:** Zur Kalkulation der Kosten für die Oberleitungsplanung dienten die Ansätze der Elektrifizierung der GKB als Grundlage. Hierbei wurde mit 10.000 € je Kilometer Oberleitung kalkuliert, wodurch sich geschätzte Kosten für den betreffenden Streckenabschnitt von ca. **7.000 €** ergeben.[247]
- **Erdungskonzept Masse-Feder-System:** Die Schätzung der Kosten für das Erdungskonzept des Masse-Feder-Systems basiert auf den Kostenansätzen, die bei der Elektrifizierung des Streckennetzes der GKB verwendet wurden. Die angenommenen Kosten für diese Leistung belaufen sich auf **3.000 €**.[248]
- **Grundeinlöse:** Basierend auf einem durchschnittlichen Quadratmeterpreis von 100 € wurden die Kosten für die Grundeinlösung kalkuliert. Zudem wurde die benötigte Fläche für die Gründungen berücksichtigt, welche variieren kann je nach gewählter Gründungsart. Mit einer durchschnittlichen Fläche von 3 m² pro Mast ergibt sich ein Gesamtbetrag von **4.800 €**, berechnet aus 16 Masten multipliziert mit 3 m² und 100 € pro m².[249]
- **Vermessung:** Bei der Kostenschätzung für die Vermessung des Projekts orientierte sich die Berechnung an den Kostenmodellen der GKB. Für den Bereich „Weiz Stadt" wurden die Vermessungskosten auf rund **3.000 €** geschätzt.[250]
- **Geologische Untersuchung:** Für die Kostenschätzung der Bodenuntersuchung wurden Kostenansätze der GKB verwendet. Für die geologische Untersuchung der Bodenbeschaffenheit im Streckenabschnitt „Weiz Stadt“ wurden Kosten in Höhe von **20.000 €** kalkuliert.[251]
- **Kampfmitteltechnische Untersuchung:** Für die Elektrifizierung wurde die Notwendigkeit einer Untersuchung auf vorhandene Kampfmittel im betreffenden Abschnitt berücksichtigt. Die Kostenberechnung basiert auf den Kostenansätzen für das Elektrifizierungsprojekt der GKB. Für die kampfmitteltechnische Untersuchung im Bereich „Weiz Stadt“ wurden Kosten von **20.000 €** kalkuliert.[252]

[247] Vgl.: Experteninterview Martin Waltl, 20.05.2023.
[248] Vgl.: Experteninterview Martin Waltl, 20.05.2023.
[249] Quelle: immowert123.at, (05.07.2023).
[250] Vgl.: Experteninterview Martin Waltl, 20.05.2023.
[251] Vgl.: Experteninterview Martin Waltl, 20.05.2023.
[252] Vgl.: Experteninterview Martin Waltl, 20.05.2023.

- **Gutachtertätigkeiten - Elektrotechnik §31a-§34b-TSI:** Basierend auf den Kostenvorgaben für Elektrifizierungsprojekte der GKB wurden die Ausgaben für erforderliche gutachterlichen Tätigkeiten auf **5.000 €** geschätzt.[253]
- **§40-Person Oberleitung:** Die Kosten für die §40-Person Oberleitung des Elektrifizierungsprojekts wurden nach den Kostenansätzen der Elektrifizierung der GKB mit **8.000 €** geschätzt.[254]
- **Baustellen- und Planungskoordinator:** Die Kosten für die Umsetzung des Bauarbeitenkoordinationsgesetzes des Elektrifizierungsprojekts wurden nach den Kostenansätzen der Elektrifizierung der GKB mit **7.000 €** geschätzt.[255]
- **Örtliche Bauaufsicht Oberleitung:** Basierend auf den Kostenansätzen für die Elektrifizierung des Streckennetzes der GKB wurden die Ausgaben für die Örtliche Bauaufsicht, kurz ÖBA, mit 16.000 € monatlich kalkuliert. Es wurde ermittelt, dass die Dienste der ÖBA über einen Zeitraum von zwei Monaten benötigt werden, was Gesamtkosten von **32.000 €** bedeutet.[256]
- **Beistellmaterial:** Das Beistellmaterial ist jenes Material, das vom Auftraggeber oder Auftragnehmer bereitgestellt wird. Zu diesen Materialien zählen beispielsweise Fahrdraht, Längstragseil, Oberleitungsmast und Rammpfahl. Die genaue Menge des Beistellmaterials wurde mithilfe der FLTG-Software bestimmt. Die Kostenschätzung für dieses Material basiert auf den Kostenansätzen der Elektrifizierung der GKB. Die berechneten Kosten für das Beistellmaterial im Bereich „Weiz Stadt“ belaufen sich auf **185.335 €**. Eine detaillierte Kostenaufschlüsselung für das Beistellmaterial des Projekts ist im Anhang 2 der Masterarbeit zu finden.[257]
- **Erschütterungstechnische Untersuchung:** Für die erschütterungstechnischen Untersuchung wurden die Kostenansätze aus dem Elektrifizierungsprojekt der GKB verwendet. Die voraussichtlichen Aufwendungen für die Analyse von Erschütterungen im Zusammenhang mit der Elektrifizierung des Abschnitts „Weiz Stadt“ werden auf etwa **30.000 €** beziffert.[258]
- **Fundierungsarbeiten:** Die Kosten der Fundierungsmaßnahmen schließen alle Kosten ein, bis auf jene für das Beistellmaterial. Mit der FLTG-Software ließ sich der Umfang der benötigten Arbeiten präzise bestimmen. Die Kostenansätze für die einzelnen Leistungen basieren auf den Ansätzen des Elektrifizierungsprojekts der GKB. Für den Streckenabschnitt „Weiz Stadt“ belaufen sich die Kosten auf **191.560 €**. Eine detaillierte Aufschlüsselung dieser Kosten ist im Anhang 2 der Masterarbeit zu finden.[259]

[253] Vgl.: Experteninterview Martin Waltl, 20.05.2023.
[254] Vgl.: Experteninterview Martin Waltl, 20.05.2023.
[255] Vgl.: Experteninterview Martin Waltl, 20.05.2023.
[256] Vgl.: Experteninterview Martin Waltl, 20.05.2023.
[257] Vgl.: Experteninterview Martin Waltl, 20.05.2023.
[258] Vgl.: Experteninterview Martin Waltl, 20.05.2023.
[259] Vgl.: Experteninterview Martin Waltl, 20.05.2023.

- **Umbau Straßenentwässerung B64:** Die Kosten für die Umbaumaßnahmen der Straßenentwässerung mussten abgeschätzt werden. Hierbei wird angenommen, dass sich die Kosten auf 100 € pro Meter belaufen und dass ca. 600 m der Entwässerung umgebaut werden müssen. Daraus resultieren Gesamtkosten von **60.000 €** für die Anpassungsarbeiten.
- **Oberleitungsmontage:** Abgesehen von den Kosten für das Beistellmaterial, umfassen die Ausgaben für die Oberleitungsmontage alle notwendigen Leistungen, die mit Hilfe der FLTG-Software präzise bestimmt werden konnten. Die Kostenschätzung basiert auf den Ansätzen des Elektrifizierungsprojekts der GKB. Die Gesamtkosten für die Oberleitungsarbeiten im Streckenabschnitt „Weiz Stadt“ liegen bei **534.301 €**. In diesem Betrag sind 100.000 € für die Implementierung des Erdungskonzepts des Masse-Feder-Systems und 200.000 € für die Erdung der beiden Bahnsteige im genannten Streckenabschnitt enthalten. Details zur Kostenermittlung der Oberleitungsmontage sind im Anhang 2 dieser Masterarbeit zu finden.
- **Anprallschutz Oberleitungsmaste:** Für die Schätzung der Kosten des Anprallschutzes der 16 Oberleitungsmaste wurde angenommen, dass der Schutz jedes Mastes 1.000 € kostet. Somit ergeben sich Gesamtkosten von **16.000 €** für alle Maste, die direkt an der Straße stehen und daher einen Anprallschutz benötigen.
- **Profiltore:** Die Kosten für die Profiltore an den Eisenbahnkreuzungen mussten abgeschätzt werden. Hierbei wurde geschätzt, dass Kosten von **30.000 €** pro Eisenbahnkreuzung entstehen. Bei insgesamt vier Eisenbahnkreuzungen summieren sich die Kosten daher auf 120.000 €.
- **Erdungs- und Hochspannungsprüfung:** Die Kostenschätzung für die Erdungs- und Hochspannungsprüfung basiert auf den Kostenansätzen der GKB. Pro Kilometer Eisenbahnanlage werden Kosten von 13.000 € angesetzt. Aufgrund der vielen zusätzlichen Erdungsmaßnahmen im betreffenden Streckenabschnitt wurde ein Gesamtbetrag von **30.000 €** für die Erdungs- und Hochspannungsprüfung veranschlagt.[260]

[260] Vgl.: Experteninterview Martin Waltl, 20.05.2023.

In Tabelle 7 werden die für die Elektrifizierung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt“ erforderlichen Maßnahmen und die damit verbundenen Kosten dargestellt.

Gesamtkosten Elektrifizierung „Weiz Stadt"			
Leistungen	**Kosten**	**Risiko**	**Kosten**
Projektleitung	25.000 €	25 %	31.250 €
Oberleitungsplanung	7.000 €	25 %	8.750 €
Erdungskonzept Masse-Feder-System	3.000 €	25 %	3.750 €
Grundeinlöse	4.800 €	25 %	6.000 €
Vermessung	3.000 €	25 %	3.750 €
Geologische Untersuchung	20.000 €	25 %	25.000 €
Kampfmitteltechnische Untersuchung	20.000 €	25 %	25.000 €
Gutachtertätigkeiten: Elektrotechnik §31a-§34b-TSI	5.000 €	25 %	6.250 €
§40-Person ET	8.000 €	25 %	10.000 €
Baustellen- und Planungskoordinator	7.000 €	25 %	8.750 €
Örtliche Bauaufsicht Oberleitung	32.000 €	25 %	40.000 €
Beistellmaterial	185.335 €	25 %	231.669 €
Erschütterungstechnische Untersuchung	30.000 €	25 %	37.500 €
Fundierungsarbeiten	191.560 €	25 %	239.450 €
Umbau Straßenentwässerung B64	60.000 €	25 %	75.000 €
Oberleitungsmontage	534.301 €	25 %	667.876 €
Anprallschutz Oberleitungsmaste	16.000 €	25 %	20.000 €
Profiltore	120.000 €	25 %	150.000 €
Erdungs- und Hochspannungsprüfung	30.000 €	25 %	37.500 €
Gesamtkosten Elektrifizierung			**1.627.495 €**

Tabelle 7: Gesamtkosten Elektrifizierung „Weiz Stadt"[261]

Die geschätzten Gesamtkosten für die Elektrifizierung des Abschnitts belaufen sich auf 1.627.495 €. Eine präzise Baukostenplanung ist unerlässlich, um die finanzielle Tragfähigkeit des Projekts sicherzustellen. Allerdings können verschiedene unbekannte Faktoren und Risiken, wie hohe Inflationsraten, schnelle Zinserhöhungen oder Materiallieferengpässe, die genaue Kostenkalkulation beeinflussen. Ein Risikozuschlag von 25 % wurde daher hinzugefügt, um für solche Unwägbarkeiten zu kompensieren und die finanzielle Planbarkeit sicherzustellen.

[261] Quelle: Eigene Darstellung.

4.9.1 Fazit Kostenermittlung

Die Kostenermittlung für die Elektrifizierung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt“ ist ein komplexes Unterfangen, das eine umfassende Analyse und detaillierte Planung erfordert. Mithilfe des Einsatzes der FLTG-Software und die Verwendung von Kostenansätzen der Elektrifizierung der GKB, ermöglichten eine fundierte Schätzung der Kosten.

Es ist wesentlich hervorzuheben, dass sich die Arbeit ausschließlich auf den Abschnitt Weiz Stadt" konzentriert und nicht den gesamten Elektrifizierungsprozess der Bahnstrecke Gleisdorf - Weiz berücksichtigt. Dies könnte Synergieeffekte mit sich bringen, die die Gesamtkosten beeinflussen.

Die Ermittlung ergab Gesamtkosten in Höhe von 1.627.495 €, wobei diverse Posten wie Projektleitung, Oberleitungsplanung, Erdungskonzept und viele weitere berücksichtigt wurden. Besonders hervorzuheben ist, dass die Kosten für die Errichtung der Oberleitungsanlage allein 70 % der Gesamtkosten ausmachen, während die restlichen 30 % sich auf zusätzliche, für die Elektrifizierung notwendige Leistungen verteilen.

Um potenzielle Risiken wie Inflation oder Lieferengpässe abzudecken, wurde ein Risikozuschlag von 25 % auf die geschätzten Kosten hinzugefügt. Es ist zu betonen, dass die genaue Kostenschätzung durch diverse Faktoren komplex und herausfordernd gestaltet wird. Dennoch liefert diese Arbeit eine fundierte Basis zur weiteren Planung und Umsetzung der Elektrifizierung des Streckenabschnitts.

Insgesamt unterstreicht dieses Kapitel die Bedeutung einer sorgfältigen, datengetriebenen und vorausschauenden Kostenermittlung in Bauprojekten, um sowohl die finanzielle Effizienz als auch die erfolgreiche Umsetzung zu gewährleisten.

5 Conclusio

Die Elektrifizierung von Eisenbahnstrecken hat in den letzten Jahrzehnten aufgrund einer nachhaltigen Verkehrspolitik an Bedeutung gewonnen. Vor diesem Hintergrund untersucht die vorliegende Masterarbeit den Streckenabschnitt „Weiz Stadt" der Eisenbahnstrecke Gleisdorf - Weiz.

Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass das ÖBB-Oberleitungssystem für diese Elektrifizierung am besten geeignet ist. Neben technischen Vorteilen, wie der Interoperabilität und dem etablierten Regelwerk, bringt es auch ökonomische Vorteile durch eine effiziente Integration in die bestehenden Infrastrukturen.

Die technische Machbarkeitsuntersuchung betonte die Tiefe und Komplexität des Projekts. Der gesamte Streckenabschnitt bis zum Andritz Transformatorenwerk zeigt individuelle Herausforderungen.

Die technische Umsetzbarkeit der Elektrifizierung berührt viele Aspekte. Dazu zählen die genaue Bestimmung der Maststandorte, die komplexe Weichenbespannung, der Lichtraum, der Schutz von Flora und Fauna sowie spezielle Themen wie Erdung und Rückstromführung. All diese Aspekte wurden in der Arbeit gründlich untersucht und bewertet.

Die Simulationen mit der FLTG-Software ermöglichten es, potenzielle Konfliktpunkte präzise zu identifizieren, besonders an denjenigen Eisenbahnkreuzungen, die einem hohen Verkehrsaufkommen ausgesetzt sind.

Angesichts der umfangreichen Daten und Informationen, die gesammelt wurden, ergibt sich die zentrale Forschungsfrage: **„Ist die Elektrifizierung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt" technisch umsetzbar?“** Ja, sie ist technisch realisierbar. Die gründliche technische Analyse hat die Vielfalt und Tiefe des Projekts unterstrichen. Es wurde demonstriert, dass durch sorgfältige Planung, moderne digitale Tools und Fachexpertise die Herausforderungen gemeistert werden können.

Das umfangreiche Set von Projektunterlagen, das im Rahmen dieser Arbeit erstellt wurde, bietet zusätzlich eine solide Basis für die nächsten Schritte der Elektrifizierung. Es gewährleistet, dass das Projekt nicht nur theoretisch, sondern auch praktisch umsetzbar ist.

Die Elektrifizierung der Eisenbahnstrecke „Weiz Stadt" verdeutlicht die Komplexität, die weit über bauliche Aspekte hinausgeht. Ein zentraler Aspekt dabei ist die elektromagnetische Verträglichkeit. Untersuchungen zeigten, dass Rückleiter signifikant dazu beitragen können, den elektromagnetischen Einfluss auf die Umgebung zu reduzieren, wodurch potenzielle Störungen von elektronischen Geräten sowie der Einfluss auf den Menschen in Streckennähe verringert werden.

Ökologische Aspekte sind ebenso wichtig. Eine Umweltverträglichkeitsprüfung für „Weiz Stadt" zeigte, dass die Elektrifizierung nur geringe bis moderate Auswirkungen auf lokale Schutzgüter hat.

Die beengten Platzverhältnisse in „Weiz Stadt" machen den Erwerb von Grundstücken für 16 der 25 Maststandorte notwendig. Das könnte zu Projektverzögerungen führen, besonders wenn Verhandlungen mit den Grundstückseigentümern Probleme bereiten.

Die genaue Bestimmung der Maststandorte, geologische Untersuchungen für die Mastfundamente sowie kampfmitteltechnische und bodenchemische Untersuchungen sind essenziell. Diese Schritte stellen sicher, dass beim Bau keine unerwarteten Probleme auftreten.

Genauso kritisch sind mögliche Erschütterungen durch Bauarbeiten zu betrachten, die negative Auswirkungen auf angrenzende Gebäude haben können, was zu zusätzlichen Kosten führen kann. Darüber hinaus sind der genaue Bauablauf und der Zeitplan von Bedeutung. Jede Abweichung kann erhebliche Folgen haben.

Um auf die zentrale Forschungsfrage zurückzukommen: **„Welche Herausforderungen ergeben sich bei einer Elektrifizierung des Weizer Stadtzentrums und welche Maßnahmen müssen ergriffen werden?"** – die Antwort ist, dass die Herausforderungen vielschichtig und komplex sind. Sie umfassen technische, ökologische, rechtliche, eigentumsbezogene, logistische und zeitliche Aspekte. Erforderliche Maßnahmen beinhalten detaillierte Planung, Berücksichtigung rechtlicher Fragen und sorgfältiges Management.

In dieser Masterarbeit wurde auch untersucht, welche Kosten durch die Elektrifizierung von „Weiz Stadt" entstehen würden. Unter Verwendung der FLTG-Software und basierend auf den Erfahrungen der GKB-Elektrifizierung wurde ein solider Rahmen geschaffen. Die Untersuchung ergab geschätzte **Gesamtkosten von 1.627.495 €** für den Abschnitt.

Abschließend verdeutlichen die Ergebnisse dieser Masterarbeit nicht nur die technische und ökonomische Realisierbarkeit des Elektrifizierungsprojekts des Streckenabschnitts „Weiz Stadt", sondern auch dessen weitreichenden Nutzen für die Region. Die sorgfältige Analyse, Planung und Kostenberechnung bieten nicht nur ein detailliertes Bild des aktuellen Projekts, sondern legen auch einen wertvollen Grundstein für ein zukünftiges Vorhaben. Diese Masterarbeit kann somit den Steiermärkischen Landesbahnen als Blaupause für die Umsetzung des Elektrifizierungsprojekts dienen. Durch die Verbindung von Theorie und Praxis werden künftige Elektrifizierungsbemühungen von den Erkenntnissen profitieren, die in dieser Arbeit gewonnen wurden. In diesem Sinne kann die Masterarbeit als wichtiger Schritt in Richtung einer umweltfreundlichen und effizienten Eisenbahninfrastruktur in der Steiermark und darüber hinaus betrachtet werden.

Literatur:

Arnd, Stephan: Alternative Antriebe, Aber welche denn?, Frankfurt am Main, 2019.

Biesnack, Hartmut: Energieversorgung elektrischer Bahnen, Wiesbaden, 2006.

Bonk, Manfred: Erschütterungstechnisches Gutachten zum Baugebiet „östlich Fallsteinweg“ Wolfenbüttel. Einwirkung durch den Sprengbetrieb im benachbarten Steinbruch, Garbsen, 2016.

Filipović, Žarko: Elektrische Bahnen Grundlagen, Triebfahrzeuge, Stromversorgung, Berlin, 2013.

Frendrich Lothar: Handbuch Eisenbahninfrastruktur, Wiesbaden, 2019.

GKB: Startfolder Jahrhundert-Projekt Elektrifizierung, Deutschlandsberg, 2021.

Haubenwallner, Werner: Skript Grundlagen Elektrische Triebfahrzeuge; St Pölten, 2017.

Hofbauer, Gerhard: Oberleitungsplanung und Simulierung des Stromabnehmerlaufes, Hollabrunn, 2009.

Hofbauer, Gerhard: Kurzübersicht FLTG, Hollabrunn, 2020.

Hödl, Reinhold: Skript Planung/Behördenverfahren/Bauabwicklung WS 2020/2021, St Pölten: 2020.

Irsigler, Manfred: Montageprozesse für Fahrleitungsanlagen, Hamburg, 2022.

Irsigler, Manfred: Systemtechnik von HGV-Oberleitungen, Hamburg, 2020.

Kapfenberger, Wolfgang: Skript Fahrleitungsanlagen und Bau Teil 1 und 2, St Pölten, 2020.

Kießling, Friedrich: Fahrleitung Elektrischer Bahnen, Baiersdorf, 2014.

Land Steiermark: Regionaler Mobilitätsplan Oststeiermark, Graz, 2019.

Lechner, Walter: Skript Energieversorgungsanlagen, St Pölten, 2018.

Neudorfer, Harald: Skript Elektrische Bahnen, Darmstadt, 2021.

ÖBB-Infrastruktur AG: ÖBB-Regelwerk 01.04. Lichtraum, Wien 2018.

ÖBB-Infrastruktur AG: ÖBB-Regelwerk 09.12. Kriegsrelikte in Planung und Bau, Wien, 2016.

ÖBB-Infrastruktur AG: ÖBB-Regelwerk 12.10.01. Vorgaben für die Planung und Ausführung der ÖBB-Oberleitungsanlage, Wien, 2010.

ÖBB-Infrastruktur AG: ÖBB-Regelwerk ED 0 bis ED 999 Einheitsdarstellungen Band III, Wien 2021.

ÖBB-Infrastruktur AG: ÖBB-Regelwerk ED 5000 bis ED 5999 Übersichtszeichnungen Band I, Wien 2021.

ÖBB-Infrastruktur AG: ÖBB-Regelwerk ED 6000 bis ED 6999 Einzelteilzeichnungen Band II, Wien 2021.

ÖBB-Infrastruktur AG: ÖBB-Regelwerk TR EL 42 Schutzmaßnahmen für Oberleitungen, Wien, 2011.

ÖBB-Infrastruktur AG: ÖBB-Schulungsunterlagen Beratung Kampfmittelräumung, Wien, 2011.

ÖBB-Infrastruktur AG: ÖBB-Schulungsunterlagen Für EN 15, EMV, Wien, 2019.

ÖBB-Infrastruktur AG: ÖBB-Schulungsunterlagen Für EN 15, Oberleitungsmaste, Gründungen, Wien, 2019.

ÖBB-Infrastruktur AG: ÖBB-Schulungsunterlagen Für EN 15, Rückstromführung, Bahnerdung und Potentialausgleich, Wien, 2019.

Pirner, Gerhard: Planungsentwurf zur Bahnstromversorgung Elektrifizierung Nordostbayern, Etzelwang, 2020.

Riegler, Herwig: Netzentwicklung & Elektrifizierung Steirische Ostbahn, Feldbach, 2022.

Schienen Control: Jahresbericht 2020, Wien, 2021.

Schmautzer, Ernst: Elektromagnetische Felder im Bereich von elektrifizierten Bahnanlagen, Graz, 2009.

Steimel, Andreas: Elektrische Triebfahrzeuge und ihre Energieversorgung, Augsburg, 2017.

VDE: Alternativen zu Dieseltriebzügen im Schienenpersonennahverkehr. Einschätzung der systemischen Potenziale, Frankfurt am Main, 2019.

Literatur Internet:

- **altlasten.gv.at:**

  https://www.altlasten.gv.at/atlas/verdachtsflaechenkataster.html, (20.06.2023).

- **dewesoft.com:**

  https://dewesoft.com/de/blog/hochspannungstests-an-der-eisenbahn-infrastruktur

- **hydrotec.com:**

  https://www.hydrotec.com/de/referenz/system-maxipur-leutershausen, (07.06.2023).

- **immowert123.at:**

  https://www.immowert123.at/grundstueckspreise/steiermark/weiz/weiz/, (05.07.2023).

- **rehberg-email.net:**

  http://rehbergemail.net/download/carsten/TE%201%20Grundlagen%20der%20elektrischen%20Triebfahrzeuge.pdf, (16.05.2023).

- **ris.bka.gv.at:**

  https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10010767, (05.12.2022).

- **roleit.de:**

  https://www.roleit.de/wp-content/uploads/FOTOS-Projekte/Rammschutz/Schwerer-Anprallschutz/roleit-schwerer-anprallschutz-5.jpg, (03.07.2023).

- **springer.com:**

  https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-56062-4_14/figures/27, (15.10.2022).

- **steiermark.orf.at:**

  https://steiermark.orf.at/v2/news/stories/2724300/

Experteninterview:

- **Daniel Schreiber** BSc. (Unternehmens Betriebsleiter STLB), am 11.05.2022.
- Dipl.-Ing. **Martin Waltl** (Projektleiter Elektrifizierung GKB), am 20.06.2023.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bestandsinfrastruktur Streckenabschnitt „Weiz Stadt" 9
Abbildung 2: Übersicht über Bahnstromarten für Vollbahnen in Europa 14
Abbildung 3: Aufbau Bahnstromnetz 16,7 Hz 16
Abbildung 4: Schematische Darstellung eines Bahnstromkreises.....18
Abbildung 5: Elektrifiziertes Streckennetz der ÖBB, 2021 und 2030.....19
Abbildung 6: Das steirische Eisenbahnnetz.....21
Abbildung 7: Oberleitungssysteme elektrischer Bahnen 23
Abbildung 8: Allgemeiner Aufbau einer Oberleitung 25
Abbildung 9: Streckenverlauf Gleisdorf - Weiz.....26
Abbildung 10: Streckenabschnitt „Weiz Stadt“ 30
Abbildung 11: Ablauf Entwurfs- und Ausführungsplanung von Oberleitungsprojekten 31
Abbildung 12: Musterschaltplan.....34
Abbildung 13: Oberleitungsschaltplan für den Streckenabschnitt „Weiz Stadt" 35
Abbildung 14: Bezug der Oberleitungsanlage zur Bahnanlage 37
Abbildung 15: Darstellung Seitenverschiebung einer Oberleitungskette 38
Abbildung 16: Profilfahrdraht CF-100 und CF-120 mm^2.....39
Abbildung 17: Drehausleger Bauform „Z“ und „D“ mit vorgesetzter Isolation 40
Abbildung 18: Nachspanneinrichtung mit gemeinsam geführtem Fahrdraht und Tragseil.....41
Abbildung 19: Aufbau einer Ganzsektion.....42
Abbildung 20: Fahrdrahtruhelage und Auslenkung des Fahrdrahts bei Windbelastung 43
Abbildung 21: Lichtraumprofil für den Stromabnehmer 44
Abbildung 22: Streckentrenner 45
Abbildung 23: Zweifeldrige Sektionstrennung.....46
Abbildung 24: Elektrische Trennung der Anschlussbahn „Andritz Hydro Nord".....48
Abbildung 25: Funktionen von Oberleitungsmasten.....49
Abbildung 26: Stahlträgermast, Rechteckaufsatzmast und Stahlbetonmast der Bauform F..50
Abbildung 27: Gründungsarten: Betonblockhohlfundament, Sonderfundament und Rammfundament.....52
Abbildung 28: Eingabedatei FLTGEdit.....54

Abbildung 29: Hauptdiagonalfenster zur Mastaufteilung 56
Abbildung 30: Eingabemaske für die Mastbeschreibung 57
Abbildung 31: Oberleitungsstützpunkt WZN-01 Streckenabschnitt „Weiz Stadt"....58
Abbildung 32: Darstellung des Stromabnehmerdurchgangs am Stützpunkt....59
Abbildung 33: Darstellung des Längsspannfeldes 60
Abbildung 34: Oberleitungsanordnung über Weichen....64
Abbildung 35: Weichenöffnungstabelle....65
Abbildung 36: Weichenbespannung Wz30 66
Abbildung 37: Einschränkung des Bedienraums 67
Abbildung 38: 3D-Darstellung Einhaltung des Lichtraumes im Streckenabschnitt „Weiz Stadt“ 68
Abbildung 39: Querprofil Oberleitungsmast WZN-01 69
Abbildung 40: Vogel- und Kleintierschutz gemäß ÖBB-Regelwerk 71
Abbildung 41: Vogel- und Kleintierschutz im Streckenabschnitt „Weiz Stadt" 72
Abbildung 42: Weichenbereich Wz30 und Wz24 73
Abbildung 43: 3D-Darstellung Oberleitungsplanung Streckenabschnitt „Weiz Stadt“....75
Abbildung 44: Zwangspunkte Mastsituierung Mast WZN-08....76
Abbildung 45: Oberleitungssystem mit Rückleiterseil 77
Abbildung 46: Bauwerkserdung....78
Abbildung 47: Oberleitungs- und Stromabnehmerbereich. 79
Abbildung 48: Oberleitungs- und Stromabnehmerbereiche Mast WZN-08....80
Abbildung 49: Rückstromführung und Bahnerdung Bahnsteige....81
Abbildung 50: Rückstromführung und Bahnerdung Masse Federsystem....82
Abbildung 51: ED 5442 Mindestabstände gegen direktes Berühren 84
Abbildung 52: ED 5442 Ausführung von Hindernissen im öffentlichen Bereich....85
Abbildung 53: EK km 15,220 Birkfeldstraße 87
Abbildung 54: EK km 15,350 Europa-Alle....88
Abbildung 55: EK km 15,485 Siegfried-Esterl-Gasse....89
Abbildung 56: Oberleitungsplanung EK km 15,650 Doktor-Karl-Wildmann-Straße 89
Abbildung 57: Ausführung Profiltor Deutsche Bahn an Eisenbahnkreuzungen. 90
Abbildung 58: Oberleitungsplanung Anschlussbahn „Andritz Hydro Weiz“ 92

Abbildung 59: Haltestelle „Weiz Zentrum" 94
Abbildung 60: Haltestelle „Weiz Nord" 95
Abbildung 61: Sichtkeilausbildung in der Geraden gemäß ÖBB-Regelwerk 96
Abbildung 62: Betrachtung Situation Signal SXWz 30 97
Abbildung 63: Betrachtung Situation Signal SZ 176 97
Abbildung 64: Eisenbahnkreuzung „Birkfeldstraße“ (km 15,220) 98
Abbildung 65: Eisenbahnkreuzung „Europa-Allee“ (km 15,350)....99
Abbildung 66: Eisenbahnkreuzung „Doktor-Karl-Wildmann-Straße“ (km 15,650)....100
Abbildung 67: Situation an der Straße B64....100
Abbildung 68: Anprallschutz von Oberleitungsmaste....101
Abbildung 69: Situation der Straßenentwässerung....102
Abbildung 70: Situation Mast WZN-07 und WZN-09....103
Abbildung 71: Situation der Straßenbeleuchtung entlang der B64....104
Abbildung 72: Ausschnitt des Oberleitungsplans der Strecke „Weiz Stadt" 107
Abbildung 73: Querprofil Mast WZN-01....108
Abbildung 74: Mastverzeichnis „Weiz Stadt"....110
Abbildung 75: Fundierungsverzeichnis „Weiz Stadt"....111
Abbildung 76: Referenz- und Basiswerte für die Allgemeinbevölkerung in 16,7 Hz und 50 Hz Felder....113
Abbildung 77: Expositionskoeffizient Elektromagnetischer Felder mit und ohne Rückleiter 114
Abbildung 78: Vergleich der Gründungsarten anhand der Gründung des Mast WZN-13. ...119
Abbildung 79: Situation der Flächeninanspruchnahme im Zuge der Bauphase an Mast WZN-11....120
Abbildung 80: Systemskizze indirekte Mastabsteckung....121
Abbildung 81: Geotechnische Kennwerte für Gründungen 123
Abbildung 82: Fundamentbestimmung für Stahlbetonmaste....123
Abbildung 83: Luftangriffe auf österreichische Bahnanlagen 125
Abbildung 84: Prozess Kampfmitteluntersuchung....126
Abbildung 85: Fotodokumentation Kampfmittel Streckennetz GKB 127
Abbildung 86: Kampfmittelbelastungskategorien Streckennetz GKB 128
Abbildung 87: Schema Tiefensondierung 129

Abbildung 88: Sondierraster N-Mast und F-Mast 129

Abbildung 89: Technische Kampfmitteluntersuchung von Oberleitungsmasten. 130

Abbildung 90: ÖBB-Hochspannungsprüfanlage 131

Abbildung 91: Einbauten Graz Vbf. 133

Abbildung 92: Einbauten Graz Vbf. 134

Abbildung 93: Herstellung einer Rammpfahlgründung.....136

Abbildung 94: Übersicht von Altlasten und Verdachtsflächen im Streckenabschnitt „Weiz Stadt" 137

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Streckenlängen und Anteile der Bahnstromsysteme 13

Tabelle 2: Bahnstromsysteme in Österreich 20

Tabelle 3: Ausführungsmerkmale der ÖBB-Oberleitungstype 1.1 im Streckenabschnitt „Weiz Stadt" 36

Tabelle 4: Kriterienkatalog Auswirkungen auf die Schutzgüter 116

Tabelle: 5 Bewertungsmatrix Elektrifizierung „Weiz Stadt".....116

Tabelle 6: Bilanz Kampfmittel in Österreich 124

Tabelle 7: Gesamtkosten Elektrifizierung „Weiz Stadt" 144

Abkürzungsverzeichnis

3D	dreidimensional
A	Ampere
A/m	Ampere pro Meter
AC	Wechselstrom
AG	Aktiengesellschaft
B	Magnetische Flussdichte
B64	Bundesstraße 64
CAD	computer aided design
Ca.	zirka
City-S-Bahn	City-Schnell-Bahn
°C	Grad Celsius
cm	Zentimeter
CO_2	Kohlenstoffdioxid
DB	Deutsche Bahn
DC	Gleichstrom
DIN	Deutsches Institut für Normung
Drehausleger Bauform „D“	auf Druck belastet
Drehausleger Bauform „Z“	auf Zug belastet
ED	Einheitsdarstellung
E	Elektrische Feldstärke
EN	Europäische Norm
F-Mast	Oberleitungsmast der Bauform F
F3A	Oberleitungsmast der Bauform F3A
FLTG	Fahrleitungsprojektierungssoftware
FOK	Fundamentoberkante
GKB	Graz-Köflacher Bahn
GIS	Geoinformationssystem
H	Magnetische Feldstärke
Hz	Hertz

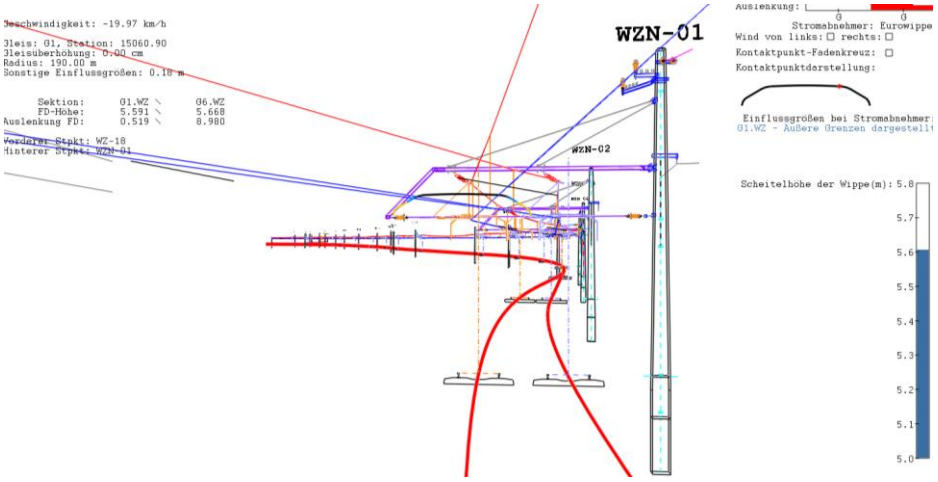
kA	Kiloampere
km/h	Kilometer pro Stunde
km	Kilometer
kV	Kilovolt
kV/m	Kilovolt pro Meter
LKW	Lastkraftwagen
m	Meter
mA/m^2	Milliampere pro Quadratmeter
max.	Maximum
m/s	Meter pro Sekunde
mm/s	Millimeter pro Sekunde
mm^2	Quadratmillimeter
mm	Millimeter
m^2	Quadratmeter
Mx	Biegemomente Punkt x
My	Biegemomente Punkt y
N	normal
N-Mast	Oberleitungsmast der Bauform N
ÖBB	Österreichische Bundesbahnen
ÖNORM	österreichische Normen
ÖVE	Österreichischer Verband für Elektrotechnik
P	parallel
P1	Punkt 1
P2	Punkt 2
P3	Punkt 3
S	Anhub
SBB	Schweizerische Bundesbahnen
S-Leitung	Speiseleitung
SOK	Schienenoberkante
STLB	Steiermärkische Landesbahnen

TSI	Technische Spezifikationen für die Interoperabilität
TU	Technische Universität
U-Leitung	Umgehungsleitung
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
UVP-G	Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz
V	Volt
Vgl.	Vergleiche
V-Leitung	Verstärkungsleitung
Wz	Weiz
WZN	Weiz Nord
z.B.	zum Beispiel
§31a	Antrag eisenbahnrechtlichen Baugenehmigung
§34b	Antrag Betriebsbewilligung
§40	Verzeichnis eisenbahntechnischer Fachgebiete
µT	Mikrotesla
Stk.	Stück

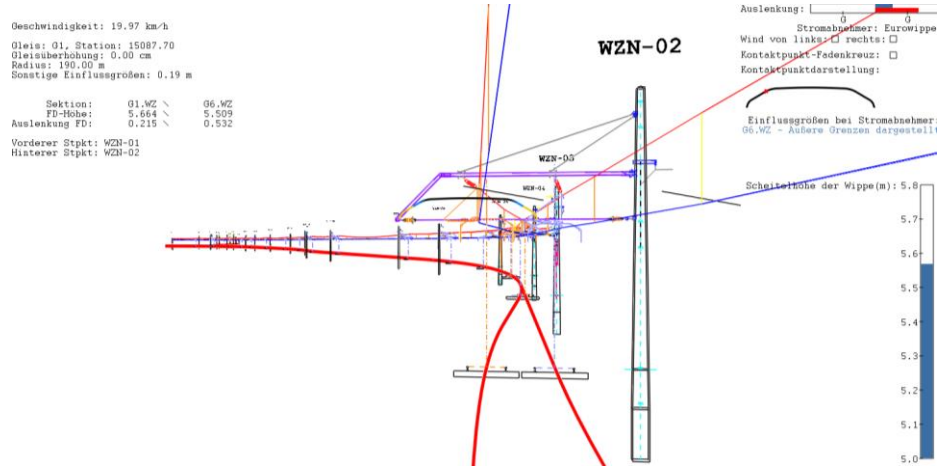
6 Anhang

6.1 Anhang 1 Zusammenwirken Oberleitung Stromabnehmer

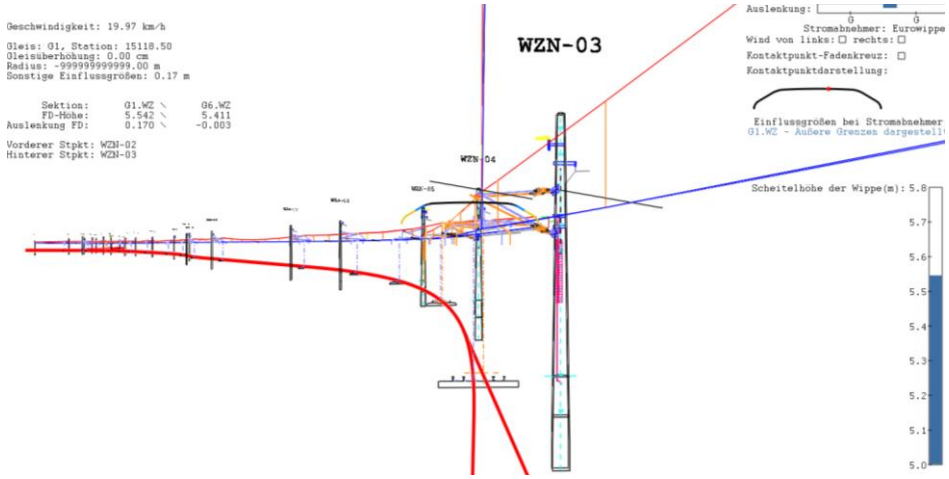
Mast: WZN-01



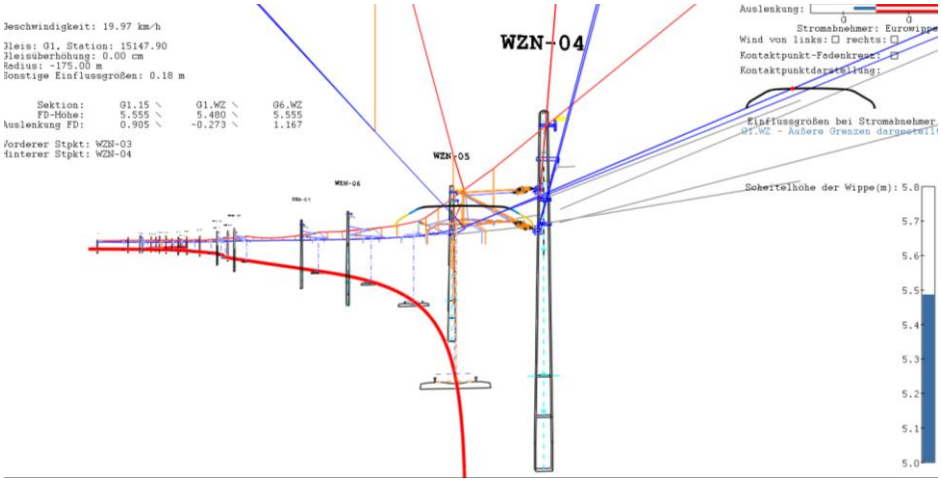
Mast: WZN-02



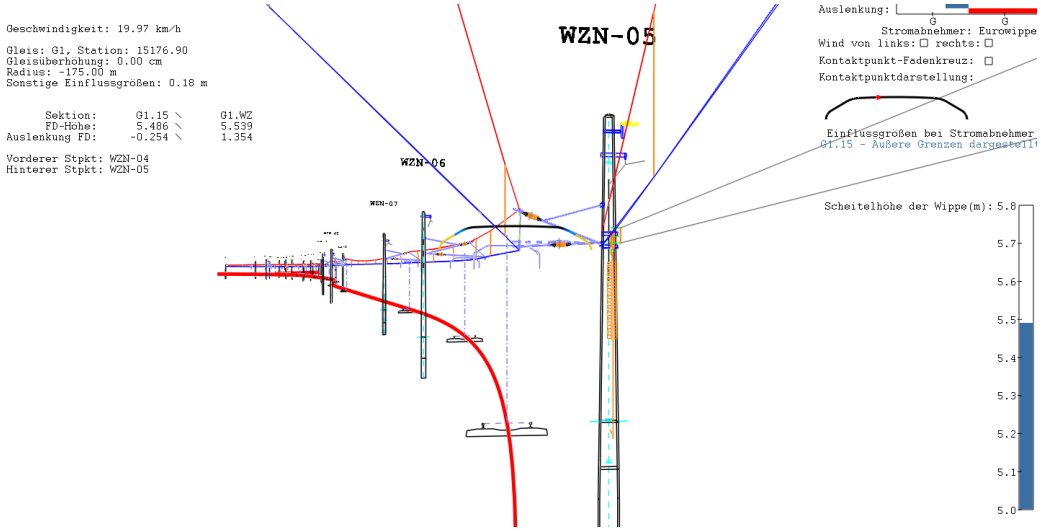
Mast: WZN-03



Mast: WZN-04



Mast: WZN-05



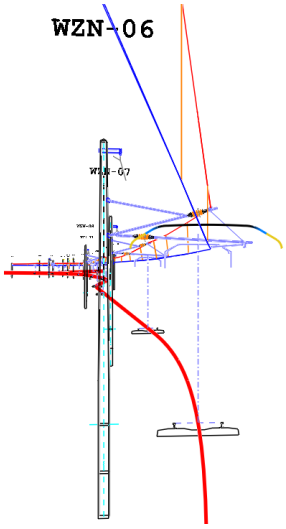
Mast: WZN-06

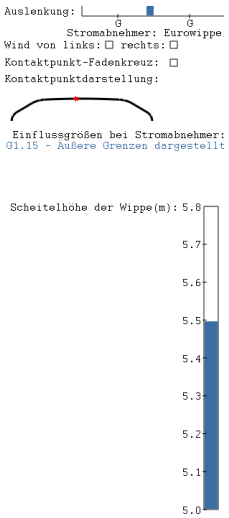
Geschwindigkeit: 19.97 km/h

Gleis: G1, Station: 15203.10
Gleisüberhöhung: 0.00 cm
Radius: -175.00 m
Sonstige Einflussgrößen: 0.18 m

Sektion: G1.15
FD-Höhe: 5.494
Auslenkung FD: -0.080

Vorderer Stpkt: WZN-05
Hinterer Stpkt: WZN-06





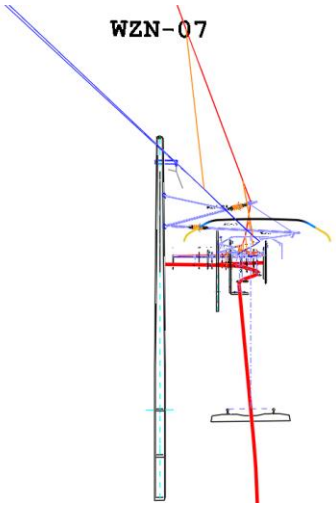
Mast: WZN-07

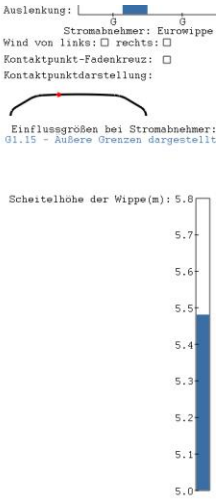
Geschwindigkeit: 19.97 km/h

Gleis: G1, Station: 15234.10
Gleisüberhöhung: 0.00 cm
Radius: -175.00 m
Sonstige Einflussgrößen: 0.18 m

Sektion: G1.15
FD-Höhe: 5.475
Auslenkung FD: -0.285

Vorderer Stpkt: WZN-06
Hinterer Stpkt: WZN-07





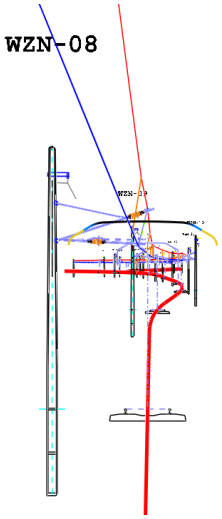
Mast: WZN-08

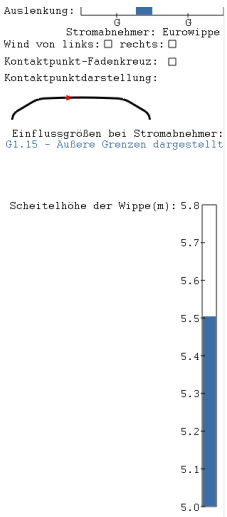
Geschwindigkeit: 19.97 km/h

Gleis: G1, Station: 15302.70
Gleisüberhöhung: 0.00 cm
Radius: -999999999999.00 m
Sonstige Einflussgrößen: 0.17 m

Sektion: G1.15
FD-Höhe: 5.500
Auslenkung FD: -0.186

Vorderer Stpkt: WZN-07
Hinterer Stpkt: WZN-08





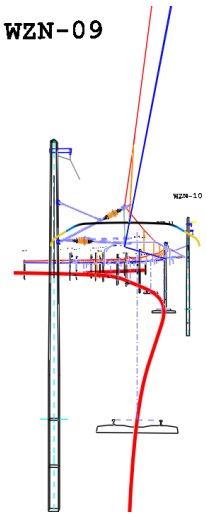
Mast: WZN-09

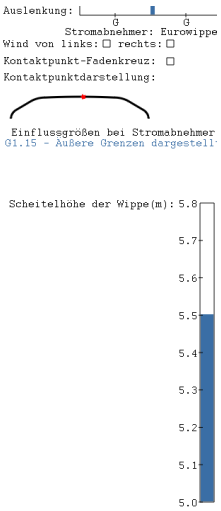
Geschwindigkeit: 19.97 km/h

Gleis: G1, Station: 15350.30
Gleisüberhöhung: 0.00 cm
Radius: 300.00 m
Sonstige Einflussgrößen: 0.17 m

Sektion: G1.15
FD-Höhe: 5.500
Auslenkung FD: 0.051

Vorderer Stpkt: WZN-08
Hinterer Stpkt: WZN-09





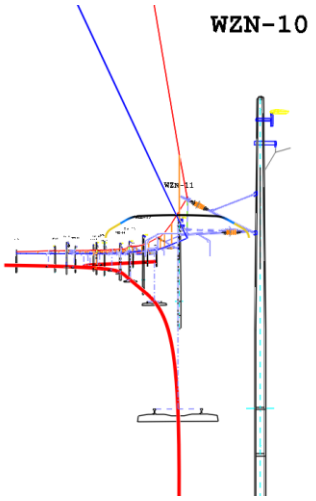
Mast: WZN-10

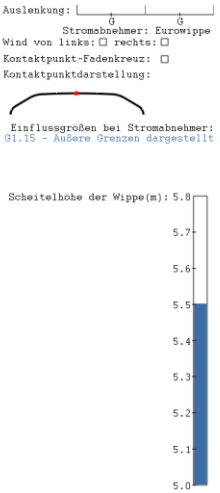
Geschwindigkeit: 19.97 km/h

Gleis: G1, Station: 15399.70
Gleisüberhöhung: 0.00 cm
Radius: -500.00 m
Sonstige Einflussgrößen: 0.17 m

Sektion: G1.15
FD-Höhe: 5.500
Auslenkung FD: -0.011

Vorderer Stpkt: WZN-09
Hinterer Stpkt: WZN-10





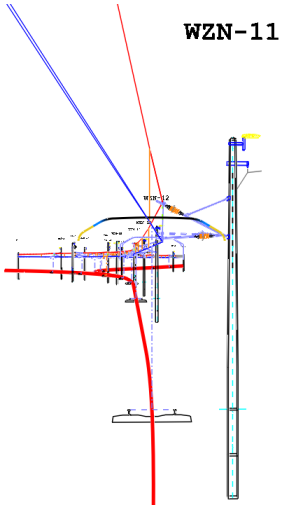
Mast: WZN-11

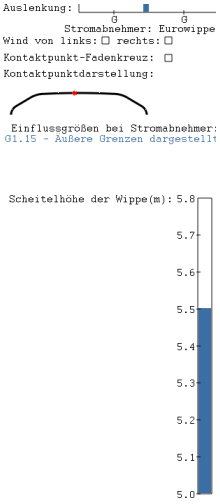
Geschwindigkeit: 19.97 km/h

Gleis: G1, Station: 15443.90
Gleisüberhöhung: 0.00 cm
Radius: -500.00 m
Sonstige Einflussgrößen: 0.17 m

Sektion: G1.15
FD-Höhe: 5.500
Auslenkung FD: -0.060

Vorderer Stpkt: WZN-10
Hinterer Stpkt: WZN-11





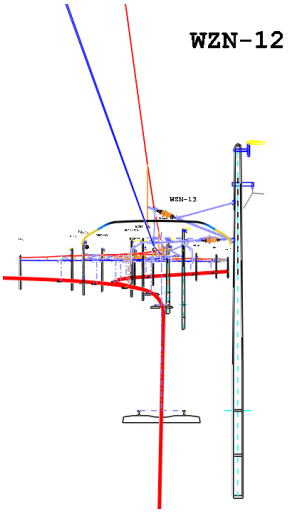
Mast: WZN-12

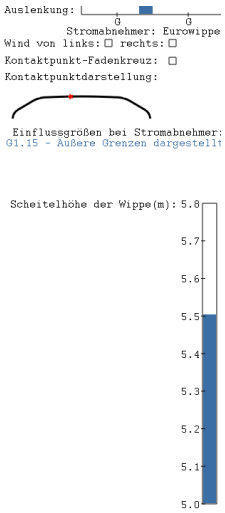
Geschwindigkeit: 19.97 km/h

Gleis: G1, Station: 15499.10
Gleisüberhöhung: 0.00 cm
Radius: -999999999999.00 m
Sonstige Einflussgrößen: 0.17 m

Sektion:	G1.15
FD-Höhe:	5.500
Auslenkung FD:	-0.151

Vorderer Stpkt: WZN-11
Hinterer Stpkt: WZN-12





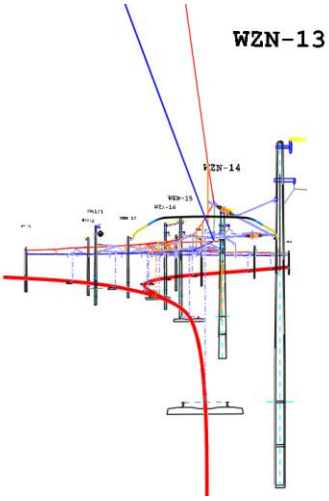
Mast: WZN-13

Geschwindigkeit: 19.97 km/h

Gleis: G1, Station: 15552.30
Gleisüberhöhung: 0.00 cm
Radius: -500.00 m
Sonstige Einflussgrößen: 0.17 m

Sektion:	G1.15
FD-Höhe:	5.500
Auslenkung FD:	-0.003

Vorderer Stpkt: WZN-12
Hinterer Stpkt: WZN-13



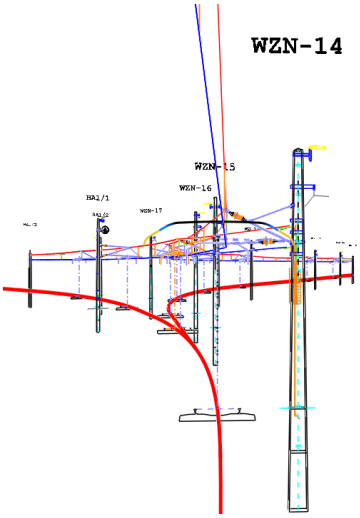
Mast: WZN-14

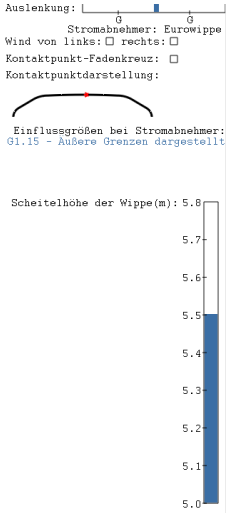
Geschwindigkeit: 19.97 km/h

Gleis: G1, Station: 15581.70
Gleisüberhöhung: 0.00 cm
Radius: -500.00 m
Sonstige Einflussgrößen: 0.17 m

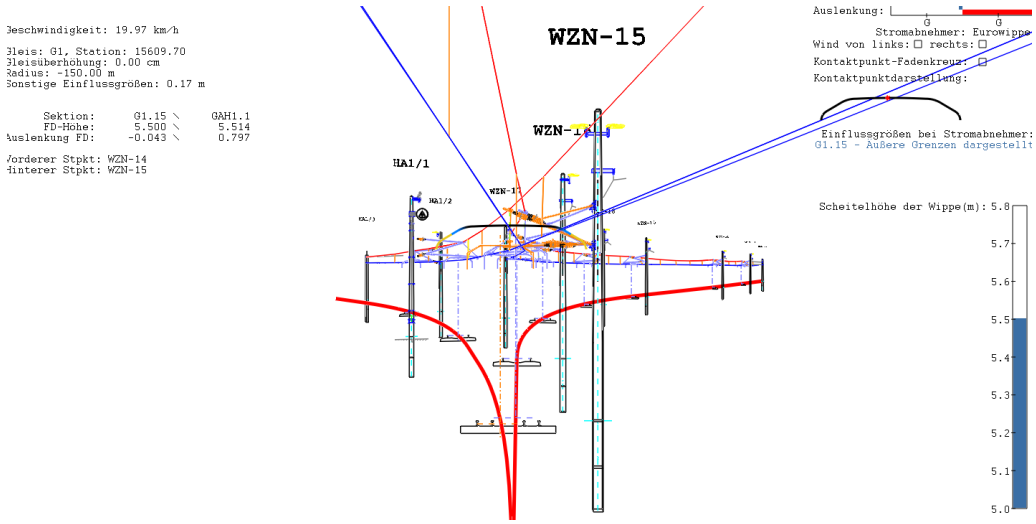
Sektion:	G1.15
FD-Höhe:	5.500
Auslenkung FD:	0.053

Vorderer Stpkt: WZN-13
Hinterer Stpkt: WZN-14

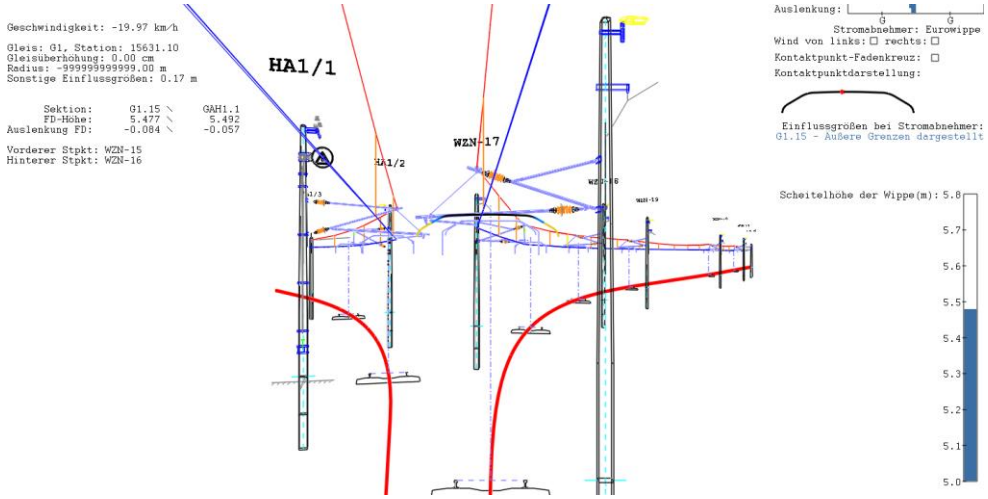




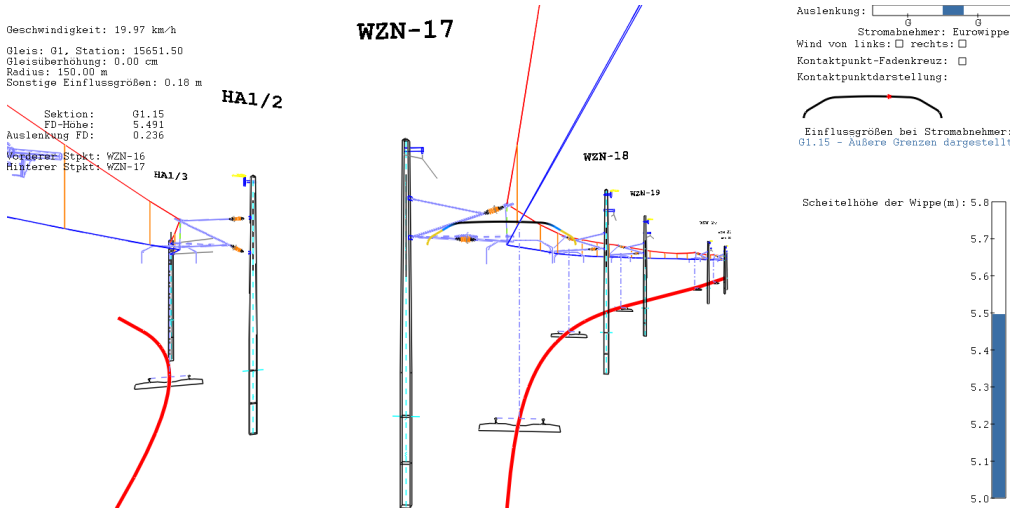
Mast: WZN-15



Mast: WZN-16



Mast: WZN-17



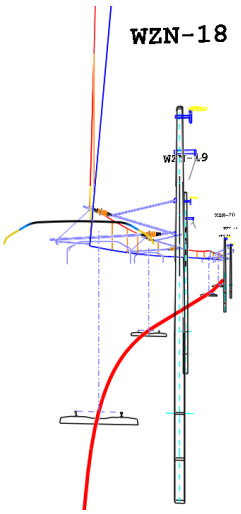
Mast: WZN-18

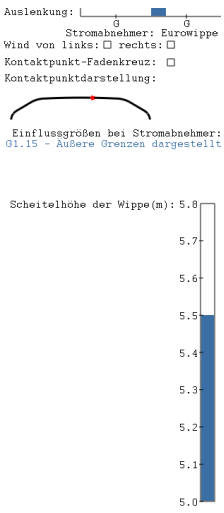
Geschwindigkeit: 19.97 km/h

Gleis: G1, Station: 15675.50
Gleisüberhöhung: 0.00 cm
Radius: 150.00 m
Sonstige Einflussgrößen: 0.18 m

Sektion:	G1.15
FD-Höhe:	5.496
Auslenkung FD:	0.172

Vorderer Stpkt: WZN-17
Hinterer Stpkt: WZN-18





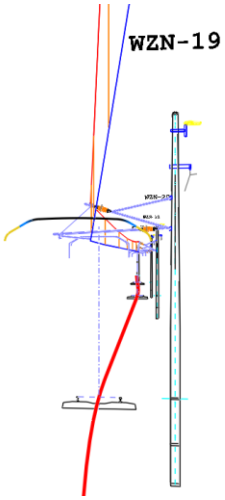
Mast: WZN-19

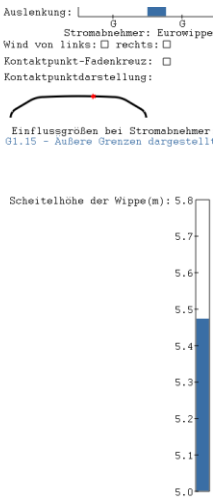
Geschwindigkeit: 19.97 km/h

Gleis: G1, Station: 15699.70
Gleisüberhöhung: 0.00 cm
Radius: 150.00 m
Sonstige Einflussgrößen: 0.18 m

Sektion:	G1.15
FD-Höhe:	5.469
Auslenkung FD:	0.218

Vorderer Stpkt: WZN-18
Hinterer Stpkt: WZN-19





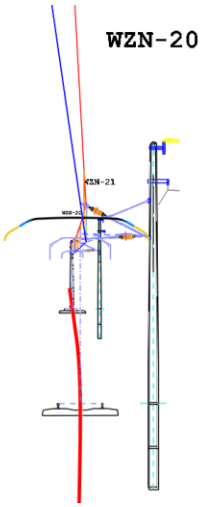
Mast: WZN-20

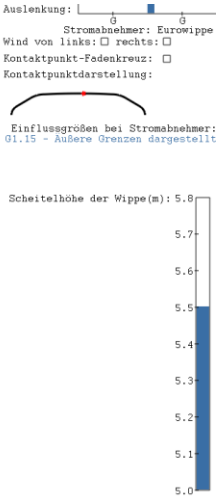
Geschwindigkeit: 19.97 km/h

Gleis: G1, Station: 15756.30
Gleisüberhöhung: 0.00 cm
Radius: -999999999999.00 m
Sonstige Einflussgrößen: 0.17 m

Sektion:	G1.15
FD-Höhe:	5.500
Auslenkung FD:	0.077

Vorderer Stpkt: WZN-19
Hinterer Stpkt: WZN-20





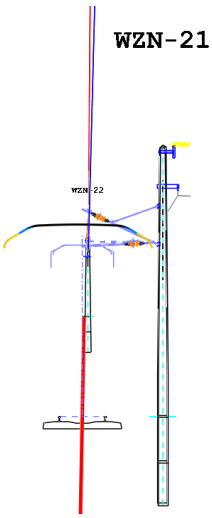
Mast: WZN-21

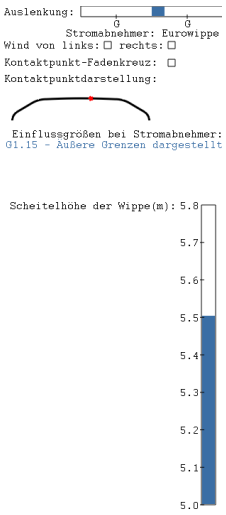
Geschwindigkeit: 19.97 km/h

Gleis: G1, Station: 15795.50
Gleisüberhöhung: 0.00 cm
Radius: -9999999999999.00 m
Sonstige Einflussgrößen: 0.17 m

Sektion:	G1.15
FD-Höhe:	5.500
Auslenkung FD:	0.143

Vorderer Stpkt: WZN-20
Hinterer Stpkt: WZN-21





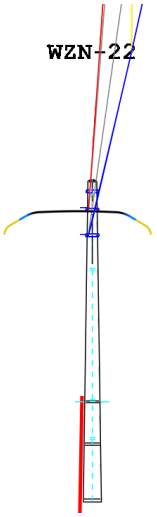
Mast: WZN-22

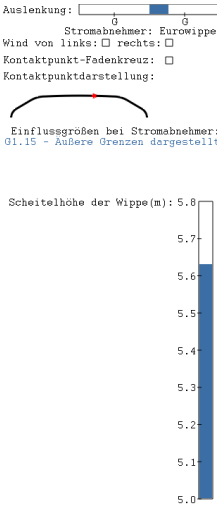
Geschwindigkeit: 19.97 km/h

Gleis: G1, Station: 15835.10
Gleisüberhöhung: 0.00 cm
Radius: -9999999999999.00 m
Sonstige Einflussgrößen: 0.17 m

Sektion:	G1.15
FD-Höhe:	5.626
Auslenkung FD:	0.216

Vorderer Stpkt: WZN-21
Hinterer Stpkt: WZN-22





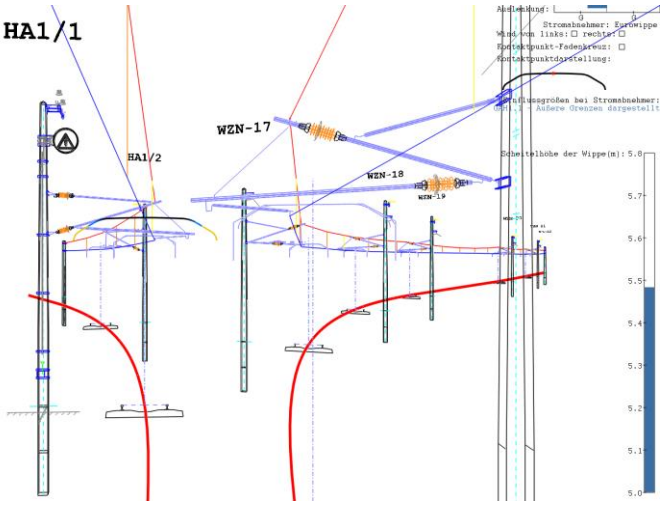
Mast: HA1/1

Geschwindigkeit: 20.63 km/h

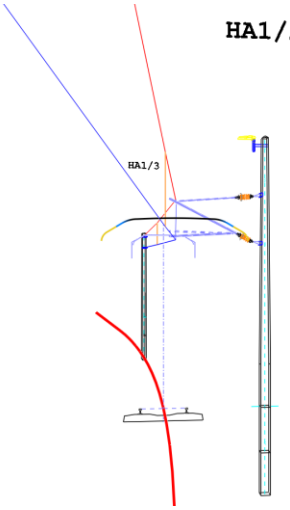
Gleis: GAH1, Station: 15635.89
Gleisüberhöhung: 0.00 cm
Radius: -9999999999999.00 m
Sonstige Einflussgrößen: 0.18 m

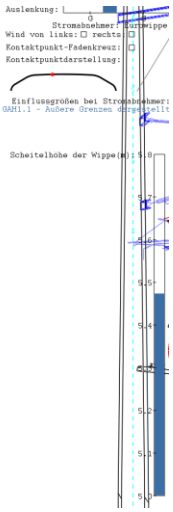
Sektion:	G1.15	GAH1.1
FD-Höhe:	5.499	5.483
Auslenkung FD:	-0.295	-0.009

Vorderer Stpkt: WZN-15
Hinterer Stpkt: HA1/1

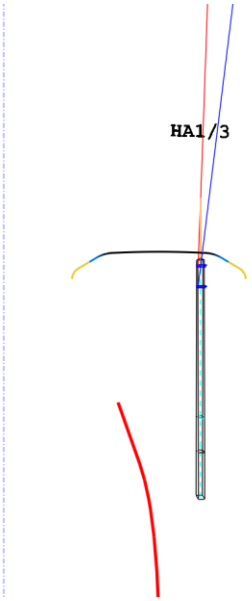


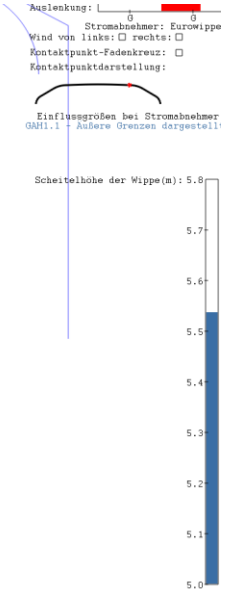
Mast: HA1/2





Mast: HA1/3





6.2 Anhang 2 Kostenermittlung

6.2.1 Kostenermittlung Oberleitungsmontagearbeiten

Kostenermittlung Oberleitungsmontagearbeiten				
Baustellengemeinkosten				
Bezeichnung	**Menge**	**Einheit**	**Preis/Einheit**	**Preis**
Einrichten und Räumen der Baustelle				
Einrichten der Baustelle	1	PA	15.000 €	15.000 €
Räumen der Baustelle	1	PA	5.000 €	5.000 €
Zeitgebundene Kosten	1	PA	11.000 €	11.000 €
Zuschläge				
AZ Ersatzruhepflicht Schicht Arbeitsverantwortlicher	4	VE	1.100 €	4.400 €
AZ Ersatzruhepflicht Schicht Oberleitungsmonteur	36	VE	800 €	28.800 €
AZ Ersatzruhepflicht Schicht TFZ-Führer	8	VE	900 €	7.200 €
Summe Baustellengemeinkosten				**71.400 €**
Komponenten (Lieferung)				
Bezeichnung	**Menge**	**Einheit**	**Preis/Einheit**	**Preis**
Ausleger				
Drehbarer Auslegerbock ED6224	14	Stk.	36 €	502 €
Drehbarer Auslegerbock kurz ED6223	36	Stk.	24 €	851 €
Druckrohr 26,9mm (3/4")	5	Stk.	49 €	245 €
Druckrohr 42,4mm (5/4")	2	Stk.	35 €	71 €
Druckrohr 26,9mm (3/4"), geerdet	14	Stk.	50 €	696 €
Druckrohr 42,4mm (5/4"), geerdet	4	Stk.	63 €	252 €
Strebenrohr 48,3mm (6/4")	7	Stk.	120 €	840 €
Strebenrohr 48,3mm (6/4"), geerdet	18	Stk.	174 €	3.131 €
Tragrohr 42,4mm (5,4") für Ausleger ohne SH	2	Stk.	92 €	185 €
Tragrohr 48,3mm (6/4") für Ausleger ohne SH	13	Stk.	95 €	1.230 €
Tragrohr 42,4mm (5/4") mit SHG 6054 Z/D	3	Stk.	178 €	535 €
Tragrohr 48,3mm (6/4") mit SHG 6054 Z/D	6	Stk.	181 €	1.088 €
Tragrohr 60,3mm (2") mit SHG 6054 D	1	Stk.	303 €	303 €
2GLA Doppelaufhängung ED5060	2	Stk.	215 €	430 €
Zwischenisolation im Tragrohr	36	Stk.	15 €	522 €
TS-Stützpkt am 2GLA einf. ED5061 Ausf.A	4	Stk.	165 €	659 €
Anschlusstr. 2GLA m.Richtseilanschl. ED5063	2	Stk.	76 €	152 €
Dreieckaufh. RS am TS-Stützpkt ED5062 Ausf.B	4	Stk.	53 €	212 €
Rohr ED 5001 26,9 x 4,8 (3/4")	44,829	m	12 €	529 €
Rohr ED 5001 42,4 x 4,8 (5/4")	21,638	m	17 €	376 €
Rohr ED 5001 48,3 x 4,8 (6/4")	105,821	m	19 €	2.020 €
Rohr ED 5001 60,3 x 4,8 (2")	3,801	m	27 €	101 €
Querseilfelder				
Feste RS-Verank. am Betonmast ED5125	2	Stk.	170 €	341 €
Seitl. Festl.1 FD am RS, ED5021 Ausf.A	4	Stk.	111 €	442 €
Fahrleitungskette				
Bew.Abspg. FD+TS getrennt ED5151, ED5152	1	Stk.	2.778 €	2.778 €
Feste Abspannung FD oder TS ED5113	6	Stk.	60 €	358 €
Belastungsgewicht mit Griffnische ED6173	92	Stk.	70 €	6.425 €
Hängerteilung Ausf.A OL-Type 1.1	0,934	km	1.819 €	1.699 €
Hängerteilung Ausf.B OL-Type 1.2	0,142	km	2.212 €	314 €
Elektr.Verbinder OL ED5305 Ausf.A-C	5,5	Stk.	64 €	352 €
Stromausgleichsverb. Ausl. ED5307 Ausf.B	6	Stk.	36 €	215 €
Stromverbinder - Einspeisung OL ED5223	8	Stk.	41 €	332 €
Kreuzungsstab ED5306 Ausf. A	3	Stk.	37 €	110 €
Zwischenisolation – Klöppelanschluss ED5310	2	Stk.	42 €	84 €
Zwischenisolation – Gabelanschluss	13	Stk.	58 €	750 €

Spitzenleitungen				
Absp. Leitung einf. ED122 Ausf.A, ED141	3	Stk.	156 €	467 €
Spiralbund ED5219	4	Stk.	15 €	58 €
Isolatorstütze ED6615	4	Stk.	22 €	90 €
Erdseilaufhängung ED5400	21	Stk.	55 €	1.160 €
Pressverb.zugentl. Al-Stalum Seil ED6647	1	Stk.	15 €	15 €
Pressabzweigklemme	2	Stk.	29 €	59 €
Presskabelschuh Cu ED6643 Ausf.A	2	Stk.	3 €	7 €
Presskabelschuh Cu- 2 Loch ED6643 Ausf.B	8	Stk.	8 €	67 €
Schalter				
Gestängeführung am Mast/BW/Tunnel ED5823	2	Stk.	253 €	505 €
Schaltzeigertrommel für Ladegleis ED5840	1	Stk.	2.606 €	2.606 €
Handantrieb ED5803	1	Stk.	940 €	940 €
Motor-Antrieb – Kleinteile	1	Stk.	108 €	108 €
Riegelschloss mit 2 Schlüssel ED5806	1	Stk.	433 €	433 €
Armaturen				
Armaturen und Stahlkonstruktionen I	1554,091	kg	9 €	14.344 €
Stahlkonstruktionen III	620,208	kg	9 €	5.458 €
Sechskantschrauben, feuerverzinkt	278,408	kg	8 €	2.364 €
Beleuchtungshochführung einfach, ED5850	14	Stk.	137 €	1.914 €
Beleuchtungshochführung doppelt, ED5850	1	Stk.	238 €	238 €
Seile / Drähte				
Nirostaseil 70mm²	290,243	m	8 €	2.270 €
Summe Komponenten				**62.231 €**

Oberleitungsanlagen				
Bezeichnung	**Menge**	**Einheit**	**Preis/Einheit**	**Preis**
Vormontage (V) Ausleger				
(V) Drehausleger OL - Mast	19	Stk.	220 €	4.175 €
(V) Doppelausleger OL - Mast	3	Stk.	313 €	938 €
(V) Ausleger über 2 Gleise	2	Stk.	306 €	612 €
Vormontage (V) Kettenwerk				
(V) Bew. Abspannung FD u TS gemeinsam	3	Stk.	556 €	1.667 €
(V) Bew. Abspannung FD u TS getrennt	1	Stk.	955 €	955 €
(V) Feste Abspannung	6	Stk.	105 €	629 €
Vormontage (V) Leitungen				
(V) Trag-StP 1 Leiterseil seitl.	21	Stk.	133 €	2.792 €
(V) Befestigungseisen f. Absp. v. Leitungen	2	Stk.	106 €	211 €
(V) Abspannteile für 1 Leitung oder RL	3	Stk.	33 €	98 €
Vormontage (V) SG, Schalter				
(V) Schalter am Mast	1	Stk.	742 €	742 €
(V) Freiluft-Erdungstrennschalter am Mast	1	Stk.	799 €	799 €
(V) Schalterantrieb am Mast	2	Stk.	522 €	1.043 €
(V) Gestängeführung am Mast	2	Stk.	1.320 €	2.640 €
(V) Schaltzeigetr Ladegl o Remisenschalt	1	Stk.	570 €	570 €
Montage (M) Ausleger				
(M) Ausleger ohne Seitenhalter	2	Stk.	73 €	147 €
(M) Ausleger mit Seitenhalter	23	Stk.	89 €	2.041 €
(M) 2GLA mit Anschlussträger - RS	2	Stk.	659 €	1.318 €
(M) StP 2GLA Anschlussträger - RS (TS+FD)	4	Stk.	165 €	661 €
Montage (M) Kettenwerk				
(M) OL-Kettenwerk Type 1.1 komplett	0,934	km	14.845 €	13.865 €
(M) OL-Kettenwerk Type 1.2 komplett	0,142	km	15.280 €	2.170 €
(M) AZ Bogen (hoher Eckzug)	24	Stk.	52 €	1.254 €
(M) AZ Sektionswechsel 2-feldrig	1	Stk.	250 €	250 €
(M) AZ Weichenüberspannung 1.1/1.2/1.3	1	Stk.	250 €	250 €
(M) AZ Lufttrennung 3-feldrig	1	Stk.	725 €	725 €
(M) vorg Isol oder Zw.Isol FD oder TS	15	Stk.	188 €	2.822 €
(M) Streckentrenner für Nebenanlagen	1	Stk.	615 €	615 €
(M) Streckentrenner	2	Stk.	694 €	1.387 €
(M) Elektrischer Verbinder Oberleitung	5,5	Stk.	107 €	586 €
(M) Stromausgleichsverbinder Ausleger	6	Stk.	72 €	434 €
(M) Einspeisung in OL einfach	4	Stk.	143 €	573 €

Montage (M) Leitungen				
(M) Aufziehen Leitung o Rückleiter 1 LS	0,7	km	4.467 €	3.127 €
(M) Einbinden RL in einen Trag-StP am Mast	21	Stk.	60 €	1.261 €
(M) Abspannen Leiterseil	3	Stk.	182 €	547 €
(M) Weiterführung LS	1	Stk.	102 €	102 €
Montage (M) Armaturen / Sonstiges				
(M) Vogelschutz Blech	8	Stk.	30 €	240 €
(M) Vogelschutz am Isolator	54	Stk.	24 €	1.321 €
(M) Vogelschutz am Stützisolator	4	Stk.	67 €	267 €
Erdung / Rückstromführung				
(E) Verbindung Rückleiter - Mast	27	Stk.	100 €	2.712 €
(E) Verbindung Mast-Schiene einfach	2	Stk.	294 €	588 €
(E) Gelbringmast	1	Stk.	295 €	295 €
(E) AZ Erdanschlussfestpunkt am Mast	1	Stk.	42 €	42 €
(E) Kurze Erdungsbrücke 93-AL3-Seil	50	Stk.	40 €	2.000 €
(E) Kurze Erdungsbrücke AL-Stahl 100mm² hf	100	Stk.	45 €	4.500 €
(E) Umsetzung Erdungskonzept Bahnsteige	2	PA	100.000 €	200.000 €
(E) Umsetzung Erdungskonzept Masse-Feder-System	1	PA	100.000 €	100.000 €
Bezeichnungen / WT / Kennzeichen / Signale				
Mastbezeichnung / Schalterbezeichnung	25	Stk.	45 €	1.125 €
Warnungstafel montieren bis 2m	15	Stk.	51 €	765 €
Warnungstafel montieren über 2 m	10	Stk.	55 €	550 €
Signale				
Signal am Mast	5	Stk.	210 €	1.050 €
Signal auf Rohrsteher	6	Stk.	1.300 €	7.800 €
Signal in Oberleitungskette	3	Stk.	230 €	690 €
Sign.ankünd.tafel weiß oder rot am Mast	8	Stk.	160 €	1.280 €
Orientierungstafel am Mast	3	Stk.	200 €	600 €
Hektometertafel am Mast	7	Stk.	120	840 €
Sonstiges				
Montage Beleuchtungshochführung einfach	14	Stk.	876 €	12.258 €
Montage Beleuchtungshochführung doppelt	1	Stk.	1.240 €	1.240 €
Befahrung ED 21 - stat. Anhublage	1	PA	3.500 €	3.500 €
Befahrung ED 21 - stat. Ruhelage	1	PA	5.000 €	5.000 €
Summe Oberleitungsanlage				**400.670 €**
Gesammtsumme Oberleitungsmontagearbeiten				**534.301 €**

6.2.2 Kostenermittlung Fundierungsarbeiten

Kostenermittlung Fundierungsarbeiten

Baustellengemeinkosten				
Bezeichnung	**Menge**	**Einheit**	**Preis/Einheit**	**Preis**
Einrichten und Räumen der Baustelle				
Einrichten und Räumen - Sondierarbeiten	1	PA	3.000	3.000 €
Einrichten und Räumen - Rammpfahlfundierung	1	PA	20.000	20.000 €
Aufz.Rammpfahlfund. inkl. Maststst. MAGE AN	1	PA	8.000	8.000 €
Zuschläge				
AZ Ersatzruhepflicht Schicht Arbeitsverantwortlicher	1	VE	1.100 €	1.100 €
AZ Ersatzruhepflicht Schicht TFZ-Führer	2	VE	950 €	1.900 €
AZ Ersatzruhepflicht Schicht Monteur Rammfundierung	6	VE	890 €	5.340 €
Summe Baustellengemeinkosten				**39.340 €**
Gründungsarbeiten				
Bezeichnung	**Menge**	**Einheit**	**Preis/Einheit**	**Preis**
Baugrubenaushub				
Baugrubenaushub BKL2-5 o.B. seitl. lagern	115	m³	200 €	23.000 €
Suchschlitz bis 1,00 m Tiefe	15	Stk.	120 €	1.800 €
Suchschlitz bis 2,00 m Tiefe	10	Stk.	260 €	2.600 €
Schotterbettsicherungen Bahn				
Schotterbettsicherung Bahn Gründung	82	m	95 €	7.790 €
Stahlrammpfähle für Oberleitungsmaste				
Einbau Rammpfahl ED 6945 Ausf. B 5,0m (N-Mast)	14	Stk.	750 €	10.500 €
Einbau Rammpfahl ED 6946 Ausf. A, C 5,5m (F3A-Mast)	5	Stk.	1.500 €	7.500 €
Summe Gründungsarbeiten				**53.190 €**
Untergrunderkundungen				
Bezeichnung	**Menge**	**Einheit**	**Preis/Einheit**	**Preis**
Diverse Arbeiten für Untergrunderkundungen				
Sondierung	19	Stk.	190 €	3.610 €
Summe Untergrunderkundung				**3.610 €**
Untergrundarbeiten				
Bezeichnung	**Menge**	**Einheit**	**Preis/Einheit**	**Preis**
Verlegearbeiten Kabel				
Kunststoffkabel >35-60mm umlegen	60	m	98 €	5.880 €
Kabeltrog umlegen	50	m	250 €	12.500 €
Fltg-Fund. C25/30/B11/GK32	80	m³	500 €	40.000 €
Abtrag Bahnanlagen				
Betonabbruch	10	m³	700 €	7.000 €
Summe Untergrundarbeiten				**65.380 €**
Maststellarbeiten				
Bezeichnung	**Menge**	**Einheit**	**Preis/Einheit**	**Preis**
Maststellen Type N -Autokran AG	17	Stk.	730 €	12.410 €
Maststellen Type F -Autokran AG	8	Stk.	1.200 €	9.600 €
AZ Herstellung einer Mastkappe	25	Stk.	70 €	1.750 €
(U) Provisorische Verbindung Mast - Schiene	25	Stk.	240 €	6.000 €
Summe Maststellarbeiten				**29.760 €**
Regiearbeiten				
Bezeichnung	**Menge**	**Einheit**	**Preis/Einheit**	**Preis**
Regie Arbeiter				
Oberleitungsmonteur Normalarbeitszeit	5	h	93,00 €	465,00 €
Oberleitungsmonteur Rammfund. Normalarbeitszeit	5	h	83,00 €	415,00 €
TFZ-Führer Normalarbeitszeit	5	h	95,00 €	475,00 €
Regie Geräte				
LKW >3,5 - 16 t Nutzlast mit Ladekran	5	h	170 €	850 €
Kleintransporter bis 1,5 t Nutzlast	5	h	140 €	700 €
Zweiwegebagger bis 25 t	5	h	65 €	325 €
Regie Baustofflieferungen, F remdleistungen				
Baustofflieferungen	300	VE	1 €	330 €
Fremdleistungen	300	VE	1 €	330 €
Summe Regiearbeiten				**3.890 €**
Gesamtsumme Fundierungsarbeiten				**191.560 €**

6.2.3 Kostenermittlung Beistellmaterial

Kostenermittlung Beistellmaterial

Beistellmaterial Fundierung				
Bezeichnung	**Menge**	**Einheit**	**Preis/Einheit**	**Preis**
Rammpfahl N 5,0m / Verbr	14	Stk.	2.600 €	36.400 €
Rammpfahl F3A 5,5m / Verbr	5	Stk.	3.100 €	15.500 €
Mastbolzen lang (305.78.19)	25	Stk.	35 €	875 €
Mast NS6 11,85 m	11	Stk.	1.350 €	14.850 €
Mast NS6 13,00 m	6	Stk.	1.450 €	8.700 €
Mast F3A 10,40 m	1	Stk.	2.450 €	2.450 €
Mast F3A 11,40 m	1	Stk.	2.500 €	2.500 €
Mast F3A 12,40 m	2	Stk.	2.770 €	5.540 €
Mast F3A 13,40 m	2	Stk.	2.900 €	5.800 €
Mast F3A 14,40 m	2	Stk.	3.000 €	6.000 €
Zwischensumme Fundierung				**98.615 €**

Beistelmaterial Oberleitungsmontage				
Bezeichnung	**Menge**	**Einheit**	**Preis/Einheit**	**Preis**
Vogelschutzstern m. Noppen	4	Stk.	37 €	149 €
*Vogelschutzhaube E	4	Stk.	135 €	540 €
Vogelschutzstern Noppenlos	50	Stk.	37 €	1.860 €
Vogelschutzspitze U65	4	Stk.	6 €	24 €
Vogelschutzspitze FR120	4	Stk.	6 €	24 €
Trenner Nebenanl. Type 1.1	1	Stk.	2.075 €	2.075 €
Streckentrenner 1.2 - 2.1 (<250)	2	Stk.	2.075 €	4.150 €
Isol.Porz.Ga-Ro 5/4' 5+4sch	7	Stk.	233 €	1.631 €
Isol.Porz.Pf-Pf 5+4sch	10	Stk.	205 €	2.050 €
Isol.Porz.Stütz 5+4sch	4	Stk.	165 €	660 €
Isol.Porz.Ga-Ro 6/4' 5+4sch	7	Stk.	238 €	1.666 €
Isol.Porz.Ro-Ro 6/4' 5+4sch	36	Stk.	235 €	8.460 €
Stabisol.Öse 1500 mm	15	Stk.	510 €	7.650 €
Kurbel zu Antrieb E / F	1	Stk.	115 €	115 €
Motorantrieb Driescher/Eximges	1	Stk.	2.970 €	2.970 €
Freiluft-Erdungstrennschalter D (Alt)	1	Stk.	1.920 €	1.920 €
FL-Trennschalter Driescher 5817J	1	Stk.	1.660 €	1.660 €
Fahrdraht Profil 100mm2 Valth	859	Kg	15 €	12.884 €
Fahrdraht Profil 120mm2 Valth	164	Kg	15 €	2.454 €
Cu-Seil 50qmm 19-d.E	10	Kg	14 €	136 €
CuMg 70mm2, Tragseil	93	Kg	17 €	1.584 €
Cu-Seil 95 mm2, 2 KF	34	Kg	17 €	576 €
Cu-Seil 95mm2,hochfl	25	Kg	21 €	529 €
Seil 93-AL3	159	m	3 €	477 €
Erdungskabel ALStahl 100mm² flex	55	m	10 €	547 €
Cu-Draht 6 mm (28mm²)	36	Kg	14 €	503 €
Bronze-Seil 10mm2	17	Kg	29 €	496 €
AL/Stalum 260/23 mm2	634	Kg	9 €	5.703 €
Nirosta 40 mm2	323	Kg	72 €	23.227 €
Zwischensumme Oberleitungsmontage				**86.720 €**

Gesamtsumme Beistelmaterial	**185.335 €**

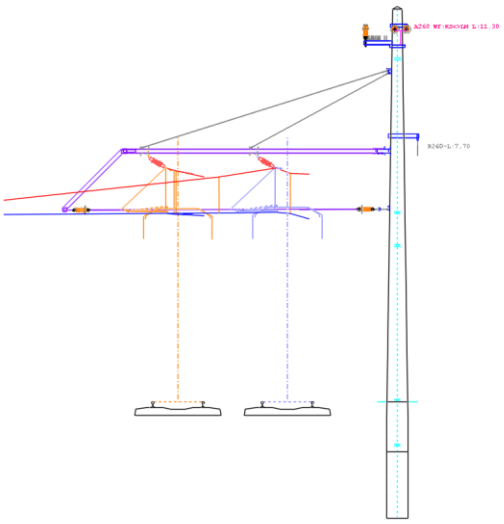
6.3 Anhang 3 Querprofile

Mast: WZN-01

MAST: WZN-01 Type: F3A 15.40 / 11.90 m - Normal
SOK:0.000m Station:15074.000m SOK-Bolzen:+0.000/+0.000m

	Richtung	
	Farbe	Orchidee	Orange
	Sektion	06.WZ	01.WZ
FH	(m)	5.71	5.67
SH	(m)	1.33	1.35
am	(m)	3.00	6.30
ZZ FD/TS	(cm)	+30/+30	+30/+30
nDR/TR	(cm/m)		
nSH	(cm/m)	2.0/1.20	-0.7/1.20
SZ/Lot	(N)	3258/10.19	1838/10.19
Radius	(m)	-190	-190
Ü	(cm)	+0.0	+0.0
FD-W	(°)	163.44	171.39
TS-W	(°)	163.38	171.39
		AH > bm/ sl	
AH O/U	(m)	10.01/280/400	
bm/sl O	(cm)	7.68/280/460	
bm/sl U	(cm)	5.89/280/520	
Dru-R/4'L	(m)	TRL=7.50m	
Str-R/4'L	(m)	RICHTSEIL	
Tra-R/4'L	(m)		
Sei-R/4'L	(m)	3'1.10	3'1.10
Seitenhalter		Kurz 2,5°	Kurz 2,5°
Zug-R/4'L	(m)		
Winds	(m)		
Rohrh	(m)		
SHG/Klemm	(m)		
LH	(m)		
Öse	(cm)		
OL-Type		1.1	1.2
FD		100	120
TS		40 Niro	CuMg 70
L-Y	(m)		
SonstEG	(cm)	17.9	17.9
HS-FR	(cm)		
Abstand	(m)		
L-HS	(m)		
Gleishöhe	(m)	L-TR=7.50 m	

Masterdung: Normalschwelle - 1x RL, ED 410, Ausf.B(Cu 50)
Mastmanipulation: Autokran AN, stellen, Mastnummer (AN)



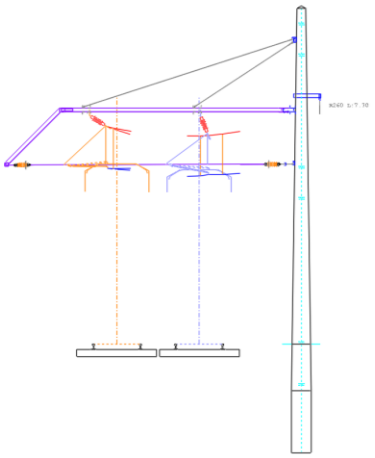
esbvm MAST
esbvm ZWEI Anker 10.014
Träger 7.680
Richtseil 5.890
11.30 esbvm ENSP 10.866
7.700 esbvm ULTG 8.062
11.300 esbvm ASPU 11.370

Mast: WZN-02

MAST: WZN-02 Type: F3A 14.40 / 10.90 m - Normal
SOK:0.000m Station:15102.000m SOK-Bolzen:+0.000/+0.000m

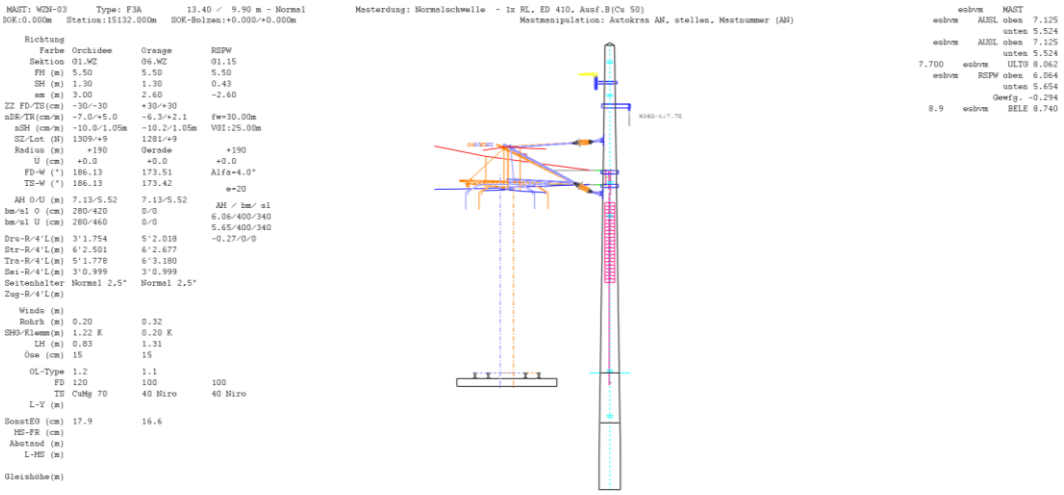
	Richtung	
	Farbe	Orchidee	Orange
	Sektion	06.WZ	01.WZ
FH	(m)	5.47	5.66
SH	(m)	1.26	1.34
am	(m)	3.00	5.65
ZZ FD/TS	(cm)	-30/-30	+30/+30
nDR/TR	(cm/m)		
nSH	(cm/m)	-18.8/1.20	-1.1/1.20
SZ/Lot	(N)	308/10.19	1735/10.19
Radius	(m)	Gerade	-190
Ü	(cm)	+0.0	+0.0
FD-W	(°)	178.44	171.87
TS-W	(°)	178.44	171.87
		AH > bm/ sl	
AH O/U	(m)	9.86/280/300	
bm/sl O	(cm)	7.68/280/440	
bm/sl U	(cm)	5.89/280/480	
Dru-R/4'L	(m)	TRL=7.00m	
Str-R/4'L	(m)	RICHTSEIL	
Tra-R/4'L	(m)		
Sei-R/4'L	(m)	3'1.09	3'1.10
Seitenhalter		Normal 9°	Kurz 2,5°
Zug-R/4'L	(m)		
Winds	(m)		
Rohrh	(m)		
SHG/Klemm	(m)		
LH	(m)		
Öse	(cm)		
OL-Type		1.1	1.2
FD		100	120
TS		40 Niro	CuMg 70
L-Y	(m)		
SonstEG	(cm)	16.6	17.9
HS-FR	(cm)		
Abstand	(m)		
L-HS	(m)		
Gleishöhe	(m)	L-TR=7.00 m	

Masterdung: Normalschwelle - 1x RL, ED 410, Ausf.B(Cu 50)
Mastmanipulation: Autokran AN, stellen, Mastnummer (AN)

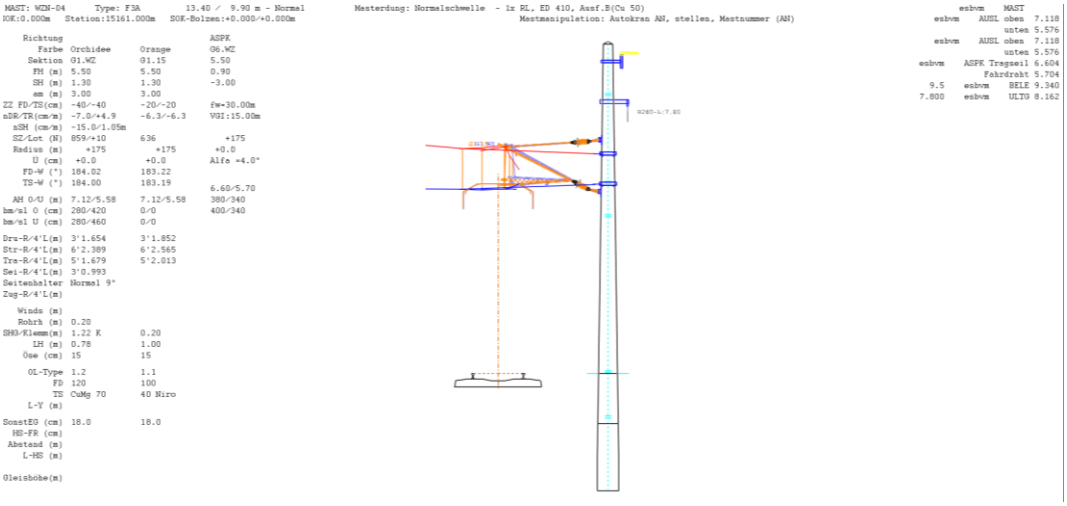


esbvm MAST
esbvm ZWEI Anker 9.864
Träger 7.680
Richtseil 5.890
7.700 esbvm ULTG 8.062

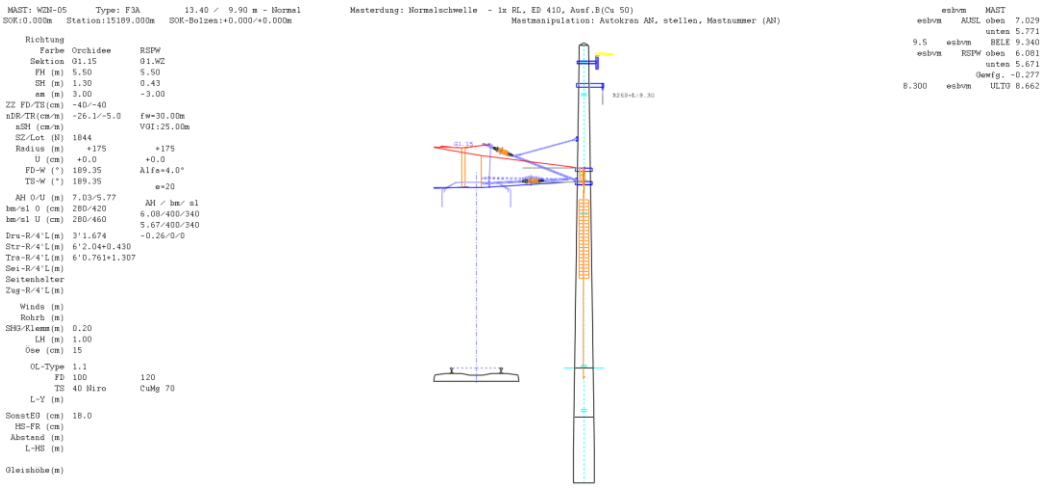
Mast: WZN-03



Mast: WZN-04



Mast: WZN-05



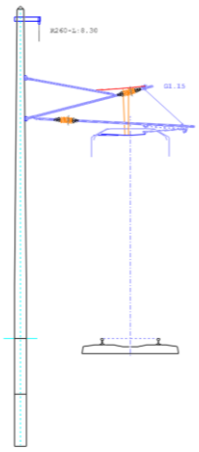
Mast: WZN-06

MAST: WZN-06 Type: NS6 11.85 / 8.95 m - Normal
KOK:0.000m Station:15215.000m SOK-Bolzen:+0.000/+0.000m

Masterdung: Normalschwelle - 1x RL, ED 410, Ausf.B(Cu 50)
Mastmanipulation: Autokran AN, stellen, Mastnummer (AN)

esbvm MAST
esbvm AUSL oben 7.079
unten 5.976
8.300 esbvm ULTG 8.662

Richtung	
Farbe	Orchidee
Sektion	G1.15
FH (m)	5.50
SH (m)	1.30
am (m)	2.80
ZZ FD/TS(cm)	+40/+40
nDR/TR(cm/m)	-18.0/-5.0
nSH (cm/m)	-7.4/1.05m
SZ/Lot (N)	1874/+9
Radius (m)	+175
U (cm)	-0.0
FD-W (°)	170.50
TS-W (°)	169.99
AH O/U (m)	7.08/5.98
bm/sl O (cm)	240/280
bm/sl U (cm)	240/300
Dru-R/4'L(m)	5'2.138
Str-R/4'L(m)	6'2.50+0.430
Tra-R/4'L(m)	6'0.494+3.229
Sei-R/4'L(m)	3'0.999
Seitenhalter	Normal 2,5°
Zug-R/4'L(m)	
Winds (m)	
Rohrh (m)	0.32
SH3/Klemm(m)	0.20 K
LH (m)	1.36
Öse (cm)	15
OL-Type	1.1
FD	100
TS	40 Niro
L-Y (m)	
SonstEG (cm)	18.0
HS-FR (cm)	
Abstand (m)	
L-HS (m)	
Gleishöhe(m)	



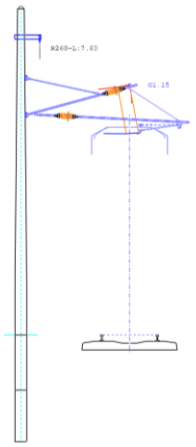
Mast: WZN-07

MAST: WZN-07 Type: NS6 11.85 / 8.95 m - Normal
KOK:0.000m Station:15246.000m SOK-Bolzen:+0.000/+0.000m

Masterdung: Normalschwelle - 1x RL, ED 410, Ausf.B(Cu 50)
Mastmanipulation: Autokran AN, stellen, Mastnummer (AN)

esbvm MAST
esbvm AUSL oben 7.050
unten 6.042
7.800 esbvm ULTG 8.162

Richtung	
Farbe	Orchidee
Sektion	G1.15
FH (m)	5.50
SH (m)	1.30
am (m)	2.80
ZZ FD/TS(cm)	+30/-0
nDR/TR(cm/m)	-20.6/-5.0
nSH (cm/m)	-14.9/1.05m
SZ/Lot (N)	861/+10
Radius (m)	Gerade
U (cm)	-0.0
FD-W (°)	175.64
TS-W (°)	176.81
AH O/U (m)	7.05/6.04
bm/sl O (cm)	240/280
bm/sl U (cm)	240/300
Dru-R/4'L(m)	3'1.773
Str-R/4'L(m)	6'2.10+0.430
Tra-R/4'L(m)	6'0.494+3.121
Sei-R/4'L(m)	3'0.993
Seitenhalter	Normal 9°
Zug-R/4'L(m)	
Winds (m)	
Rohrh (m)	0.32
SH3/Klemm(m)	0.20 K
LH (m)	1.54
Öse (cm)	15
OL-Type	1.1
FD	100
TS	40 Niro
L-Y (m)	
SonstEG (cm)	16.6
HS-FR (cm)	
Abstand (m)	
L-HS (m)	
Gleishöhe(m)	



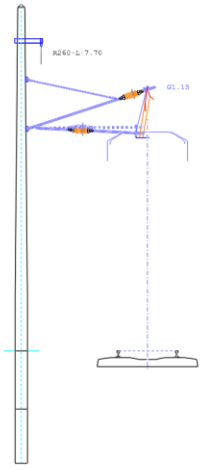
Mast: WZN-08

MAST: WZN-08 Type: NS6 11.85 / 8.95 m - Normal
KOK:0.000m Station:15316.000m SOK-Bolzen:+0.000/+0.000m

Masterdung: Normalschwelle - 1x RL, ED 410, Ausf.B(Cu 50)
Mastmanipulation: Autokran AN, stellen, Mastnummer (AN)

esbvm MAST
esbvm AUSL oben 7.066
unten 5.791
7.700 esbvm ULTG 8.062

Richtung	
Farbe	Orchidee
Sektion	G1.15
FH (m)	5.50
SH (m)	1.30
am (m)	3.10
ZZ FD/TS(cm)	-30/-0
nDR/TR(cm/m)	-20.6/-5.0
nSH (cm/m)	
SZ/Lot (N)	304
Radius (m)	Gerade
U (cm)	-0.0
FD-W (°)	181.54
TS-W (°)	180.51
AH O/U (m)	7.07/5.79
bm/sl O (cm)	240/280
bm/sl U (cm)	240/300
Dru-R/4'L(m)	3'2.092
Str-R/4'L(m)	6'2.46+0.430
Tra-R/4'L(m)	6'0.818+1.407
Sei-R/4'L(m)	
Seitenhalter	
Zug-R/4'L(m)	
Winds (m)	
Rohrh (m)	
SH3/Klemm(m)	0.20
LH (m)	1.03
Öse (cm)	15
OL-Type	1.1
FD	100
TS	40 Niro
L-Y (m)	
SonstEG (cm)	16.6
HS-FR (cm)	
Abstand (m)	
L-HS (m)	
Gleishöhe(m)	



Mast: WZN-09

MAST: WZN-09 Type: NS6 11.85 / 8.95 m - Normal
SOK:0.000m Station:15362.000m SOK-Bolzen:+0.000/+0.000m

Richtung	
Farbe	Orchidee
Sektion	G1.15
FH (m)	5.50
SH (m)	1.30
sm (m)	2.50
ZZ FD/TS(cm)	-40/-40
nDR/TR(cm/m)	-38.2/-4.9
nSH (cm/m)	
SZ/Lot (N)	1135
Radius (m)	-300
U (cm)	-0.0
FD-W (°)	185.75
TS-W (°)	186.06
AH O/U (m)	6.98/5.72
bm/sl O (cm)	240/280
bm/sl U (cm)	240/300
Dru-R/4'L(m)	3'1.204
Str-R/4'L(m)	6'1.57+0.430
Tra-R/4'L(m)	6'0.219+1.306
Sei-R/4'L(m)	
Seitenhalter	
Zug-R/4'L(m)	
Winds (m)	
Rohrh (m)	
SH9/Klemm(m)	0.20
LH (m)	0.99
Öse (cm)	15
OL-Type	1.1
FD	100
TS	40 Niro
L-Y (m)	
SonstEG (cm)	17.4
HS-FR (cm)	
Abstand (m)	
L-HS (m)	
Gleishöhe(m)	

Masterdung: Normalschwelle - 1x RL, ED 410, Ausf.B(Cu 50)
Mastmanipulation: Autokran AN, stellen, Mastnummer (AN)

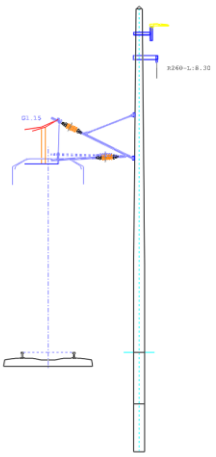
esbvm MAST
esbvm AUSL oben 6.982
unten 5.721
8.300 esbvm ULTG 8.662

Mast: WZN-10

MAST: WZN-10 Type: NS6 13.00 / 10.10 m - Normal
SOK:0.000m Station:15411.000m SOK-Bolzen:+0.000/+0.000m

Richtung	
Farbe	Orchidee
Sektion	G1.15
FH (m)	5.50
SH (m)	1.30
sm (m)	2.50
ZZ FD/TS(cm)	-30/-30
nDR/TR(cm/m)	-35.7/-4.9
nSH (cm/m)	
SZ/Lot (N)	938
Radius (m)	+500
U (cm)	+0.0
FD-W (°)	184.75
TS-W (°)	184.75
AH O/U (m)	6.99/5.73
bm/sl O (cm)	240/300
bm/sl U (cm)	240/320
Dru-R/4'L(m)	3'1.276
Str-R/4'L(m)	6'1.65+0.430
Tra-R/4'L(m)	6'0.208+1.407
Sei-R/4'L(m)	
Seitenhalter	
Zug-R/4'L(m)	
Winds (m)	
Rohrh (m)	
SH9/Klemm(m)	0.20
LH (m)	0.99
Öse (cm)	15
OL-Type	1.1
FD	100
TS	40 Niro
L-Y (m)	
SonstEG (cm)	17.1
HS-FR (cm)	
Abstand (m)	
L-HS (m)	
Gleishöhe(m)	

Masterdung: Normalschwelle - 1x RL, ED 410, Ausf.B(Cu 50)
Mastmanipulation: Autokran AN, stellen, Mastnummer (AN)



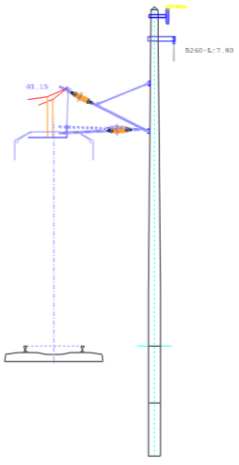
esbvm MAST
esbvm AUSL oben 6.990
unten 5.730
9.5 esbvm BELE 9.340
8.300 esbvm ULTG 8.662

Mast: WZN-11

MAST: WZN-11 Type: NS6 11.85 / 8.95 m - Normal
SOK:0.000m Station:15456.000m SOK-Bolzen:+0.000/+0.000m

Richtung	
Farbe	Orchidee
Sektion	G1.15
FH (m)	5.50
SH (m)	1.30
sm (m)	2.50
ZZ FD/TS(cm)	-35/-35
nDR/TR(cm/m)	-36.8/-4.9
nSH (cm/m)	
SZ/Lot (N)	904
Radius (m)	+500
U (cm)	+0.0
FD-W (°)	184.58
TS-W (°)	184.58
AH O/U (m)	6.99/5.73
bm/sl O (cm)	240/280
bm/sl U (cm)	240/300
Dru-R/4'L(m)	3'1.244
Str-R/4'L(m)	6'1.61+0.430
Tra-R/4'L(m)	6'0.219+1.357
Sei-R/4'L(m)	
Seitenhalter	
Zug-R/4'L(m)	
Winds (m)	
Rohrh (m)	
SH9/Klemm(m)	0.20
LH (m)	0.99
Öse (cm)	15
OL-Type	1.1
FD	100
TS	40 Niro
L-Y (m)	
SonstEG (cm)	17.1
HS-FR (cm)	
Abstand (m)	
L-HS (m)	
Gleishöhe(m)	

Masterdung: Normalschwelle - 1x RL, ED 410, Ausf.B(Cu 50)
Mastmanipulation: Autokran AN, stellen, Mastnummer (AN)



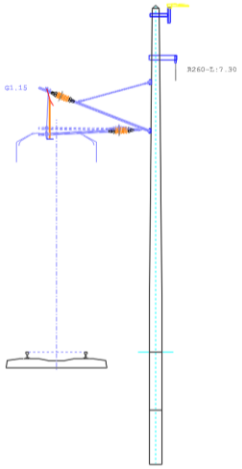
esbvm MAST
esbvm AUSL oben 6.987
unten 5.726
8.9 esbvm BELE 8.740
7.800 esbvm ULTG 8.162

Mast: WZN-12

MAST: WZN-12 Type: NS6 11.85 / 8.95 m - Normal
SOK:0.000m Station:15512.000m SOK-Bolzen:+0.000/+0.000m

Richtung	
Farbe	Orchidee
Sektion	G1.15
FH (m)	5.50
SH (m)	1.30
sm (m)	2.40
ZZ FD/TS(cm)	+25/+25
nDR/TR(cm/m)	-26.1/-4.9
nSH (cm/m)	
SZ/Lot (N)	154
Radius (m)	Gerade
U (cm)	+0.0
FD-W (°)	179.22
TS-W (°)	179.22
AH O/U (m)	7.03/5.77
bm/sl O (cm)	240/280
bm/sl U (cm)	240/300
Dru-R/4'L(m)	3'1.674
Str-R/4'L(m)	6'2.05+0.430
Tra-R/4'L(m)	6'0.172+1.903
Sei-R/4'L(m)	
Seitenhalter	
Zug-R/4'L(m)	
Winds (m)	
Rohrh (m)	
SHG/Klemm(m)	0.20
LH (m)	1.00
Öse (cm)	15
OL-Type	1.1
FD	100
TS	40 Niro
L-Y (m)	
SonstEG (cm)	16.6
HS-FR (cm)	
Abstand (m)	
L-HS (m)	
Gleishöhe(m)	

Masterdung: Normalschwelle - 1x RL, ED 410, Ausf.B(Cu 50)
Mastmanipulation: Autokran AN, stellen, Mastnummer (AN)



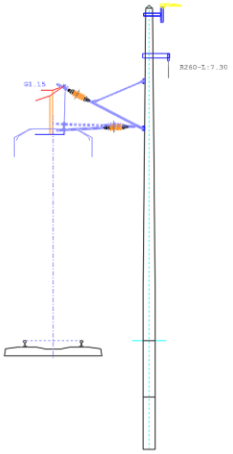
esbvm MAST
esbvm AUSL oben 7.030
unten 5.771
8.9 esbvm BELE 8.740
7.300 esbvm ULTG 7.662

Mast: WZN-13

MAST: WZN-13 Type: NS6 11.85 / 8.95 m - Normal
SOK:0.000m Station:15565.000m SOK-Bolzen:+0.000/+0.000m

Richtung	
Farbe	Orchidee
Sektion	G1.15
FH (m)	5.50
SH (m)	1.30
sm (m)	2.40
ZZ FD/TS(cm)	-30/-30
nDR/TR(cm/m)	-38.2/-4.9
nSH (cm/m)	
SZ/Lot (N)	770
Radius (m)	+500
U (cm)	+0.0
FD-W (°)	183.90
TS-W (°)	183.90
AH O/U (m)	6.98/5.72
bm/sl O (cm)	240/280
bm/sl U (cm)	240/300
Dru-R/4'L(m)	3'1.204
Str-R/4'L(m)	6'1.57+0.430
Tra-R/4'L(m)	6'0.172+1.353
Sei-R/4'L(m)	
Seitenhalter	
Zug-R/4'L(m)	
Winds (m)	
Rohrh (m)	
SHG/Klemm(m)	0.20
LH (m)	0.99
Öse (cm)	15
OL-Type	1.1
FD	100
TS	40 Niro
L-Y (m)	
SonstEG (cm)	17.1
HS-FR (cm)	
Abstand (m)	
L-HS (m)	
Gleishöhe(m)	

Masterdung: Normalschwelle - 1x RL, ED 410, Ausf.B(Cu 50)
Mastmanipulation: Autokran AN, stellen, Mastnummer (AN)



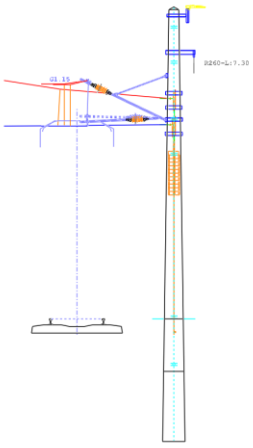
esbvm MAST
esbvm AUSL oben 6.982
unten 5.721
8.9 esbvm BELE 8.740
7.300 esbvm ULTG 7.662

Mast: WZN-14

MAST: WZN-14 Type: F3A 12.40 / 8.90 m - Normal
SOK:0.000m Station:15595.000m SOK-Bolzen:+0.000/+0.000m

Richtung		
Farbe	Orchidee	RSPW
Sektion	G1.15	GAH1.1
FH (m)	5.50	5.50
SH (m)	1.30	0.75
sm (m)	2.50	-2.50
ZZ FD/TS(cm)	-30/-30	
nDR/TR(cm/m)	-34.2/-4.9	fw=20.00m
nSH (cm/m)		VGI: nein
SZ/Lot (N)	1371	
Radius (m)	+150	+150
U (cm)	+0.0	+0.0
FD-W (°)	186.95	Alfa=4.0°
TS-W (°)	186.95	e=40
AH O/U (m)	6.99/5.73	AH / bm/ sl
bm/sl O (cm)	280/400	6.49/360/340
bm/sl U (cm)	280/420	6.08/360/340
Dru-R/4'L(m)	3'1.326	5.74/380/340
Str-R/4'L(m)	6'1.69+0.430	5.33/380/340
Tra-R/4'L(m)	6'0.261+1.407	-0.36/0/0
Sei-R/4'L(m)		
Seitenhalter		
Zug-R/4'L(m)		
Winds (m)		
Rohrh (m)		
SHG/Klemm(m)	0.20	
LH (m)	0.99	
Öse (cm)	15	
OL-Type	1.1	
FD	100	100
TS	40 Niro	40 Niro
L-Y (m)		
SonstEG (cm)	18.3	
HS-FR (cm)		
Abstand (m)		
L-HS (m)		
Gleishöhe(m)		

Masterdung: Normalschwelle - 1x RL, ED 410, Ausf.B(Cu 50)
Mastmanipulation: Autokran AN, stellen, Mastnummer (AN)



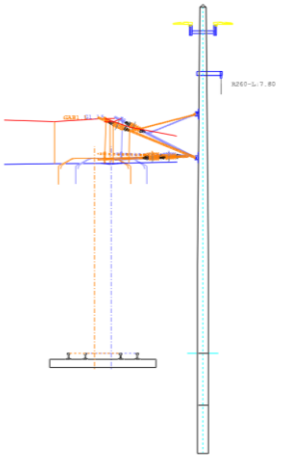
esbvm MAST
esbvm AUSL oben 6.995
unten 5.734
8.8 esbvm BELE 8.690
esbvm RSPW TS oben 6.489
unten 6.079
FD oben 5.739
unten 5.329
Gewfg. +0.360
7.300 esbvm ULTG 7.662

Mast: WZN-15

MAST: WZN-15 Type: NS6 13.00 / 10.10 m - Normal
SOK:0.000m Station:15622.000m SOK-Bolzen:+0.000/+0.000m

Richtung		
Farbe	Orchidee	Orange
Sektion	01.15	GAH1.1
FH (m)	5.50	5.50
SH (m)	1.30	1.30
sm (m)	2.50	2.99
ZZ FD/TS(cm)	-30/-30	-30/-30
nDR/TR(cm/m)	-36.7/-4.9	-24.7/-3.2
nSH (cm/m)		
SZ/Lot (N)	805	713
Radius (m)	Gerade	+150
U (cm)	+0.0	+0.0
FD-W (°)	184.08	183.61
TS-W (°)	184.08	183.51
AH O/U (m)	7.08/5.82	7.08/5.82
bm/sl O (cm)	240/300	0/0
bm/sl U (cm)	240/320	0/0
Dru-R/4'L(m)	3'1.245	3'1.659
Str-R/4'L(m)	6'1.61+0.430	6'2.05+0.430
Tra-R/4'L(m)	6'0.172+1.404	6'0.654+1.404
Sei-R/4'L(m)		
Seitenhalter		
Zug-R/4'L(m)		
Winds (m)		
Rohrh (m)		
SH9/Klemm(m)	0.20	0.20
LH (m)	0.99	0.99
Öse (cm)	15	15
OL-Type	1.1	1.1
FD	100	100
TS	40 Niro	40 Niro
L-Y (m)		
SonstEG (cm)	16.6	18.3
HS-FR (cm)		
Abstand (m)		
L-HS (m)		
Gleishöhe(m)		

Masterdung: Normalschwelle - 1x RL, ED 410, Ausf.B(Cu 50)
Mastmanipulation: Autokran AN, stellen, Mastnummer (AN)



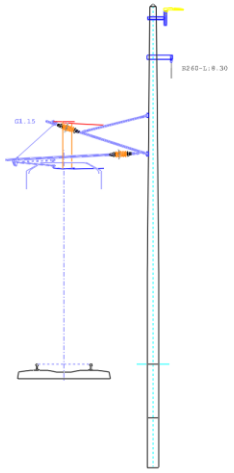
esbvm	AUSL	oben	7.079
		unten	5.818
esbvm	AUSL	oben	7.079
		unten	5.818
7.800	esbvm	ULTG	8.162
9.5	esbvm	BELE	9.340

Mast: WZN-16

MAST: WZN-16 Type: NS6 13.00 / 10.10 m - Normal
SOK:0.000m Station:15636.000m SOK-Bolzen:+0.000/+0.000m

Richtung		
Farbe	Orchidee	
Sektion	01.15	
FH (m)	5.50	
SH (m)	1.30	
sm (m)	2.34	
ZZ FD/TS(cm)	+30/+30	
nDR/TR(cm/m)	-24.1/-5.0	
nSH (cm/m)	-9.2/1.05m	
SZ/Lot (N)	1452/+9	
Radius (m)	-150	
U (cm)	+0.0	
FD-W (°)	172.64	
TS-W (°)	172.64	
AH O/U (m)	7.03/5.95	
bm/sl O (cm)	240/300	
bm/sl U (cm)	240/320	
Dru-R/4'L(m)	5'1.596	
Str-R/4'L(m)	6'1.97+0.430	
Tra-R/4'L(m)	6'0.145+3.003	
Sei-R/4'L(m)	3'0.999	
Seitenhalter	Normal 2,5°	
Zug-R/4'L(m)		
Winds (m)		
Rohrh (m)	0.32	
SH9/Klemm(m)	0.20 K	
LH (m)	1.34	
Öse (cm)	15	
OL-Type	1.1	
FD	100	
TS	40 Niro	
L-Y (m)		
SonstEG (cm)	18.3	
HS-FR (cm)		
Abstand (m)		
L-HS (m)		
Gleishöhe(m)		

Masterdung: Normalschwelle - 1x RL, ED 410, Ausf.B(Cu 50)
Mastmanipulation: Autokran AN, stellen, Mastnummer (AN)



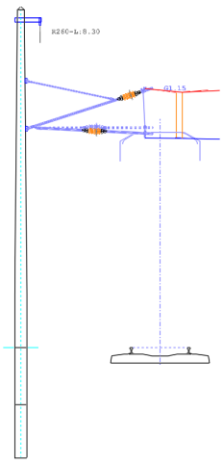
esbvm	AUSL	oben	7.034
		unten	5.953
9.9	esbvm	BELE	9.740
8.300	esbvm	ULTG	8.662

Mast: WZN-17

MAST: WZN-17 Type: NS6 11.85 / 8.95 m - Normal
SOK:0.000m Station:15663.000m SOK-Bolzen:+0.000/+0.000m

Richtung		
Farbe	Orchidee	
Sektion	01.15	
FH (m)	5.50	
SH (m)	1.30	
sm (m)	3.50	
ZZ FD/TS(cm)	-40/-40	
nDR/TR(cm/m)	-20.4/-5.0	
nSH (cm/m)		
SZ/Lot (N)	2049	
Radius (m)	-150	
U (cm)	-0.0	
FD-W (°)	190.39	
TS-W (°)	190.39	
AH O/U (m)	7.07/5.81	
bm/sl O (cm)	240/280	
bm/sl U (cm)	240/300	
Dru-R/4'L(m)	3'2.090	
Str-R/4'L(m)	6'2.46+0.430	
Tra-R/4'L(m)	6'1.219+1.306	
Sei-R/4'L(m)		
Seitenhalter		
Zug-R/4'L(m)		
Winds (m)		
Rohrh (m)		
SH9/Klemm(m)	0.20	
LH (m)	1.00	
Öse (cm)	15	
OL-Type	1.1	
FD	100	
TS	40 Niro	
L-Y (m)		
SonstEG (cm)	18.3	
HS-FR (cm)		
Abstand (m)		
L-HS (m)		
Gleishöhe(m)		

Masterdung: Normalschwelle - 1x RL, ED 410, Ausf.B(Cu 50)
Mastmanipulation: Autokran AN, stellen, Mastnummer (AN)



esbvm	AUSL	oben	7.067
		unten	5.807
8.300	esbvm	ULTG	8.662

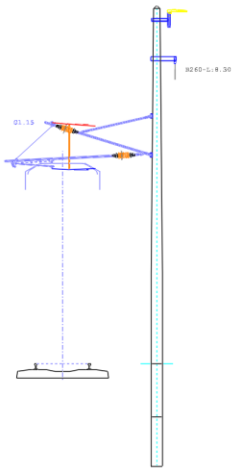
Mast: WZN-18

MAST: WZN-18 Type: NS6 13.00 / 10.10 m - Normal
SOK:0.000m Station:15688.000m SOK-Bolzen:+0.000/+0.000m

Masterdung: Normalschwelle - 1x RL, ED 410, Ausf.B(Cu 50)
Mastmanipulation: Autokran AN, stellen, Mastnummer (AN)

esbvm MAST
esbvm AUSL oben 7.046
unten 5.947
9.9 esbvm BELE 9.740
8.300 esbvm ULTG 8.662

Richtung	
Farbe	Orchidee
Sektion	G1.15
FH (m)	5.50
SH (m)	1.30
am (m)	2.50
ZZ FD/TS(cm)	+30/+30
nDR/TR(cm/m)	-22.1/-5.0
nSH (cm/m)	-7.5/1.05m
SZ/Lot (N)	1842/+9
Radius (m)	-150
U (cm)	+0.0
FD-W (°)	170.66
TS-W (°)	170.66
AH O/U (m)	7.05/5.95
hm/sl O (cm)	240/300
hm/sl U (cm)	240/320
Dru-R/4'L(m)	5'1.748
Str-R/4'L(m)	6'2.12+0.430
Tra-R/4'L(m)	6'0.182+3.128
Sei-R/4'L(m)	3'0.999
Seitenhalter	Normal 2,5°
Zug-R/4'L(m)	
Winds (m)	
Rohrh (m)	0.32
SH9/Klemm(m)	0.20 K
LH (m)	1.35
Öse (cm)	15
OL-Type	1.1
FD	100
TS	40 Niro
L-Y (m)	
SonstEG (cm)	18.3
HS-FR (cm)	
Abstand (m)	
L-HS (m)	
Gleishöhe(m)	



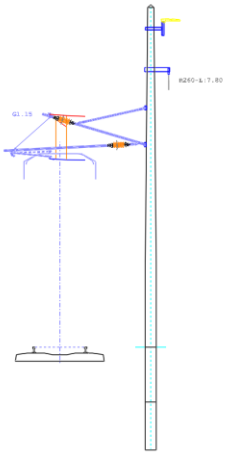
Mast: WZN-19

MAST: WZN-19 Type: NS6 13.00 / 10.00 m - Normal
SOK:0.000m Station:15713.000m SOK-Bolzen:+0.000/+0.000m

Masterdung: Normalschwelle - 1x RL, ED 410, Ausf.B(Cu 50)
Mastmanipulation: Autokran AN, stellen, Mastnummer (AN)

esbvm MAST
esbvm AUSL oben 7.047
unten 5.976
9.5 esbvm BELE 9.340
7.800 esbvm ULTG 8.162

Richtung	
Farbe	Orchidee
Sektion	G1.15
FH (m)	5.50
SH (m)	1.30
am (m)	2.50
ZZ FD/TS(cm)	+30/+30
nDR/TR(cm/m)	-21.7/-5.0
nSH (cm/m)	-10.2/1.05m
SZ/Lot (N)	1289/+9
Radius (m)	-150
U (cm)	+0.0
FD-W (°)	173.47
TS-W (°)	173.47
AH O/U (m)	7.05/5.98
hm/sl O (cm)	240/300
hm/sl U (cm)	240/320
Dru-R/4'L(m)	5'1.745
Str-R/4'L(m)	6'2.11+0.430
Tra-R/4'L(m)	6'0.183+3.126
Sei-R/4'L(m)	3'0.999
Seitenhalter	Normal 2,5°
Zug-R/4'L(m)	
Winds (m)	
Rohrh (m)	0.32
SH9/Klemm(m)	0.20 K
LH (m)	1.33
Öse (cm)	15
OL-Type	1.1
FD	100
TS	40 Niro
L-Y (m)	
SonstEG (cm)	18.3
HS-FR (cm)	
Abstand (m)	
L-HS (m)	
Gleishöhe(m)	



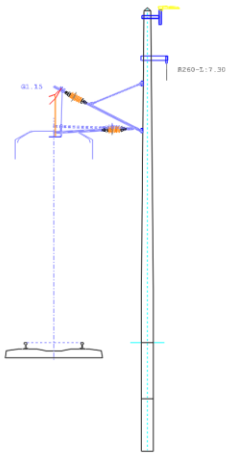
Mast: WZN-20

MAST: WZN-20 Type: NS6 11.85 / 8.95 m - Normal
SOK:0.000m Station:15769.000m SOK-Bolzen:+0.000/+0.000m

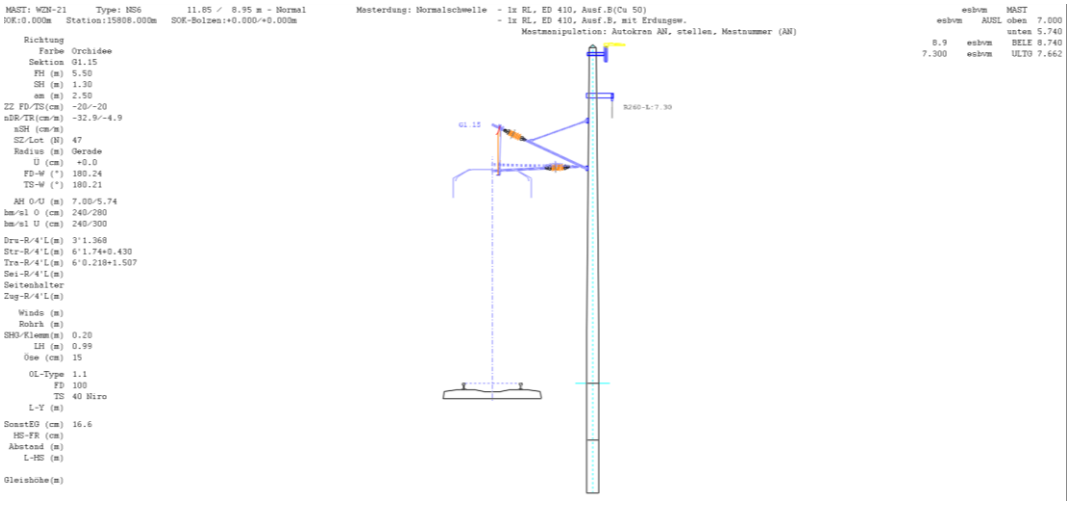
Masterdung: Normalschwelle - 1x RL, ED 410, Ausf.B(Cu 50)
Mastmanipulation: Autokran AN, stellen, Mastnummer (AN)

esbvm MAST
esbvm AUSL oben 6.986
unten 5.725
8.9 esbvm BELE 8.740
7.300 esbvm ULTG 7.662

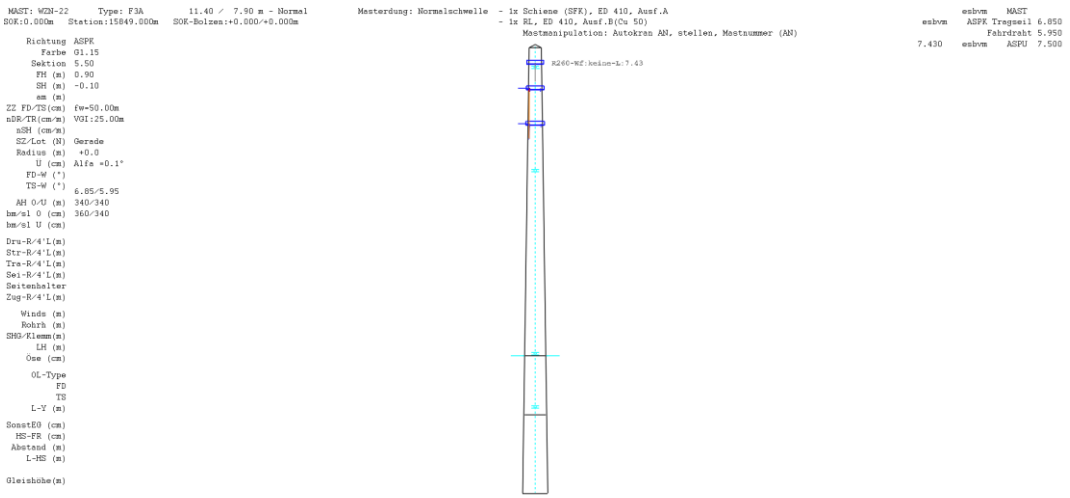
Richtung	
Farbe	Orchidee
Sektion	G1.15
FH (m)	5.50
SH (m)	1.30
am (m)	2.34
ZZ FD/TS(cm)	-20/-20
nDR/TR(cm/m)	-37.1/-4.9
nSH (cm/m)	
SZ/Lot (N)	373
Radius (m)	+750
U (cm)	+0.0
FD-W (°)	181.89
TS-W (°)	181.89
AH O/U (m)	6.99/5.72
hm/sl O (cm)	240/280
hm/sl U (cm)	240/300
Dru-R/4'L(m)	3'1.236
Str-R/4'L(m)	6'1.61+0.430
Tra-R/4'L(m)	6'0.172+1.393
Sei-R/4'L(m)	
Seitenhalter	
Zug-R/4'L(m)	
Winds (m)	
Rohrh (m)	
SH9/Klemm(m)	0.20
LH (m)	0.99
Öse (cm)	15
OL-Type	1.1
FD	100
TS	40 Niro
L-Y (m)	
SonstEG (cm)	16.9
HS-FR (cm)	
Abstand (m)	
L-HS (m)	
Gleishöhe(m)	



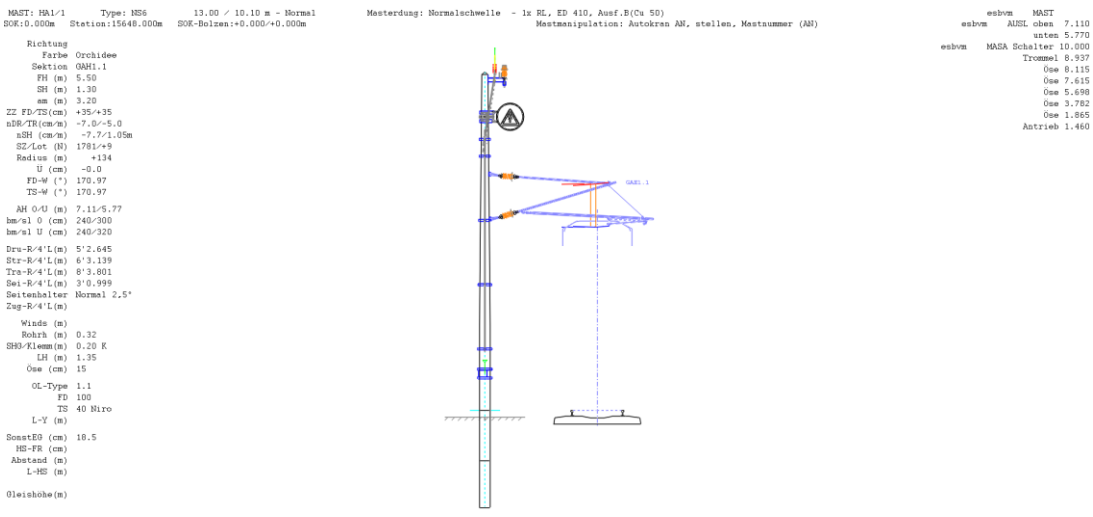
Mast: WZN-21



Mast: WZN-22



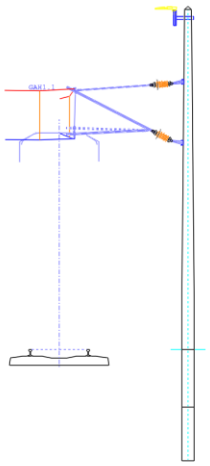
Mast: HA1/1



Mast: HA1/2

MAST: HA1/2 Type: NS6 11.85 / 8.95 m - Normal Masterdung: Normalschwelle - 1x RL, ED 410, Ausf.B(Cu 50) esbvm MAST
SOK:0.000m Station:15673.000m SOK-Bolzen:+0.000/+0.000m Mastmanipulation: Autokran AN, stellen, Mastnummer (AN) esbvm AUSL oben 7.043
unten 5.454
8.8 esbvm BELE 8.690

Richtung	
Farbe	Orchidee
Sektion	GAH1.1
FH (m)	5.50
SH (m)	1.30
am (m)	3.20
ZZ FD/TS(cm)	-40/-40
nDR/TR(cm/m)	-7.0/-5.0
nSH (cm/m)	
SZ/Lot (N)	1218
Radius (m)	+134
U (cm)	+0.0
FD-W (°)	186.17
TS-W (°)	186.15
AH O/U (m)	7.04/5.45
bm/sl O (cm)	240/280
bm/sl U (cm)	240/300
Dru-R/4'L(m)	3'1.842
Str-R/4'L(m)	6'2.576
Tra-R/4'L(m)	5'2.009
Sei-R/4'L(m)	
Seitenhalter	
Zug-R/4'L(m)	
Winds (m)	
Rohrh (m)	
SH3/Klemm(m)	0.20
LH (m)	1.00
Öse (cm)	15
OL-Type	1.1
FD	100
TS	40 Niro
L-Y (m)	
SonstEG (cm)	18.5
HS-FR (cm)	
Abstand (m)	
L-HS (m)	
Gleishöhe(m)	



Mast: HA1/3

MAST: HA1/3 Type: F3A 10.40 / 6.90 m - Parallel Masterdung: Normalschwelle - 1x RL, ED 410, Ausf.B(Cu 50) esbvm MAST
SOK:0.000m Station:15703.000m SOK-Bolzen:+0.000/+0.000m Mastmanipulation: Autokran AN, stellen, Mastnummer (AN) esbvm ASPK Tragseil 6.604
Fahrdraht 5.704

Richtung	ASPK
Farbe	GAH1.1
Sektion	5.50
FH (m)	0.90
SH (m)	-3.20
am (m)	
ZZ FD/TS(cm)	fw=30.00m
nDR/TR(cm/m)	VGl:15.00m
nSH (cm/m)	
SZ/Lot (N)	Gerade
Radius (m)	+0.0
U (cm)	Alfa =4.0°
FD-W (°)	
TS-W (°)	
	6.60/5.70
AH O/U (m)	280/400
bm/sl O (cm)	280/440
bm/sl U (cm)	
Dru-R/4'L(m)	
Str-R/4'L(m)	
Tra-R/4'L(m)	
Sei-R/4'L(m)	
Seitenhalter	
Zug-R/4'L(m)	
Winds (m)	
Rohrh (m)	
SH0/Klemm(m)	
LH (m)	
Öse (cm)	
OL-Type	
FD	
TS	
L-Y (m)	
SonstEG (cm)	
HS-FR (cm)	
Abstand (m)	
L-HS (m)	
Gleishöhe(m)	

6.4 Anhang 4 Oberleitungsschaltplan

Der Oberleitungsschaltplan befindet sich digital im Anhang dieser Masterarbeit.

6.5 Anhang 5 Oberleitungslageplan

Der Oberleitungslageplan befindet sich digital im Anhang dieser Masterarbeit.

6.6 Anhang 6 Bauablaufplan

Bauablaufplan Elektrifizierung des Streckenabschnitt "Weiz Stadt"

Bauphasen	Tätigkeit	Dauer	1. Monat																													2. Monat																
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Vorarbeiten	Vorfertigen der Armaturen und Ausleger	15 Tage																																															
	Vermessung	1 Tag																																															
	Geologische Untersuchung	3 Tage																																															
	Kampfmitteltechnische Untersuchung	3 Tage																																															
	Baustelleneinrichtung	2 Tage																																															
Hauptarbeiten	Herstellung der Gründungen	6 Tage																																															
	Maststellen	3 Tage																																															
	Vermessen	1 Tag																																															
	Vormontage der Armaturen	5 Tage																																															
	Auslegermontage	1 Tag																																															
	Kettenwerks-, Leitungsmontage	1 Tag																																															
	Regulierung des Kettenwerks	2 Tage																																															
	Erdungsarbeiten	5 Tage																																															
	Abnahme	1 Tag																																															

6.7 Anhang 7 Mastverzeichnis

FH St. Pölten

Planung Oberleitung

MASTVERZEICHNIS

Streckenabschnitt "Weiz Stadt"

Strecke: Gleisdorf -Weiz

von km 15.077 - km 15.846

Bearbeiter: Zechner

Bahntechnologie & Mobilität fh st.pölten

Mastnummer	Standort				Mast		Mastlängen			Fundament		FH	Leitungen	Anmerkung
	AX-MVK [m]	o u	zu Gleis	Radius [m]	Normal/ Parallel	Bauform	Gesamt [m]	über SOK [m]	unter SOK [m]	SOK-FOK [cm]	BF	[m]	U/V/S/R	
WZN-01	3,00	u	174	190	N	F3A	15,40	11,90	3,50	150	R	5,50	S/R	Einspeisung
WZN-02	3,00	u	174	190	N	F3A	14,40	10,90	3,50	150	R	5,50	R	
WZN-03	2,60	u	174	190	N	F3A	13,40	9,90	3,50	150	R	5,50	R	LPH9,0m
WZN-04	2,94	u	174	175	N	F3A	13,40	9,90	3,50	35	H	5,50	R	LPH9,0m
WZN-05	2,96	u	174	175	N	F3A	13,40	9,90	3,50	150	R	5,50	R	LPH9,0m
WZN-06	2,80	o	175	175	N	NS6	11,85	8,95	2,90	150	R	5,50	R	
WZN-07	2,80	o	175	Gerade	N	NS6	11,85	8,95	2,90	35	H	5,50	R	
WZN-08	3,01	o	175	Gerade	N	NS6	11,85	8,95	2,90	150	R	5,50	R	
WZN-09	2,50	o	176	300	N	NS6	11,85	8,95	2,90	150	R	5,50	R	
WZN-10	2,50	u	176	500	N	NS6	13,00	10,10	2,90	150	R	5,50	R	LPH9,0m
WZN-11	2,50	u	176	500	N	NS6	11,85	8,95	2,90	150	R	5,50	R	LPH9,0m
WZN-12	2,40	u	177	Gerade	N	NS6	11,85	8,95	2,90	35	H	5,50	R	LPH9,0m
WZN-13	2,40	u	177	500	N	NS6	11,85	8,95	2,90	150	R	5,50	R	LPH9,0m
WZN-14	2,45	u	177	150	N	F3A	12,40	8,90	3,50	150	R	5,50	R	LPH9,0m
WZN-15	2,50	u	177	Gerade	N	NS6	13,00	10,10	2,90	150	R	5,50	R	LPH9,0m
WZN-16	2,35	u	178	150	N	NS6	13,00	10,10	2,90	35	H	5,50	R	LPH9,0m
WZN-17	3,50	o	178	150	N	NS6	11,85	10,10	1,75	150	R	5,50	R	LPH9,0m
WZN-18	2,50	u	178	150	N	NS6	13,00	10,10	2,90	150	R	5,50	R	LPH9,0m
WZN-19	2,50	u	178	150	N	NS6	13,00	10,10	2,90	150	R	5,50	R	LPH9,0m
WZN-20	2,35	u	178	750	N	NS6	11,85	8,95	2,90	150	R	5,50	R	LPH9,0m
WZN-21	2,50	u	178	Gerade	N	NS6	11,85	8,95	2,90	150	R	5,50	R	LPH9,0m
WZN-22			178	Gerade	N	F3A	11,40	7,90	3,50	35	H	5,50	R	Abspannmast
HA1/1	3,20	o	ABHA	150	N	NS6	13,00	10,10	2,90	150	R	5,50		Einspeisung AB
HA1/2	3,20	o	ABHA	150	N	NS6	11,85	8,95	2,90	150	R	5,50		LPH9,0m
HA1/3			ABHA	Gerade	P	F3A	10,40	6,90	3,50	35	H	5,50		Abspannmast

6.8 Anhang 8 Fundierungsverzeichnis

FH St. Pölten

Planung Oberleitung

FUNDIERUNGSVERZEICHNIS

Streckenabschnitt "Weiz Stadt"

Strecke: Gleisdorf -Weiz

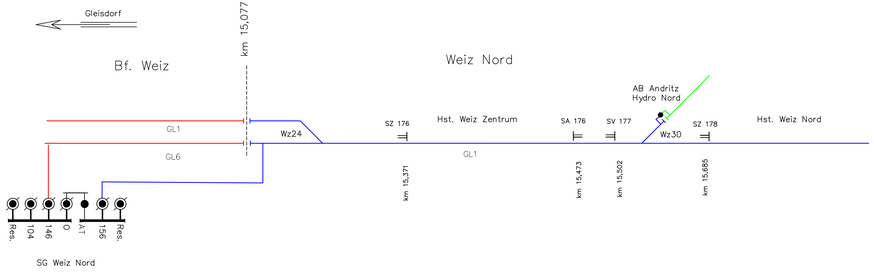
von km 15.077 - km 15.846

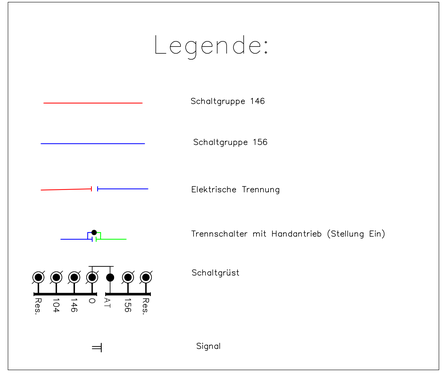
Bearbeiter: Zechner

Mastnummer	Mast		Standort						Fundamentangaben			Bodenangaben		Anmerkung	Rammfundament		Hohl- u. Blockfundament		
	Normal	Bauform	AX-MVK	AX-MM	zu Gleis	km-Angabe	Mastmittelpunkt		SOK-FOK	SOK	FOK	Bodengruppe	Wasser		Pfahltype	Pfahllänge	Länge	Breite	Tiefe
	Parallel		[m]	[m]			Y	X	[cm]	[m.ü.A.]	[m.ü.A.]		%			[m]	bx [m]	by [m]	t [m]
WZN-01	N	F3A	3,00	3,35	174	15.074	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	150	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	50	Einspeisung	400	5,5			
WZN-02	N	F3A	3,00	3,35	174	15.102	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	150	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	50		400	5,5			
WZN-03	N	NS6	2,60	2,76	174	15.132	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	150	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	50	LPH9,0m	400	5,5			
WZN-04	N	F3A	2,94	3,28	174	15.161	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	35	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	50	LPH9,0m			3,10	3,10	2,30
WZN-05	N	F3A	2,80	2,96	174	15.189	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	150	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	50	LPH9,0m	400	5,5			
WZN-06	N	NS6	2,80	2,96	175	15.215	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	150	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	50		350	5			
WZN-07	N	NS6	2,80	2,96	175	15.246	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	35	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	50				1,00	1,00	2,20
WZN-08	N	NS6	3,00	3,16	175	15.316	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	150	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	50		350	5			
WZN-09	N	NS6	2,50	2,66	176	15.362	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	150	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	50		350	5			
WZN-10	N	NS6	2,50	2,66	176	15.411	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	150	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	50	LPH9,0m	350	5			
WZN-11	N	NS6	2,50	2,66	176	15.456	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	150	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	50	LPH9,0m	350	5			
WZN-12	N	NS6	2,40	2,56	177	15.512	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	35	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	50	LPH9,0m			1,00	1,00	2,20
WZN-13	N	NS6	2,40	2,56	177	15.565	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	150	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	50	LPH9,0m	350	5			
WZN-14	N	F3A	2,45	2,61	177	15.595	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	150	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	50	LPH9,0m	350	5			
WZN-15	N	NS6	2,50	2,66	177	15.622	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	150	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	50	LPH9,0m	350	5			
WZN-16	N	NS6	2,35	2,51	178	15.636	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	35	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	50	LPH9,0m			1,00	1,00	2,20
WZN-17	N	NS6	3,50	3,66	178	15.663	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	150	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	50	LPH9,0m	350	5			
WZN-18	N	NS6	2,50	2,66	178	15.688	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	150	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	50	LPH9,0m	350	5			
WZN-19	N	NS6	2,50	2,66	178	15.713	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	150	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	50	LPH9,0m	350	5			
WZN-20	N	NS6	2,35	2,51	178	15.769	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	150	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	50	LPH9,0m	350	5			
WZN-21	N	NS6	2,50	2,66	178	15.808	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	150	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	50	LPH9,0m	350	5			
WZN-22	N	F3A			178	15.849	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	35	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	50	Abspannmast			3,10	3,10	2,30
HA1/1	N	NS6	3,20	3,36	ABHA	15.648	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	150	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	50	Einspeisung AB	350	5			
HA1/2	N	NS6	3,20	3,36	ABHA	15.673	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	150	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	50	LPH9,0m	350	5			
HA1/3	P	F3A			ABHA	15.703	Y-Koordinaten	X-Koordinaten	35	Z-Koordinaten	Z-Koordinaten	Kies	50	Abspannmast			3,10	3,10	2,30

Legende	
Rammpfahl	Typ
N	350-4000*/5000*
F1-F3A	400-5500*
F3B-F6	500-5500*

Koordinatensystem -





REV.	DATUM	BEARB.	GEZ.	GEPR.	BESCHREIBUNG DER ÄNDERUNG
5					
4					
3					
2					
1					

Bahntechnologie & Mobilität

fh st.pölten

Gleisdorf - Weiz

Streckenabschnitt

"Weiz Stadt"

km 15,077 - km 15,846

PLANVERFASSER		DATUM	NAME
Bahntechnologie & Mobilität fh st.pölten	BEARBEITET	27.07.2023	M. Zechner
	GEZEICHNET	27.07.2023	M. Zechner
	GEPRÜFT	27.07.2023	M. Zechner
	FREIGEGEBEN	27.07.2023	M. Zechner

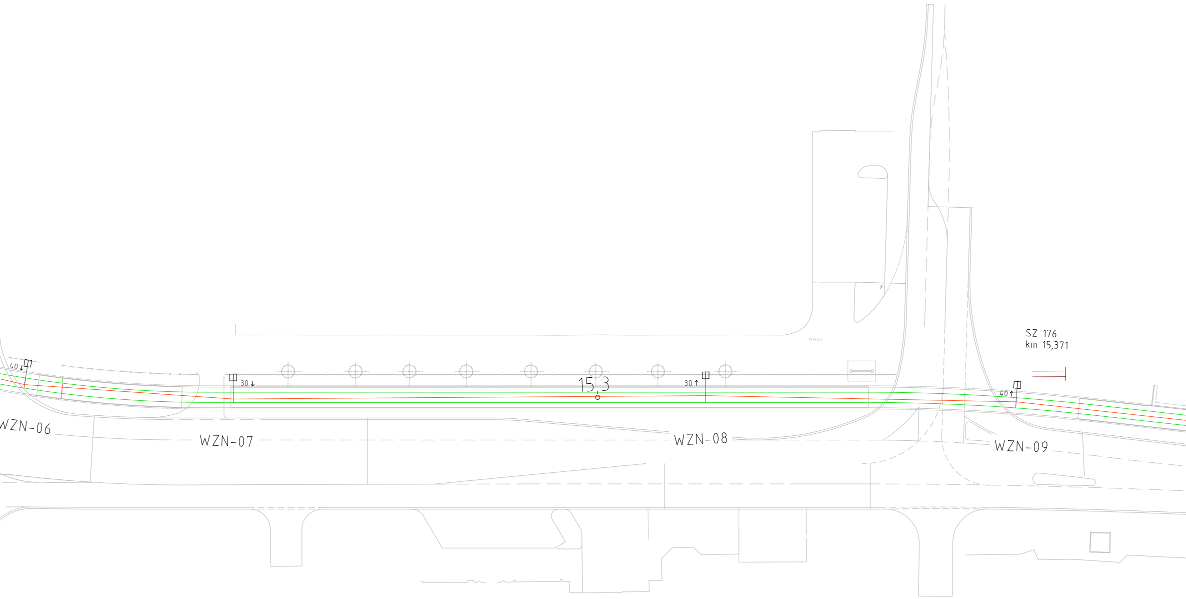
PLANINHALT

"Weiz Stadt"
Schaltbild der Oberleitungsanlage

MASZSTAB	PLANNUMMER
	001

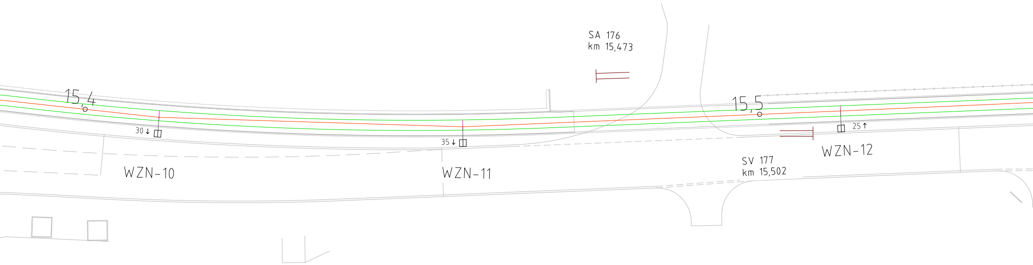
15,1
15,2
Elektrische Trennstellel
km 15,77
30 ↑
30 ↑
WZN-01
15,1
30 ↑
30 ↓
WZN-02
30 ↓
30 ↑
WZN-03
40 ↑
20 ↑
WZN-04
15,2
40 ↓
WZN-05

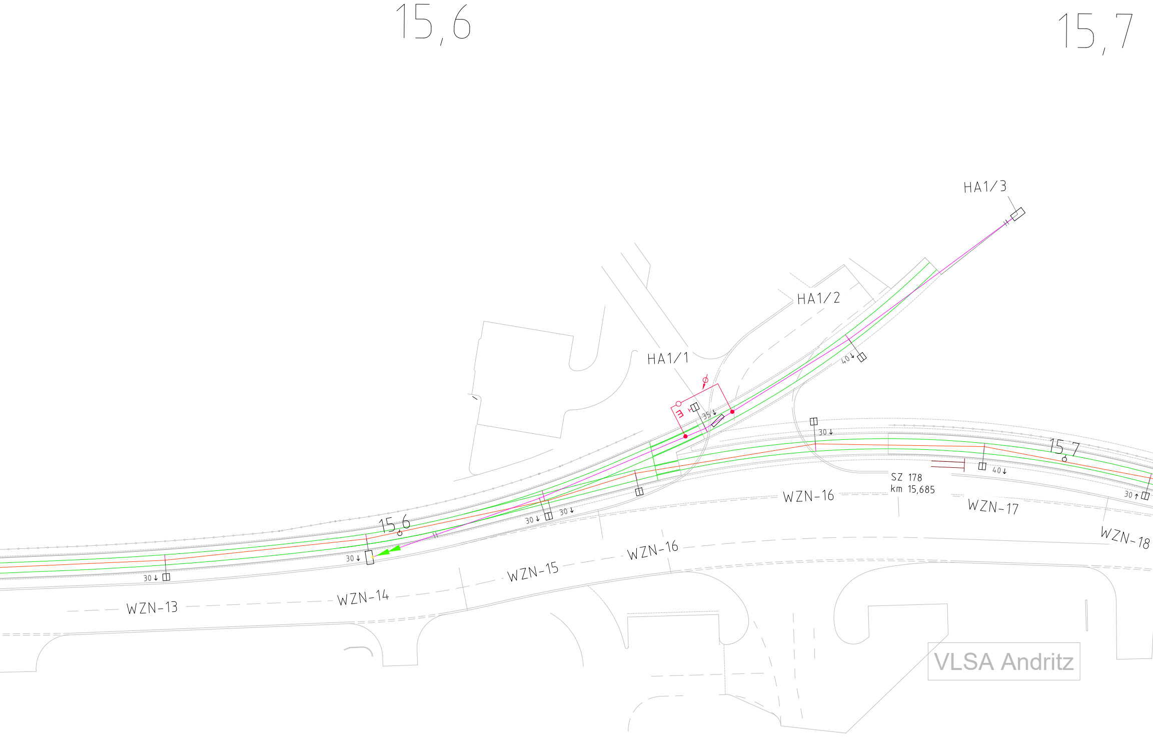
15,3


40↓
30↓
15,3
30↑
40↑
Poller
SZ 176
km 15,371
WZN-06
WZN-07
WZN-08
WZN-09

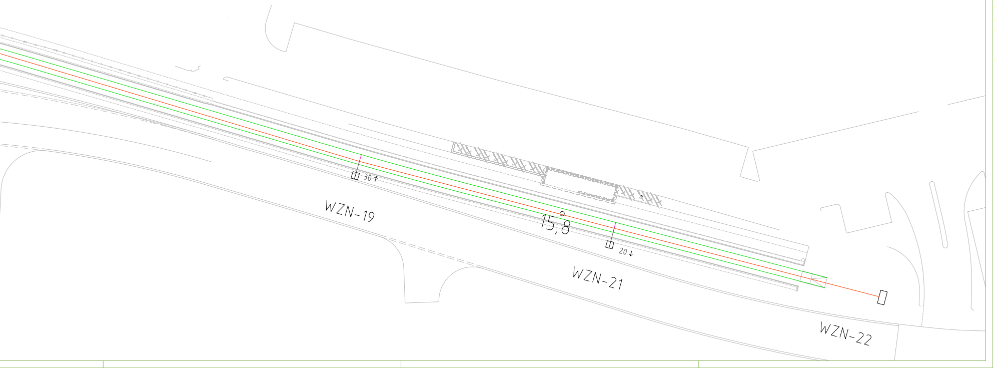
15,4

15,5


SA 176
km 15,473
15,4
15,5
30↓
35↓
25↑
WZN-10
WZN-11
WZN-12
SV 177
km 15,502


15,6
15,7
HA1/3
HA1/2
HA1/1
40↓
35↓
30↓
15,7
40↓
SZ 178
km 15,685
WZN-16
WZN-17
30↑
WZN-18
15,6
30↓
30↓
30↓
30↓
WZN-16
WZN-15
WZN-14
WZN-13
VLSA Andritz

15,8


30 ↑
15,8
20 ↓
WZN-19
WZN-21
WZN-22

(Bahnhof-)Umgehungsleitungen oder Schalterleitungen — Freileitung — Kabel

Verstärkungsleitungen oder Speiseleitungen — Freileitung — Kabel

Querungsleitungen (ED 125 bis ED 128)

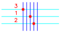
Rückleiter — Freileitung

Leitungsabspannungen (ED 122)

einfach

mit el.Verbindungen

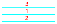
Einspeisung der Querungsleitung in die Oberleitung



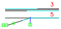
Ausführung mit erhöhter Sicherheit — erh.S.

Kabel und Kabelaufführung (ED 5825 bis ED 5829)

Beschliffene Oberleitung
Die Oberleitung ist in Lageplänen über der Gleisachse
von Ausleger zu Ausleger, geradlinig, durchgehend gezeichnet.
Die zugehörige Gleisnummer ist über der Oberleitung angegeben.



Hochgezogene, nicht beschliffene Oberleitung
über oder neben dem Gleis (dünn gezeichnet)



Sektionstrennung (ED 66)

Oberleitungsaufhängungen der offenen Strecke

Drehausleger (ED 5003)

Drehausleger, seitliche Festlegung

Doppelausleger, Weichenausleger

Dreifachausleger

Rahmenbock (ED 167) mit

Einfachausleger

Doppelausleger

Dreifachausleger

Galgenausleger (ED 168)

Abspannungen

Feste Abspannung (ED 5113)

von Fahrdraht und Längstragseil

von Fahrdraht oder Längstragseil
an Bauwerken

Bewegliche Nachspanneinrichtungen (ED 5150 bis ED 5153)

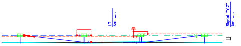
gemeinsam für Fahrdraht und Längstragseil

getrennt für Fahrdraht und Längstragseil

Elektrische Trennungen der Oberleitungen

Vorgesetzte oder Zwischenisolation (ED 5310)

Bahnhof-Streckentrennung, Lufttrennung (ED 65)


LT
km .....
Signal "Y,Z"
km .....

Streckentrenner

Schalter und Schaltgerüste

Schaltgerüst (mit Schalterbezeichnung)

2 3 0 AT 4 6 5
Betonschaltgerüst
105 0 AT 205
104 106 206 204
Stahlschaltgerüst

Oberleitungsmaste

N-Mast
Betonmast der Bauart N, NS und NT (früher auch R, RS, MR, T und NA)

F-Mast
Betonflachmast der Bauart F und FS (früher auch FR und FM)

Mastnummerierung (ED 32)

	in Betriebstellen	freie Strecke
Baunummern	17A	124-3A
Betriebsnummern	17	124-3

Abtrag

Gleise (NEU)

Gelände (NEU)

Die kilometrischen Angaben der Lufttrennungen sind auf 5m gerundet

Plannummer: 001

AUSFERTIGUNG

ORDNUNGSNUMMER
001

Elektrifizierung des Streckenabschnitts „Weiz Stadt“

Gleisdorf - Weiz

Streckenabschnitt "Weiz Stadt"

04				
03				
02				
01	27.07.2023	M. Zechner		
Index	Datum	Name	Beschreibung der Änderung	Zustimmung

OBJEKTNR.: 001

STRECKENNR.: Gleisdorf - Weiz

ABSCHNITT
Km / Stat.

Bearbeitet	27.07.2023	M. Zechner
Gezeichnet	27.07.2023	M. Zechner
Geprüft		
GZ		
Plangröße		
Maßstab	1:500	

Planinhalt

Ausführungsplan der Oberleitungsanlage

Planung:

Bahntechnologie & Mobilität
fh st.pölten

Planungsprojektleiter:
Manuel Zechner, BSc.

Unterschrift/Stempel

Projektleitung:

Unterschrift/Stempel