

Dokumentation zum Hochspannungsmasten-System samt Freileitungs-Tool

Version 1.00.0 - Stand: 24.07.2022

Schnelleinstieg

Ja, diese Dokumentation ist lang! Doch bitte ich darum, sich nicht direkt davon abschrecken zu lassen. Einige hier enthaltene Informationen sind zunächst garnicht so wichtig wie andere.

Dieser Schnelleinstieg soll kurz und bündig Aufschluss über die einzelnen Kapitel und ihre Relevanz geben.

An dieser Stelle direkt ein kleiner **Tipp**: Alle Kapitel-Links sind **klickbar**!

Wer direkt mit dem Bau einer Hochspannungstrasse beginnen möchte, ohne sich vorher einen Haufen Fachwissen anzulesen, dem empfehle ich den direkten Sprung zu...

Kapitel „5. Erstellen einer Trasse“.

Ganz mutige User können sich auch daran versuchen, nur mit Hilfe des...

Kapitels „5.5 Kurzversion“

...ein paar Masten aufzustellen und zu verbinden. Davon würde ich aber dringend abraten!

Wer sich dieses Wissen lieber ohne viel Lesen aneignen möchte, kann einen Blick auf das...

Kapitel „5.7 Video-Tutorial“

...werfen.

Zum besseren Verständnis der Modelle kann das...

Kapitel „3. Die Modelle“

...beitragen.

Alle weiteren Inhalte finden sich auf der *nächsten Seite* im...

Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort / Historie	1
2. Vorbild	2
2.1 Spannungsklassen	2
2.2 Isolatoren.....	3
2.3 Bündelleiter	4
2.3.1 110kV-Systeme	4
2.3.2 220kV-Systeme	4
2.3.3 380kV-Systeme	4
2.4 Schwingungsdämpfer	5
3. Die Modelle	6
3.1 Masten.....	6
3.2 Isolatoren.....	8
3.3 Leitungen.....	10
3.4 Immobilien.....	10
4. Das Tool	11
4.1 Warum überhaupt ein Tool?	11
4.2 Oberfläche	12
4.2.1 Erster Start.....	12
4.2.2 Sprachwahl	13
4.2.3 Hauptfenster	13
4.2.4 Bearbeitungshistorie	13
4.2.5 Einzelverbinder	14
4.3 Desktop-Verknüpfung	14
4.4 Updates	14
5. Erstellen einer Trasse	15
5.1 Trassenplanung / Vorabhinweise	15
5.2 Masten aufstellen.....	16
5.2.1 Der erste Mast.....	16
5.2.2 Die erste Mastverbindung.....	17
5.2.3 Der zweite Mast	18
5.2.4 Winkeländerung	19
5.2.5 Die zweite Mastverbindung	20
5.2.6 Höhenunterschied	21
5.3 Isolatoren anbringen	22
5.3.1 Masten Sperren	22
5.3.2 Isolatoren wählen und anbringen	22
5.3.3 Isolatoren an Traverse anpassen.....	23
5.4 Mittels Tool verbinden	25
5.4.1 Die Anlage laden.....	25

5.4.2 Eingabe der gewünschten Daten.....	25
5.4.3 Auswahl der Warnball-Bereiche.....	27
5.4.4 Das Ergebnis	29
5.5 Kurzversion	30
5.6 Zusatzfunktionen / Weitere Hinweise.....	31
5.6.1 Übergänge zwischen verschiedenen Mastarten	31
5.6.1.1 Unterschiedliche Erdleitungen	31
5.6.1.2 Verschiedene Mastarten, gleiche Maximalspannung	32
5.6.1.3 Komplett unterschiedliche Masten oder Leitungsauskopplungen	34
5.6.2 Beeinflussung des Durchhangs.....	35
5.6.3 Asymmetrische Masten.....	36
5.7 Video-Tutorial.....	37
6. Fehlerbehebung	38
6.1 Fehler identifizieren und beheben	38
6.1.1 Fehlerausgabe	38
6.1.3 Log-Dateien	38
6.2 Nicht lösbare Fehler melden	39
7. Danksagungen	40
Anhang: Hintergründe / Technik.....	41
A1 Programmiersprache.....	41
A2 Warum benötigt das Tool die vier Gleisstücke?	41
A3 Durchhangberechnung.....	42

1. Vorwort / Historie

Bereits im Jahr 2015 begann ich, mich mit dem Thema Hochspannungsmasten zu beschäftigen und entwarf erste Ideen, um die schon sehr in die Jahre gekommenen Hochspannungsmasten aus Zeiten von EEP4 zu erneuern.

Die damaligen Überlegungen basierten auf einem System, das Mast und Isolator fest verband, was die Umsetzung aus verschiedenen Gründen zunächst unmöglich erscheinen ließ.

Mit dem Erhalt meines Konstrukteurs-Status 2018 arbeitete ich die liegengelassenen Ideen neu auf und entwickelte das heutige System, welches die Bauteile Mast und Isolator beliebig kombinierbar macht.

Erste Überlegungen sahen die Berechnung der Leitungswinkel mittels einer Excel-Tabelle vor. In Abstimmung mit meinen Vortestern erwies sich diese Lösung allerdings als extrem umständlich und unübersichtlich, weshalb schnell klar war, dass eine eigens für dieses System entwickelte Software-Lösung die einzig praktikable Möglichkeit ist, den Aufwand seitens des Users im Rahmen zu halten.

Die Software sollte als kleines Tool vorliegen, welches die Anlage ähnlich des bekannten „Tauschmanager“ unabhängig von EEP bearbeiten kann. Dieses mächtige Programm hatte maßgeblichen Einfluss auf die Funktionsweise meines Tools.

Nach fast vier Jahren Entwicklungszeit (mit Unterbrechungen), einigen Hürden seitens meiner Software, aber auch seitens EEP, unzähligen Tests und ein paar Redesigns freue ich mich nun, dieses aufwendige System fertiggestellt zu haben.

2. Vorbild

Um den in Kraftwerken produzierten Strom zum Verbraucher zu bringen, muss er oft über mehrere hundert Kilometer quer durchs Land transportiert werden. Teils geschieht dies per Erdkabel, als günstigere und einfachere Lösung hat sich aber der Bau von Hochspannungstrassen herausgestellt.

2.1 Spannungsclassen

Die allermeisten Systeme übertragen dabei Dreiphasenwechselstrom (kurz: Drehstrom), nur wenige Trassen zur Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (kurz: HGÜ) sind geplant oder im Bau.

Da sich – bereits dem Namen nach zu Urteilen – Drehstrom dreier Leitungen (Phasen) bedient, müssen für einen zu übertragenden Stromkreis entsprechend drei Leiterseile aufgehängt werden. So ergibt sich, dass die Leitungszahl beinahe aller Hochspannungsmasten ein vielfaches von drei ist.

Einzige Ausnahme bilden die Hochspannungsleitungen der DB Netz AG, ÖBB und SBB, welche die Versorgungsspannung für die Unterwerke des Eisenbahnnetzes im deutschsprachigen Raum bereitstellen. Diese sind bereits äußerlich daran zu erkennen, dass sie meist mit zwei oder vier Leiterseilen behangen sind. Grund dafür sind elektrotechnische Gegebenheiten, die an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt werden müssen.

Während Bahnstromleitungen immer mit einer Spannung von 110kV betrieben werden, sind für Drehstromleitungen die drei Spannungsebenen 110kV, 220kV und 380kV üblich.

Jeder Mast trägt an seiner Spitze mindestens ein Erdseil, welches dem Schutz vor Blitzschlag dient.



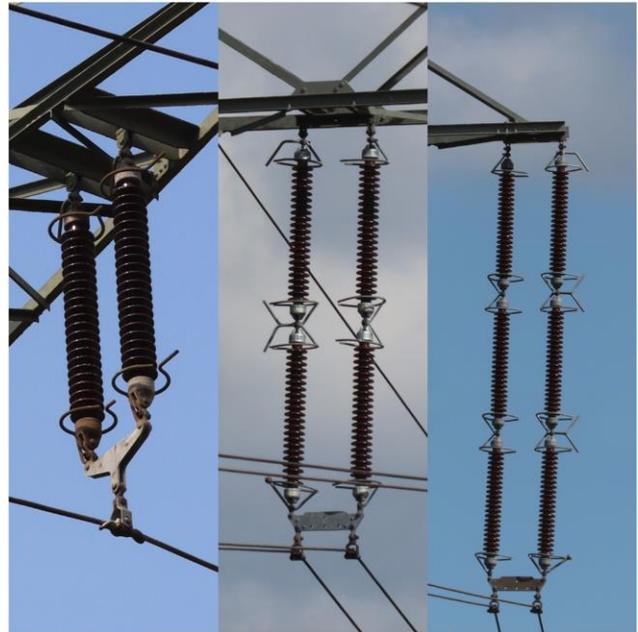
Bahnstrom- (links) und Drehstromtrasse (rechts) in Datteln

2.2 Isolatoren

Die an den Masten hängenden Leiterseile müssen elektrisch von den geerdeten Masten getrennt werden, was über Isolatorketten realisiert wird. Diese bestehen bei älteren Masten aus einem oder mehreren Keramisolatoren, neuerdings werden zunehmend einteilige Silikonisolatoren verwendet. Die Länge richtet sich dabei nach der an den Leiterseilen anliegenden Spannung.

Alle Isolatoren sind gerippt, um den Weg für Kriechströme zu erhöhen, welche beispielsweise bei feuchtem Wetter zu Spannungsüberschlägen führen können. Sie besitzen an ihren Enden ringförmige „Ärmchen“, sogenannte „Koronaringe“. Sie dienen dazu, die elektrische Feldstärke an den Isolatorenden zu verringern.

Die rechts gezeigten Isolatoren können allerdings nur für gerade Leitungsführungen genutzt werden, da sie das komplette Gewicht der Seile nach unten hin aufnehmen. Kommen Querkräfte hinzu, welche beispielsweise durch eine Winkeländerung entstehen, so müssen die Isolatoren in Richtung der Leitung angebracht werden.



Isolatoren für 110kV, 220kV und 380kV (v.l.n.r)



Winkel-Isolator in 110kV-Ausführung

Das resultiert darin, dass auf jeder Mastseite eine solche Isolatorkette die Zugkräfte der Leitungen in deren Richtung aufnimmt, während ein kurzes durchhängendes Seil die beiden Isolatorenden verbindet.

2.3 Bündelleiter

Als Bündelleiter wird die parallele Anordnung mehrerer Leiterseile gleicher elektrischer Spannung bezeichnet, um Leitungsverluste zu reduzieren. Die einzelnen Seile sind mittels Abstandshalter verbunden und hängen gemeinsam an einem Isolator.

In Deutschland kommen vier Arten von Bündelleitern zum Einsatz:

- Zweifach nebeneinander
- Zweifach übereinander
- Dreifach
- Vierfach

2.3.1 110kV-Systeme

Tendenziell sind bei 110kV-Systemen eher einzelne oder zweifache Leiterseile anzutreffen. Drei oder vier Seile werden nur genutzt, wenn die Trasse sehr stark belastet ist.

2.3.2 220kV-Systeme

Im 220kV-Übertragungsnetz werden vor allem Zweier- oder Dreierbündel genutzt. Vierfache Bündel werden nur verbaut, wenn ein künftiger Umbau auf 380kV geplant ist.

2.3.3 380kV-Systeme

Bei Höchstspannungstrassen sind fast ausschließlich Dreier- und Viererbündel zu finden. Nur in Ausnahmefällen kommen auch hier Zweierbündel zum Einsatz.



Bündelabstandhalter, zweifach horizontal

2.4 Schwingungsdämpfer

Der sogenannte Stockbridge-Schwingungstilger dient dazu, mechanische Schwingungen durch Winde zu unterdrücken, welche die Freileitungsmasten und Isolatoren stark belasten würden.

Er wird nahe der Isolatoren am Leiterseil aufgehängt und ist konstruktiv den jeweiligen Gegebenheiten angepasst, sodass er schwingungs-hemmend auf die Bauteile wirkt.

Die verschiedenen Ausführungen können sich in ihrem Aussehen durchaus unterscheiden, haben aber allesamt denselben Einfluss auf die Leitung.



Schwingungsdämpfer an einem einfachen Leiterseil

3. Die Modelle

Die verschiedenen Modellsets liefern eine große Auswahl an Masten, Isolatoren und Zubehörteilen, welche im Folgenden kurz beschrieben werden.

3.1 Masten

Alle Masten sind als Gleisobjekte im Layer „Wasserwege“ unter der Kategorie

Gleisobjekte-Wasserwege -> Ober- und Freileitungen -> Freileitungen -> Hsp_...

zu finden und enthalten standardmäßig zunächst keinerlei Isolatoren. Vielmehr besitzen alle Masten an den dafür vorgesehenen Stellen Gleisstücke, an welche sich die verschiedenen Isolatoren beliebig andocken lassen.

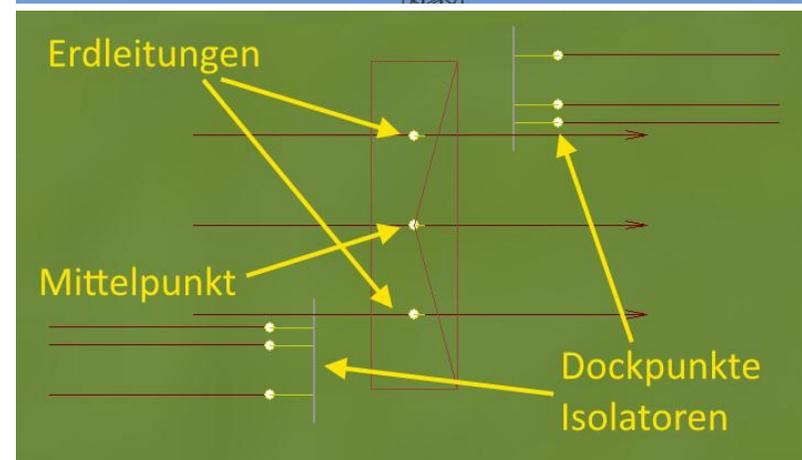
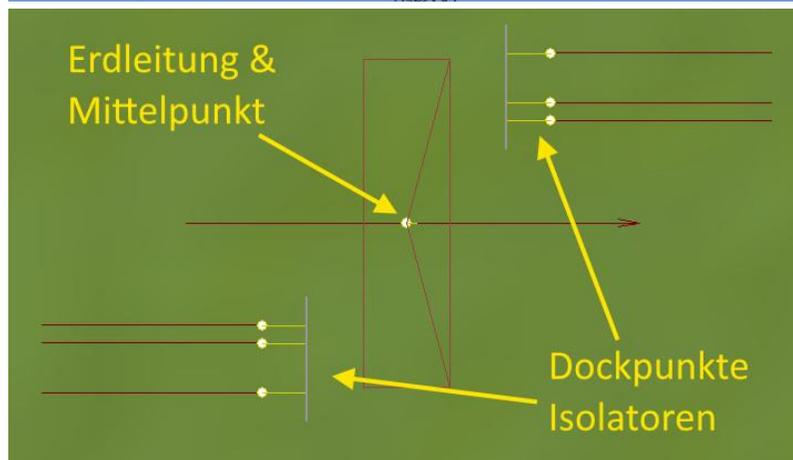
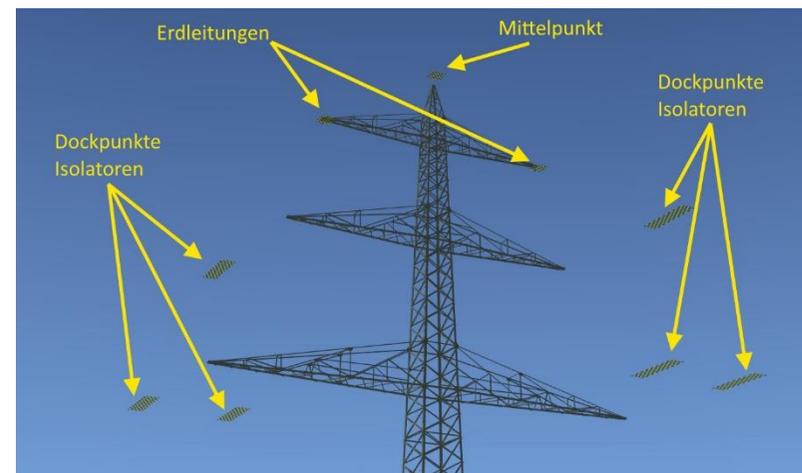
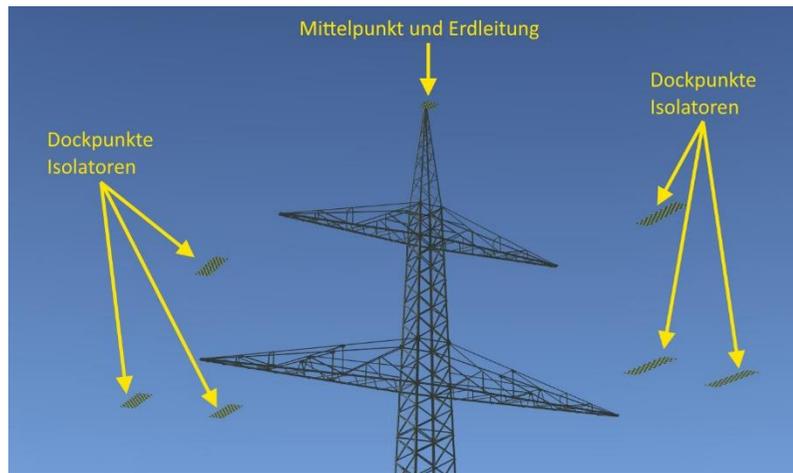
Jeder Mast besitzt eine seiner Bauform entsprechende Anzahl an Isolator-Dockpunkten sowie einen oder zwei Verbindungspunkte für die Erdleitung.

Hat der Mast nur eine Erdleitung, so ist das mittlere Gleisstück sowohl für die Erdleitung, als auch für den in Kapitel „5. Erstellen einer Trasse“ beschriebenen Trassenbau verantwortlich. Im Fall, dass zwei Erdleitungen vorhanden sind, besitzt der Mast trotzdem ein mittleres Gleisstück, welches wieder für den Bau der Mastverbindungen herangezogen wird.

Der Modellname gibt Auskunft über Mastart, Maximalspannung, Unterkategorie, Masthöhe und Anzahl der Erdleitungen.

Alle aktuell erhältlichen Masten samt ihren spezifischeren Eigenschaften sind in der parallel vorliegenden Übersichtstabelle einsehbar.

[Mastenübersicht öffnen \(PDF\)](#)



Mast mit einer Erdleitung – Ansicht in 2D und 3D

Mast mit zwei Erdleitungen – Ansicht in 2D und 3D

3.2 Isolatoren

Neben den Masten liegt eine Vielzahl an Isolatoren vor, welche sich ebenfalls als Gleisobjekte im Layer „Wasserwege“ unter der Kategorie

Gleisobjekte-Wasserwege -> Ober- und Freileitungen -> Freileitungen -> Hsp_...

befinden.

Der Modellname hat dabei immer den folgenden Aufbau:

Hsp_Isolator_[Spannungsebene]_[Bündelart]_[Winkel]_[Bauart]_TU1

Wobei die Platzhalter für folgende Eigenschaften stehen:

- **Spannungsebene:** Eine der drei in Kapitel „2.1 Spannungsklassen“ genannten Spannungen.
- **Bündelart:** Die in Kapitel „2.3 Bündelleiter“ genannten Arten von verbundenen Leiterseilen.
- **Winkelart:** Der Leitungswinkel, welcher mit dem Isolator dargestellt werden kann.
- **Bauart:** Anordnung der Isolatorketten. Beispielsweise nebeneinander (II) oder v-förmig (V)

Anwendungsfälle der verschiedenen Bauarten sind zumeist:

- V-Form: Wenn der Isolator sich seitlich nicht bewegen soll, sodass Winde ihn nicht beeinflussen können.
- I-Form: Wenn sich der Isolator seitlich bewegen können muss. Hiermit können (auch in EEP) geringe Winkel dargestellt werden, für die noch kein Winkel-Isolator benötigt wird. Will man also einen Winkel von weniger als 10 Grad verbauen, ist das in Kapitel „5. Erstellen einer Trasse“ beschriebene Schema auch für Winkel unter eben diesen 10 Grad anwendbar. Statt einen Winkel-Isolator zu nutzen, kann man dann einen I-förmigen Isolator verbauen.
- II-Form: Standardmäßige Ausführung, wenn die Trasse einfach nur gerade geführt werden soll.

Die Winkelarten unterscheiden zwischen geraden Isolatoren, die nach unten hängen, und Abspann-Isolatoren, welche wie in Kapitel „2.2 Isolatoren“ beschrieben für einen Leitungsknick verwendet werden. Letztere sind mit einem „W“ gekennzeichnet.

Der 0-Grad-Isolator dient dazu, die Leitungshöhe bei sehr flachen Masten anzuheben, wird allerdings im Normalfall nicht genutzt.

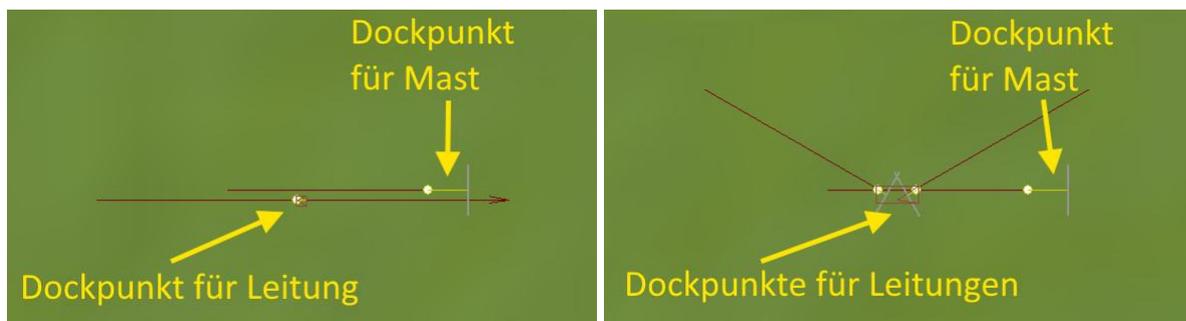
Weiterhin enthalten sind „Leerträger“, welche keinen Isolator besitzen. Sie werden in Realität überall dort aufgehängt, wo künftig noch Isolatoren geplant sind.

Gerade Isolatoren besitzen zwei Gleisstücke, während es bei Isolatoren, die einen Winkel bilden, drei Endgleise sind.

Der Isolator muss immer mit dem längeren, abseits des Immobilien-Kästchens befindlichen Endgleis an einen Dockpunkt des Isolators angedockt werden.

Alle Isolatoren besitzen zwei Achsen.

- Mit der Achse „Träger“ lässt sich die Länge des Stahlträgers einstellen, an dem der Isolator hängt. Das dient dazu, den Träger auf die jeweilige Breite der Masttraverse anzupassen. Des weiteren wird der Winkel des Isolators nach rechts oder links eingestellt.
- Über die Achse „Trägerfarbe“ kann die Lackierung des Trägers vom üblichen grün auf weiß oder rot umgestellt werden, wenn der Isolator an einen Mast mit Warnlackierung gehangen wird.



Dockpunkte für geraden (links) und winkligen (rechts) Isolator

3.3 Leitungen

Unter den Wasserweg-Splines wurden zwei Gleisstile installiert.

- Hsp_Leitung_1x_TU1
- Hsp_Leitung_2x_TU1

Die Modelle stellen die Leiterseile ohne jeden Durchhang dar.

Auch wenn es wirkt, als würden noch Splines fehlen, kann Entwarnung gegeben werden. Das Tool kommt mit diesen zwei Modellen problemlos aus!

3.4 Immobilien

Zusätzlich zu den Gleisobjekten liegt eine Palette an Immobilien vor. Sie befinden sich im Ordner

Immobilien -> Gewerbe und Industrie -> Sonstige -> Hsp_...

und teilen sich wie folgt auf:

- Bündelabstandhalter, werden automatisch vom Tool gesetzt
- Schwingungsdämpfer, werden automatisch vom Tool gesetzt
- Warnkugeln, werden zwar optional, aber automatisch vom Tool gesetzt
- Fundamente zum händischen Anpassen des Mastsockels
- Hinweisschilder zur Markierung der Masten

Bis auf die Hinweisschilder und Fundamente müssen keinerlei Immobilien selbst gesetzt werden. Das Tool übernimmt diesen Schritt.

Die Schilder dienen zur Benennung der Trasse und als Warnschilder vor Hochspannung. Die darauf enthaltenen Daten zu Mastnummer und Leitung sind per **Aufschriftfunktion** veränderbar.

4. Das Tool

4.1 Warum überhaupt ein Tool?

Alle bisher erhältlichen Hochspannungsmasten kamen ohne ein Tool aus. Das ist korrekt.

Warum wurde nun also für dieses System ein eigenes Programm entwickelt?

Die Gründe sind vielfältig, beginnen aber vor allem in der mathematischen Beschreibung eines Abspannmasts, mit dem sich der Leitungswinkel ändert. Ohne an dieser Stelle näher darauf einzugehen, sei gesagt, dass selbst der Winkel einer genau entlang einer Koordinatenachse verlaufenden Trasse beim Übergang von einer Isolatorart auf die nächste um wenige Grad, wenn nicht gar weniger, abweichen kann. Das mag vielleicht nicht viel sein, würde aber für einen Knick in der Leitung sorgen, was es zu vermeiden galt.

Kurz und bündig: Das Tool soll dem User ermöglichen, mit minimalem Aufwand ein perfektes Ergebnis zu erzielen, ohne großartig mit Winkeln, Leitungslängen etc. zu jonglieren.

Dies bezieht sich auch auf all die Bündelabstandhalter, Warnbälle und Schwingungsdämpfer, die händisch nur mit großem Aufwand an die dünnen Leitungen angebracht werden können.

Und jetzt noch das wichtigste Feature: Ein dynamischer Durchhang, der je nach Maximalspannung, Masthöhe und -abstand anders berechnet wird. Ohne das Tool unmöglich!

4.2 Oberfläche

4.2.1 Erster Start

Das Tool wurde mit den Basis-Modellsets mitgeliefert und im Trend-Ordner parallel zur gewählten EEP-Version im Unterordner

\Freileitungs-Tool\

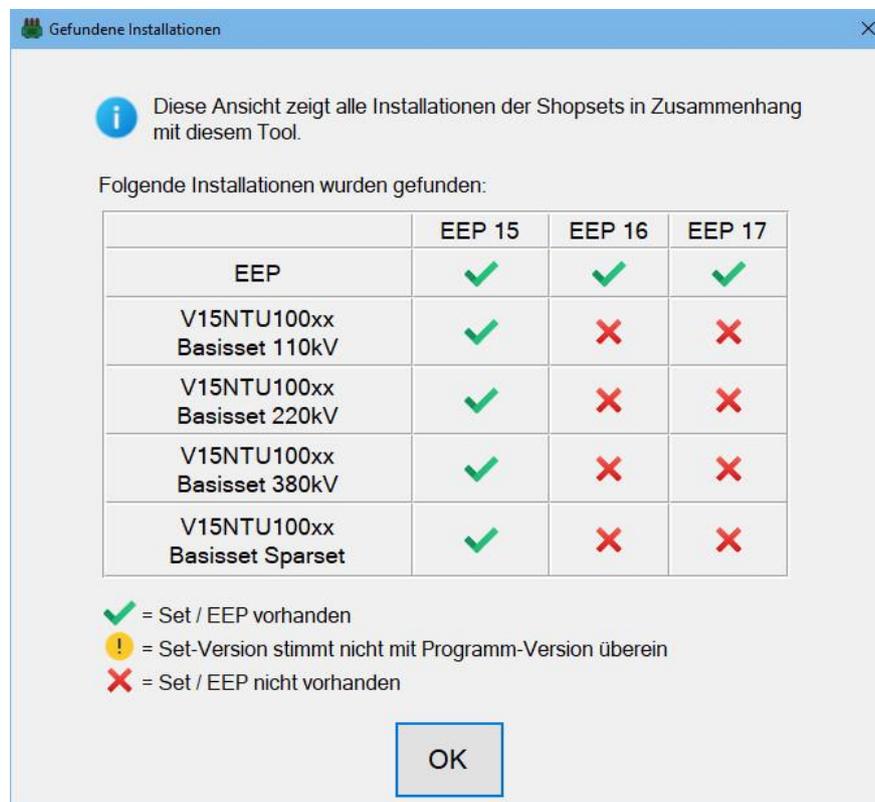
installiert. Dieser Ordner kann nach Belieben verschoben werden.

Wird die .exe-Datei ausgeführt, prüft das Tool zuerst die installierten EEP-Versionen und die in den Ressourcen-Ordern erkannten Hochspannungs-Modellsets. Die gesammelten Informationen werden in einem Info-Fenster angezeigt.

Stimmen alle grünen Haken mit den vorgenommenen Modellinstallationen überein, so ist das Tool einsatzbereit.

Sobald weitere Sets installiert werden oder die Set-Version durch ein Update nicht mehr mit der Programm-Version übereinstimmt, wird sich dieses Fenster bei Programmstart wieder zeigen.

Es ist jederzeit unter dem Menüpunkt **Datei -> Set-Info... (F6)** einsehbar.



Dialog „Gefundene Installationen“

4.2.2 Sprachwahl

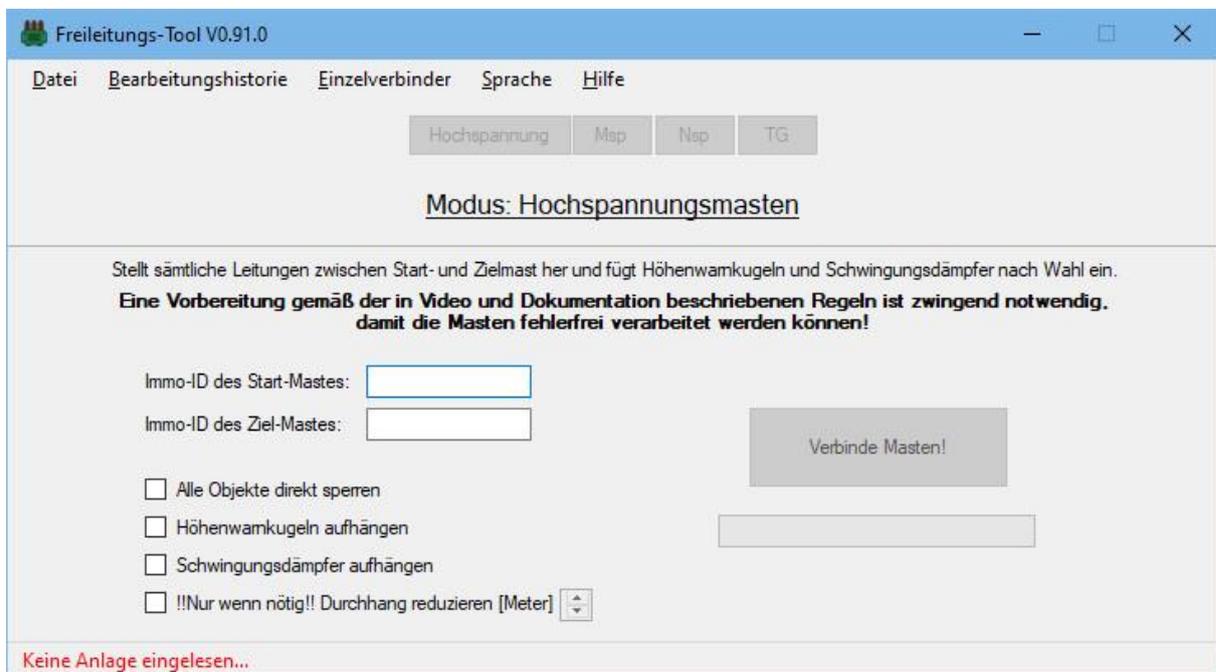
Über das Menü **Sprache** kann gegenwärtig zwischen deutscher und englischer Ausführung des Tools gewechselt werden. Um die Änderungen anzuwenden, muss die Software zwangsweise neu gestartet werden.

4.2.3 Hauptfenster

Über die primäre Oberfläche lässt sich eine Leitungstrasse fertigstellen.

Die am oberen Rand befindliche Auswahl zwischen „Hsp“, „Msp“, „Nsp“ und „TG“ ist aktuell ohne Funktion, soll aber künftig um weitere Spannungsklassen erweitert werden.

Auf die spezifischere Funktion des Verbindes von Masten wird im Kapitel „5.4 Mittels Tool verbinden“ ausführlich eingegangen.



Übersicht über das Hauptfenster

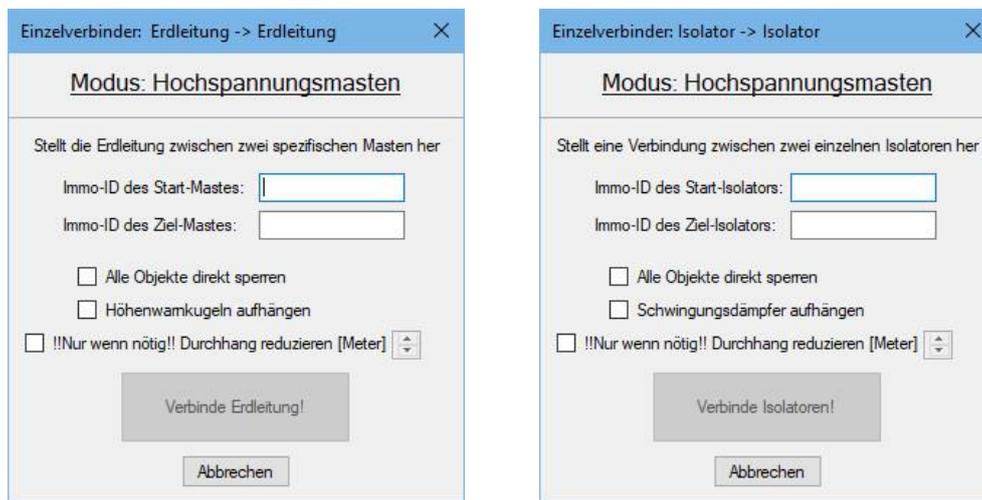
4.2.4 Bearbeitungshistorie

Die Bearbeitungshistorie listet sämtliche erfolgreich ausgeführte Änderungen an der geladenen Anlage auf und bietet die Möglichkeit, diese rückgängig zu machen. Die zurückgesetzten Schritte bleiben noch so lange in der Liste enthalten und können wiederhergestellt werden, bis eine neue Aktion ausgeführt wird.

4.2.5 Einzelverbinder

Mittels der Einzelverbinder können Isolatoren oder Erdleitungen unabhängig von einer Trasse verbunden werden, beispielsweise um einen Übergang von einer Mastart zur anderen zu schaffen.

Nähere Informationen zu deren Anwendung in Sonder-Situationen finden sich im Kapitel „5.6 Zusatzfunktionen“.



Übersicht beider Einzelverbinder

4.3 Desktop-Verknüpfung

Um das Tool vom Desktop aus einfacher erreichbar zu machen, kann über den Menüpunkt **Datei -> Desktop-Verknüpfung erstellen...** eine Desktopverknüpfung erstellt werden.

4.4 Updates

Wurde bei einem Programmstart ein Update gefunden, wird das Tool eine entsprechende Meldung anzeigen. Das Update kann im sich öffnenden Dialogfenster ohne Umwege direkt von meiner [Website](#) heruntergeladen und installiert werden. Es ist weder ein direkter Besuch der Website, noch der Download eines Updates aus dem Trend-Shop nötig.

Eine manuelle Suche nach Updates kann unter dem Menüpunkt **Datei -> Nach Updates suchen... (F12)** durchgeführt werden.

Die Historie der letzten Updates lässt sich unter dem Menüpunkt **Hilfe -> Versionshistorie...** anschauen.

5. Erstellen einer Trasse

Das folgende Kapitel befasst sich nun mit der Praxis, eine beispielhafte Hochspannungstrasse zu planen, die Masten aufzustellen und mittels Tool zu verbinden.

Das gesamte Vorgehen wurde parallel als Video-Tutorial zur Verfügung gestellt. Der Link zum Video findet sich im Kapitel „5.7 Video-Tutorial“.

5.1 Trassenplanung / Vorabhinweise

Der erste Schritt besteht darin, die anzulegende Trasse sorgfältig zu planen. Dabei sollte beachtet werden, dass Hochspannungsmasten in Realität einen Abstand zwischen 200 und 400 Metern haben und der Höhenunterschied zwischen zwei Masten nicht allzu groß sein sollte. Je höher die Maximalspannung, desto größer ist normalerweise der Abstand. Zudem sollte überprüft werden, ob in dem gewünschten Bereich genug Platz für den Durchhang der Leitungen ist.

Der standardmäßig eingestellte Durchhang für die vom Tool erstellten Leitungen bei einem Mastabstand zwischen 200 und 400 ist in der folgenden Tabelle dargestellt:

Masthöhe	110kV	220kV	380kV
Kleiner 36m	7,5m	7,5m	7,5m
36 bis 45m	7,5m	13,0m	13,0m
Größer 45m	7,5m	13,0m	18,0m

Ist der Mastabstand kleiner als 200 Meter, verringert sich der Durchhang mit abnehmendem Abstand.

Besonders wichtig sind diese Eigenschaften, wenn es gewünscht ist, Bahnstrecken, Straßen und andere Bauwerke zu kreuzen.

Der in der Tabelle vordefinierte Durchhang kann bei der Anwendung des Tools um bis zu fünf Meter verringert werden, um in den genannten Situationen mehr Flexibilität zu erhalten. Mehr dazu im entsprechenden Kapitel „5.4 Mittels Tool verbinden“.

Falls es gewünscht ist, komplexere Trassen oder Abzweigungen zu verbauen, empfehle ich bereits bei der Planung einen Blick in das Kapitel „5.6 Zusatzfunktionen / Weitere Hinweise“. Dort werden einige Übergangsmöglichkeiten zwischen unterschiedlichen Mastarten näher erläutert.

5.2 Masten aufstellen

5.2.1 Der erste Mast

Ist eine geeignete Strecke für die Hochspannungsleitung gefunden, kann mit dem Aufstellen und Verbinden der Masten begonnen werden. In dieser Anleitung arbeiten wir uns Schritt für Schritt zur fertigen Trasse voran.

In diesem beispielhaften Aufbau werden zunächst keine der erwähnten Sonder-Situationen verbaut. Vielmehr wollen wir zunächst an einer einfachen Trasse erlernen, wie sich die grundsätzliche Handhabung des Systems gestaltet.

Wir beginnen im Gleisobjekt-Editor der Wasserwege und suchen in der Kategorie

Gleisobjekte-Wasserwege -> Ober- und Freileitungen -> Freileitungen

die mit **Hsp_** gekennzeichneten Masten auf. Es empfiehlt sich, die in Kapitel „3.1 Masten“ verlinkte Übersichtstabelle aller Masten zu öffnen.

Haben wir den gewünschten Mast ausgewählt, können wir ihn an die Start-Position unserer Trasse stellen und im gewünschten Startwinkel ausrichten. Der Mast sollte auch in der Höhe bereits angepasst werden und perfekt auf dem Boden stehen.



Der erste Mast steht

5.2.2 Die erste Mastverbindung

Jetzt wird es wichtig!

Wir müssen die erste Verbindung zum nächsten Mast schaffen. Das sollte nach einem geordneten Schema ablaufen, wir können nicht einfach den nächsten Mast beliebig hinstellen!

Vorab schonmal die erste Regel, die **unter allen Umständen** beachtet werden **muss**, da ansonsten das Tool nicht funktionieren wird:

Zwischen zwei Masten müssen genau vier Gleisstücke liegen! Nicht mehr und nicht weniger!

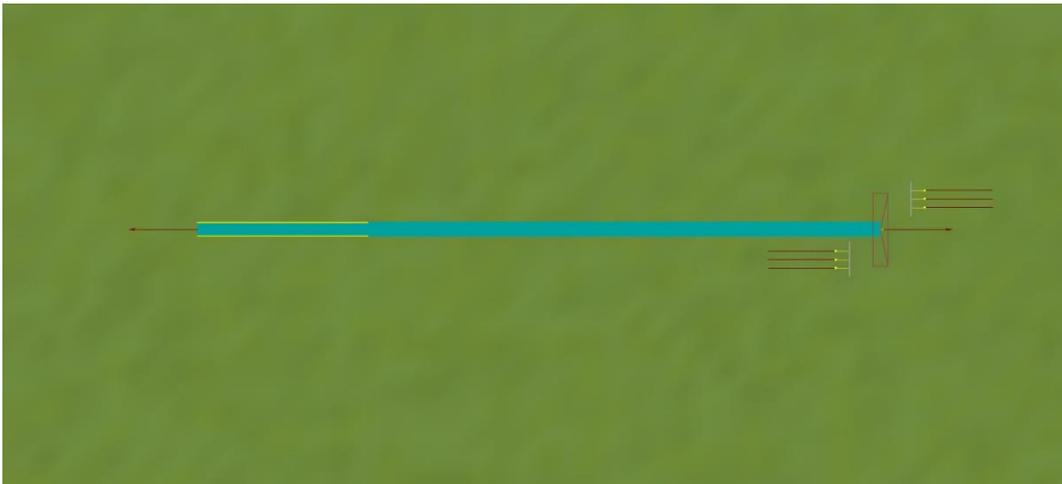
Ich arbeite an dieser Stelle zunächst im 2D-Modus, damit die Vorgehensweise klar wird. Das Prinzip lässt sich aber auch problemlos im 3D-Editiermodus umsetzen.

Wir beginnen die Trasse mit einem geraden Stück Leitung, der Verbindungsspline zeigt also senkrecht vom Mast weg. Nun werden vier Gleisstücke in dieselbe Richtung verlegt, beginnend am **mittleren Gleisstück** des Startmastes. Alle Gleise sollten dabei gerade sein.

Dieses spezifische Gleisstück liegt bei jedem Mast in dessen Symmetriepunkt und stellt seine senkrechte Rotationsachse dar, wenn wir einen Leitungs-Knick bauen möchten. Es ist in der Übersichtstabelle mit einem „D“ gekennzeichnet. D wie Dockpunkt.

Die vier Gleislängen ergeben aufsummiert den gewünschten Mastabstand, dabei muss aber nicht jeder Spline gleich lang sein. Es ist ebenfalls völlig egal, welchen Gleisstil wir benutzen. In meinem Fall ist es zur besseren Sichtbarkeit der „Blaue Bach“.

Wichtig im Falle des Start-Mastes ist, dass an diesen nur ein Gleisstück in Richtung des nächsten Mastes gedockt ist! Die andere Richtung, die sowieso ins Leere führt, muss frei bleiben!



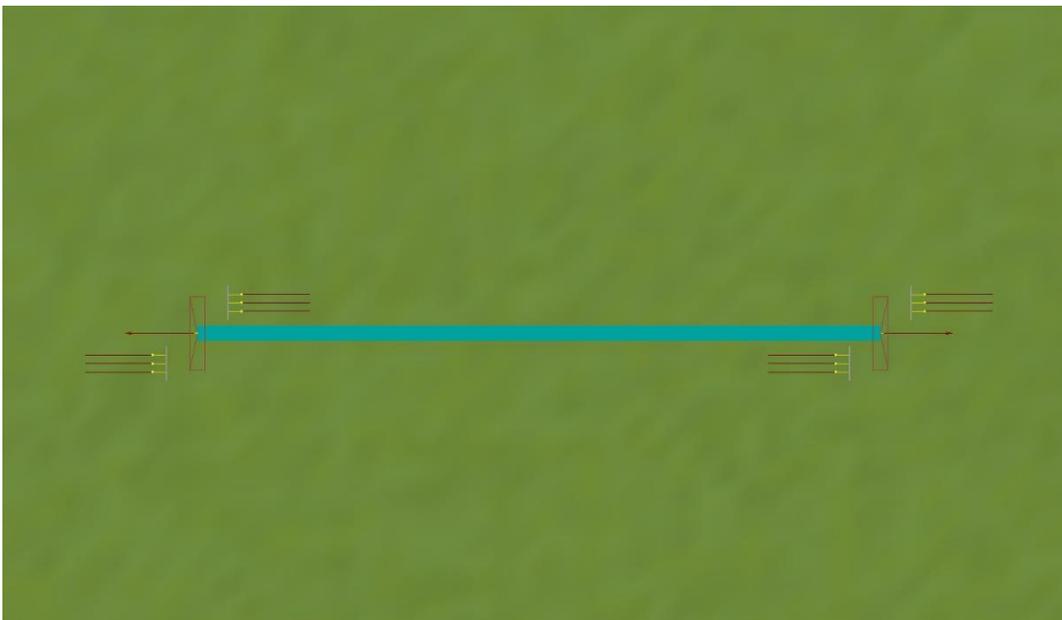
Die erste Mastverbindung ist erstellt. Länge: $4 \times 50\text{m} = 200\text{m}$.

5.2.3 Der zweite Mast

Am Ende des vierten Gleisstücks wird nun der nächste Mast aufgestellt, indem wiederum das Mittlere Gleisstück an den Verbindungs-Spline angedockt wird.

Auch dieser Vorgang kann wieder nach Belieben im 2D- oder 3D-Modus geschehen.

Der Mast sollte der gleiche sein, den wir auch zu Beginn genutzt haben. Zu Sonderfällen und Änderungen der Mastart werde ich im weiteren Verlauf noch ein paar Dinge erwähnen.



Die zweite Mast ist zunächst senkrecht angedockt

5.2.4 Winkeländerung

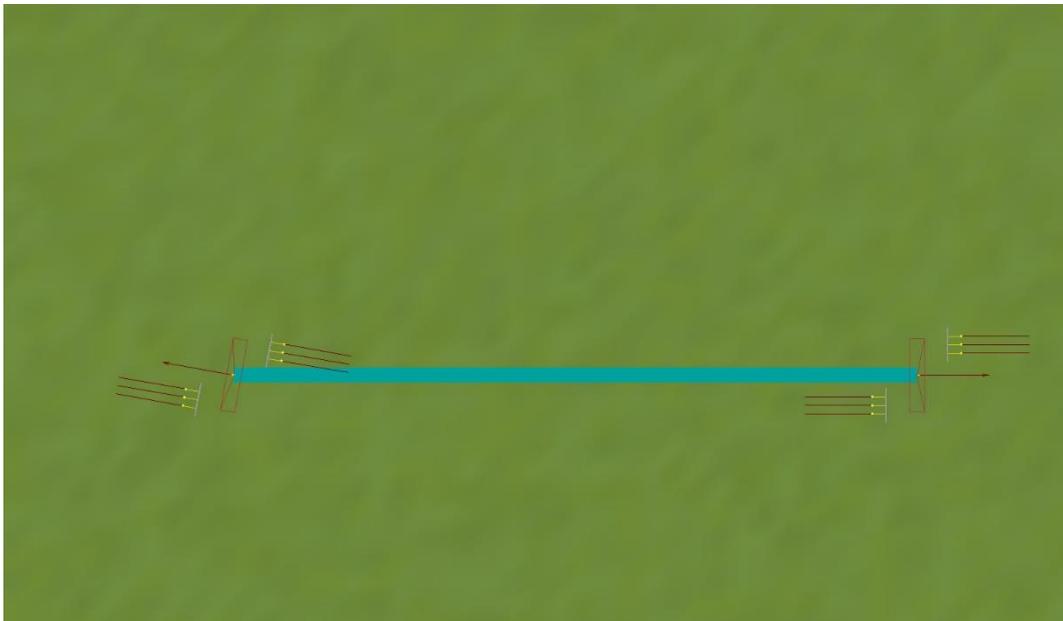
Wir wollen uns das Ganze jedoch nicht zu einfach machen, und bringen direkt eine Winkeländerung in unsere Trasse ein. Dafür ist folgende Regel besonders wichtig, um das vorbildgerechte Erscheinungsbild entstehen lassen zu können:

Der Mast wird immer um den halben Knick-Winkel gedreht.

Das bedeutet, dass wenn wir jetzt eine Winkel-Änderung von 20 Grad umsetzen möchten, der Mast um 10 Grad gedreht werden muss.

Warum? Ganz einfach: Der Mast muss auf beiden Seiten die Kräfte der Seile aufnehmen. Hätte er nun zum vorigen Mast keinen Winkelunterschied, zum nachfolgenden Mast aber plötzlich 20 Grad Differenz, würde das zu einem ungleichen Kräfteverhältnis führen. Und das wird in der Realität weitestgehend vermieden – bis auf einige Sonderfälle, in denen es nicht anders möglich ist.

Wir gehen also in die Objekteigenschaften des zweiten Mastes und verändern dort den Winkel um zehn Grad, sodass der Mast horizontal gedreht wird.



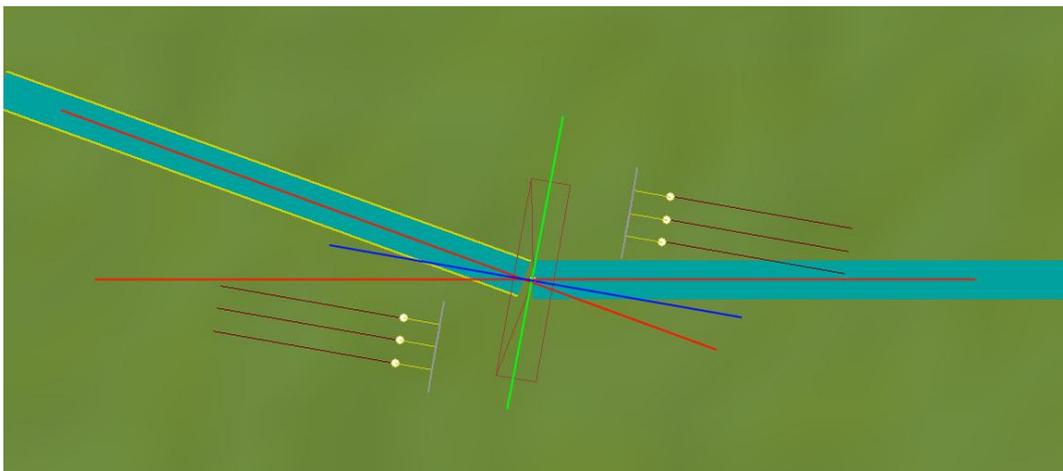
Der zweite Mast steht und alles ist vorbereitet, um die nächste Mastverbindung zu beginnen.

5.2.5 Die zweite Mastverbindung

Nun gilt es, den Knick zu vollenden. Wir setzen das nächste Gleisstück an und ändern seinen Winkel nochmals um zehn Grad, sodass der Unterschied zur vorigen Mastverbindung 20 Grad beträgt.

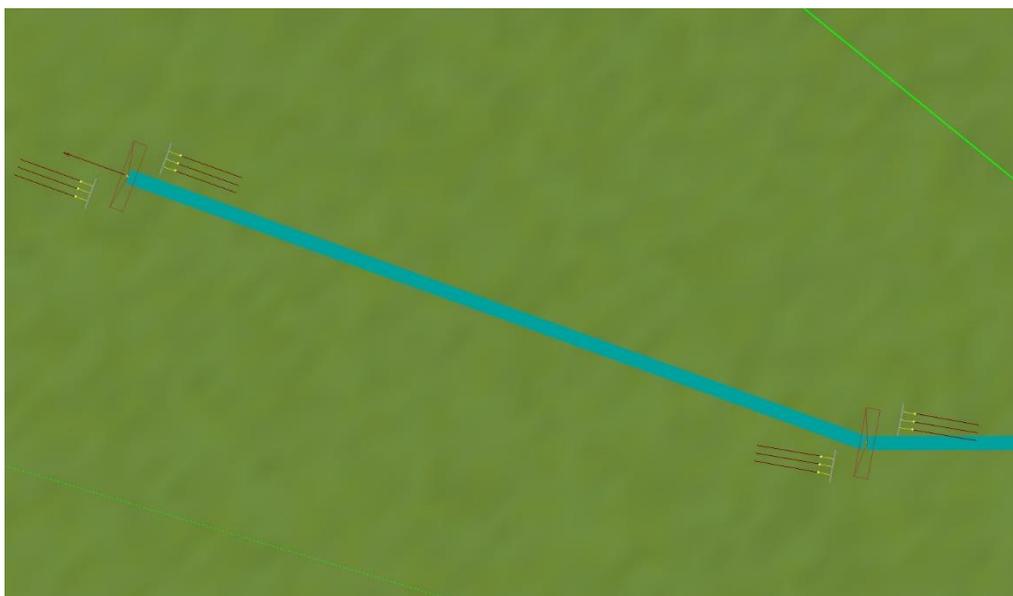
Bereits jetzt sehen wir deutlich den zuvor beschriebenen Effekt des halben Winkels.

Die folgende Skizze zeigt zum Einen die beiden Achsen der Mastverbindungen (**rot**), zum anderen die Querachse des Winkel-Mastes (**grün**) und dessen Senkrechte (**blau**). Man erkennt deutlich, dass der Mast genau den halben Winkel des Trassen-Knicks hat.



Hier wird der Knick in der Trasse besonders deutlich

Lassen wir uns nicht zu lange davon beirren und setzen unsere zweite Mastverbindung fort. Der dritte Mast ist ebenfalls schnell an das vierte Gleisstück angedockt, hier verzichten wir nun wieder auf einen Knick.



Die zweite Mastverbindung ist fertig

5.2.6 Höhenunterschied

Damit es nicht langweilig wird, bauen wir an dieser Stelle statt einem weiteren Knick lieber noch einen Höhenunterschied ein. Diesen stellen wir der Einfachheit halber mit einem kleinen platten Hügelchen dar.

Werfen wir nun einen Blick in 3D auf unsere bisherige Trasse, können wir schon zufrieden sein. Wir sehen aber auch, dass der dritte Mast nun erstmal im Boden steckt.

Doch das ist kein Problem, denn in meinen zahlreichen Versuchen habe ich die Erfahrung gemacht, dass dies der richtige Schritt zum Bau eines Höhenunterschieds ist. Denn die nächste Regel lautet:

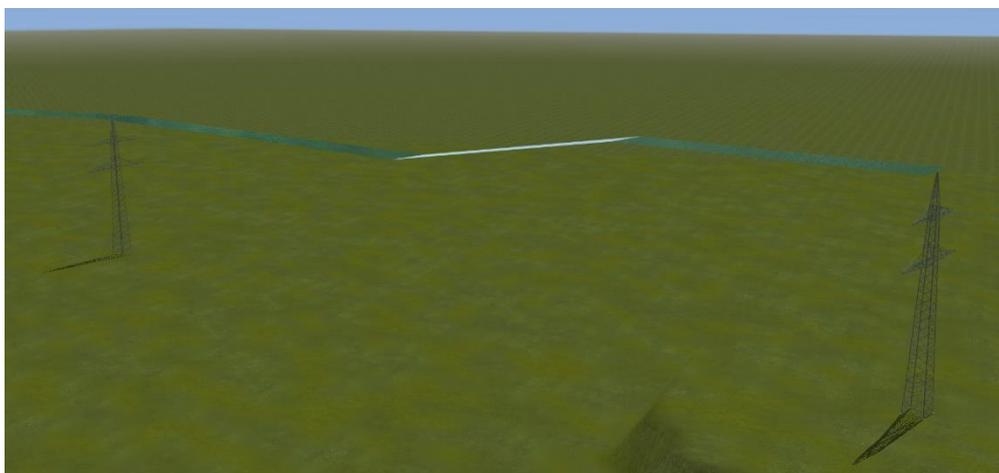
Wenn ein Höhenunterschied gewünscht ist, sollten wir zuerst die nächste Mastverbindung legen, dann den Mast daran andocken und erst zuletzt ausschließlich seine Höhe verändern!

Warum das Ganze? Aus einem einfachen Grund: Damit der Mast immer senkrecht steht!

Denn jetzt, wo der Mast schon an dem Ort steht, an dem er gewünscht wird, müssen wir nur noch die senkrechte Höhe verändern, sodass er nicht mehr im Boden steckt. Das lässt sich wunderbar im 3D-Editiermodus bewerkstelligen. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass der Mast eben nicht mehr verschoben wird.

Und was ist nun mit dem Verbindungspline? Der ist ja jetzt garnicht mehr verbunden!

Auch das ist kein Problem. Wir nehmen einfach das letzte Gleisstück, bringen es auf die Höhe des Mastes und nutzen den vorletzten Spline als „Rampe“ für die Höhen-Änderung. Keine Sorge, das mag zwar komisch aussehen, doch das Tool berichtigt das alles problemlos!



Der Höhenunterschied ist deutlich, aber es ist alles verbunden!

5.3 Isolatoren anbringen

5.3.1 Masten Sperren

Geschafft! Unsere kleine Trasse ist vorbereitet. Nun können wir mit dem Aufhängen der Isolatoren beginnen. Sicher bin ich nicht der einzige, dem schonmal ein Gleisobjekt „gehüpft“ ist. Deshalb empfiehlt es sich an dieser Stelle, die **Masten zu sperren**. Bewegen werden wir sie ab jetzt sowieso nicht mehr (können).

5.3.2 Isolatoren wählen und anbringen

Ist alles gesperrt, müssen wir uns für einen Isolator entscheiden.

Der von mir verwendete Mast ist ein Donaumast für 220kV-Leitungen. Entsprechend verwende ich auch 220kV-Isolatoren. Um das Tool direkt ein bisschen zu fordern, wird die eine Mastseite mit Isolatoren für horizontale 2er-Bündel (2hx) behangen, während die andere Seite 3er-Bündel (3x) erhält.

Welche Isolatoren man wählt, ist prinzipiell egal, die einzige Regel, die es hier zu beachten gilt, lautet:

An einem Isolatorplatz muss über die gesamte Trasse hinweg stets der gleiche Isolator typ verwendet werden. Das bedeutet: Durchweg gleiche Spannung und Bündel-Art!

Zu Deutsch: Wenn wir plötzlich von einem 4er-Bündel auf ein einzelnes Leiterseil wechseln, wird sich das Tool beschweren. Zurecht – denn sowas gibt es in Realität bis auf ganz seltene Ausnahmen nicht.

Wir nehmen also unseren gewählten Isolator typ und bringen ihn an jedem Mast an. Dabei achten wir natürlich darauf, dass alle Masten ohne Winkeländerung einen Isolator vom Typ „Gerade“ erhalten, während wir Knick-Masten mit Isolatoren des (hier passenden) Typ „20 Grad“ behängen.

Für kleine, „übersichtliche“ Masten lassen sich die Isolatoren noch bequem im 2D-Modus anbringen, während es bei Masten mit vielen Dockpunkten schnell unübersichtlich werden kann, weshalb sich dafür der 3D-Editiermodus besser eignet.

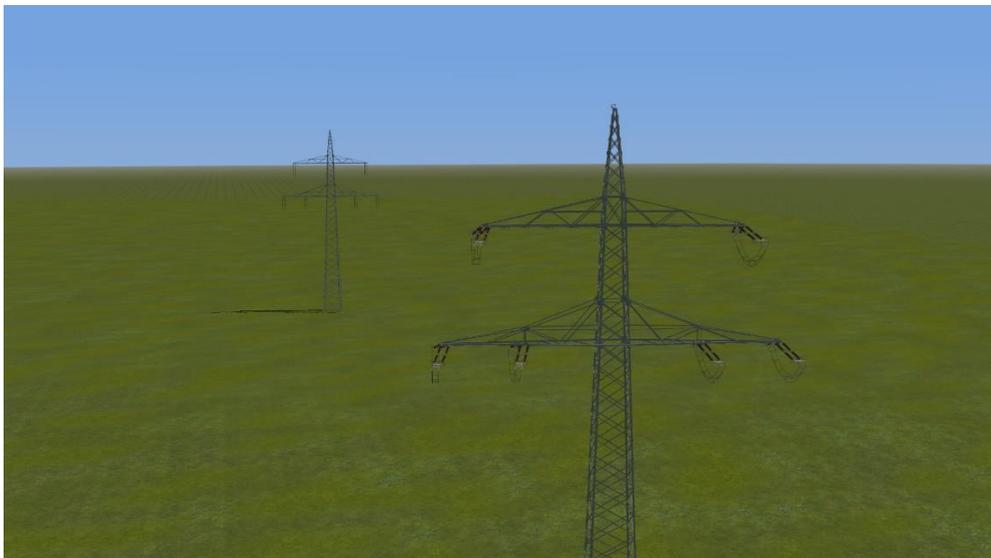
Ob die Isolatoren richtig angedockt wurden, dürfte ein Blick in den 3D-Modus relativ schnell offenbaren.

Da das Anpassen der richtigen Höhe in 3D teils echte Fummelarbeit sein kann, ist hier noch ein **Geheimtipp**:

Wenn wir im 2D-Modus zunächst alle Isolatorplätze eines Mastes mit beliebigen Isolatoren befüllen, können wir sie danach im 3D-Editiermodus problemlos gegen die richtigen Modelle austauschen, ohne dass wir die Isolatoren lästig auf die richtige Höhe bringen müssen, um sie anzudocken.

Ein Blick in 3D auf den Winkel-Mast zeigt uns jedoch etwas komisches: Der Mast schießt!

Das liegt daran, dass standardmäßig alle Winkel-Isolatoren zunächst nach **außen** zeigen.



Der Mast schießt, da müssen wir nochmal ran!

Es kann dabei passieren, dass die Isolatoren plötzlich virtuelle Verbindungen erzeugen. Besonders im 2D-Editor der EEP-Versionen 16 und 17 ist dieses Problem immer wieder präsent.

In diesem Fall sollten wir den Isolator einfach noch einmal wegbewegen und erneut an seinen Platz setzen. Mit ein bisschen Glück, ist das Problem so schon behoben. Spätestens nach ein paar Versuchen klappt es allermeist.

5.3.3 Isolatoren an Traverse anpassen

Bei einem näheren Blick auf einen Isolator zeigt sich ein weiteres Problem: Der Isolator hängt im Mast. Und die geraden Isolatoren schweben!



Irgendetwas passt da noch nicht!

Lösen lässt sich dieses „Problem“ wie folgt:

Die Isolatoren haben alle eine Achse verbaut, die sich „Träger“ nennt. Damit lässt sich bei geraden Isolatoren die Trägerbreite bestimmen, bei Winkelisolatoren die Breite und die Ausrichtung.

Dieses Finetuning sollte auf jeden Fall im 3D-Editiermodus geschehen, da man dort die Achsenstellung direkt sehen kann.

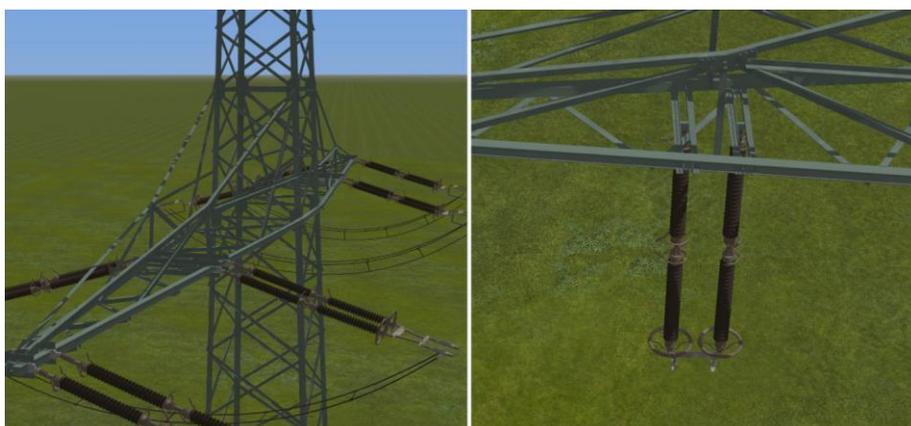
Zunächst ist also der gerade Isolator dran, der ist nämlich schnell eingestellt. Der Träger muss knapp über die äußeren Querträger drüber ragen, dann passt alles.

Bei den Winkelisolatoren stellen wir auf der Seite, die bereits in die richtige Richtung zeigt, die Breite der Isolatoren so ein, dass die silbernen Halterungen außerhalb der Traverse liegen. (Slider nach rechts)

Auf der anderen Mastseite muss der Isolator zuerst noch „umgekehrt“ werden. Wir ziehen den Slider also nach links, sodass der Isolator in die umgekehrte Richtung springt. Auch hier stellen wir die Breite wieder passend ein.

Und damit sind wir auch schon fertig, die Isolatoren hängen.

Herzlichen Glückwunsch, wir haben unsere erste Trasse gebaut!



5.4 Mittels Tool verbinden

Unsere Arbeit in EEP ist getan. Wir speichern die Anlage ab und starten das Freileitungs-Tool.

Die Anlage sollte dabei weiterhin in EEP geöffnet bleiben, wir minimieren EEP lediglich.

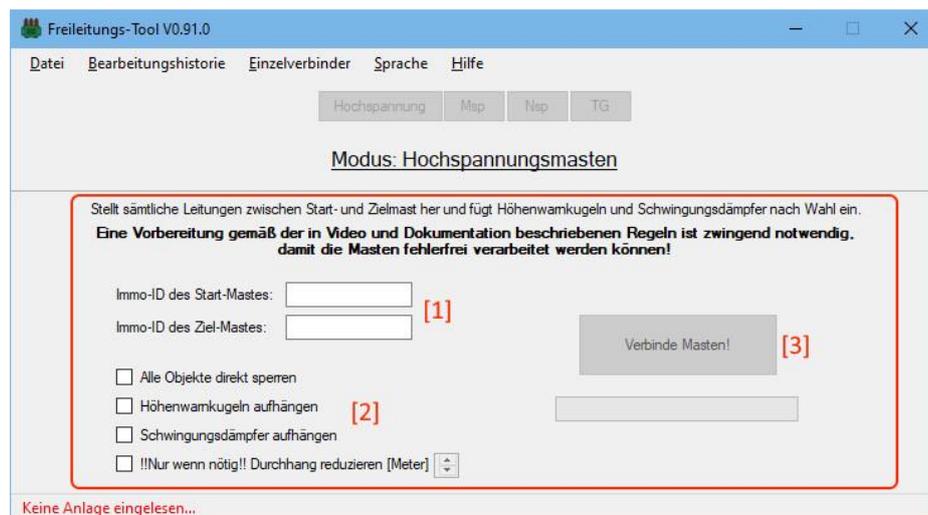
Wenn dies der erste Start des Tools ist, empfehle ich, zunächst die im Kapitel „4. Das Tool“ beschriebenen Funktionen der Software zu studieren und sich einen groben Überblick zu verschaffen.

5.4.1 Die Anlage laden

Zunächst laden wir die Anlage über den Menüpunkt **Datei -> Anlage laden... (Strg + O)** innerhalb des Tools. Sobald die Statusleiste unten links „Bereit“ anzeigt, kann es losgehen.

5.4.2 Eingabe der gewünschten Daten

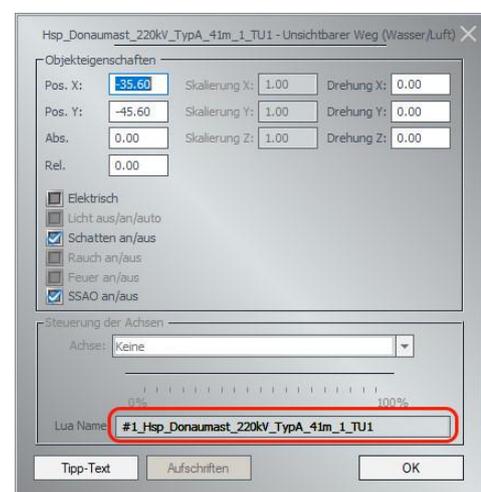
Wir wollen nun die gebaute Trasse in einem Schritt komplett verbinden lassen. Dafür nutzen wir die Eingabemaske, welche auf der Haupt-Seite des Tools zu sehen ist.



Mit diesem Bereich wird eine komplette Trasse verbunden

Es ist unschwer zu erkennen, dass zunächst zwei IDs benötigt werden.

Diese beiden IDs sind die jeweiligen Immobilien-IDs des Start- und Endmastes der zuvor erstellten Trasse. Sie lassen sich direkt in EEP aus den Objekteigenschaften des jeweiligen Gleisobjekts auslesen, wie die Grafik links zeigt.



Rechts: Eigenschaftendialog eines Mastes samt benötigter Immo-ID

Benötigt wird die auf die Raute (#) folgende Zahl.

Diese geben wir nun für beide Masten im entsprechenden Feld im Tool ein [1] und bekommen eine optische Rückmeldung, ob diese ID einem Mast gehört. Ist das der Fall, wird die eingegebene Zahl grün eingefärbt, im anderen Fall ist sie rot. Dann müssen wir unsere Eingabe nochmals überprüfen.

Sobald beide Zahlen korrekt eingegeben wurden, aktiviert sich die Schaltfläche, mit der sich die Masten nun theoretisch bereits verbinden lassen würden [3].

Wir wollen uns jedoch zuvor noch die weiteren Einstellungsmöglichkeiten [2] anschauen.

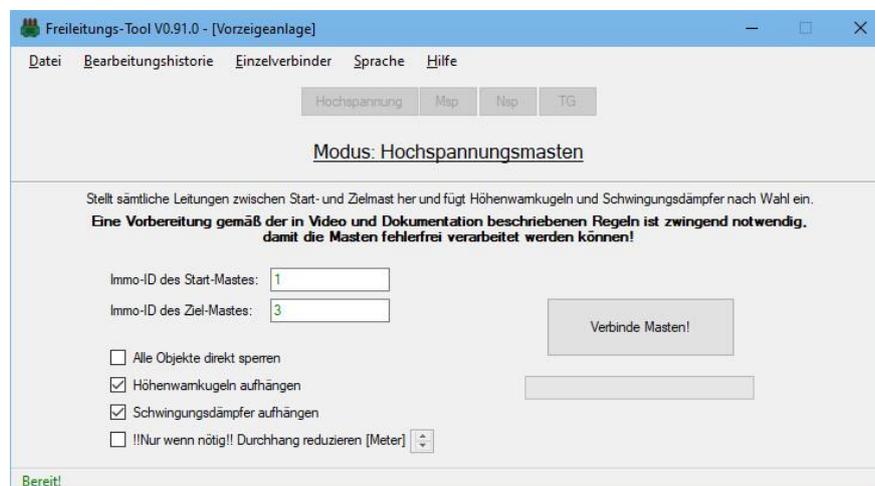
Über den ersten Haken lassen sich sämtliche, neu erstellte Modelle direkt sperren, sodass sie nicht versehentlich verschoben werden können. Das gilt sowohl für alle Leiterseile, als auch für sämtliche gesetzte Immobilien.

Der zweite Haken aktiviert die Funktion, Höhenwarnkugeln aufzuhängen. Der Bereich, in dem die Kugeln angebracht werden sollen, kann nach Drücken des Start-Buttons definiert werden.

Mit anhaken der Option für die Schwingungsdämpfer, werden diese automatisch an jedem Mast gesetzt.

Wird das letzte Feld angehakt, erhalten wir die bei der Trassenplanung erwähnte Funktion, den Durchhang der Leitungen zu beeinflussen. Dieser sollte allerdings nur genutzt werden, wenn es wirklich nötig ist. Einige Hinweise und Beispiele zu Nutzungsmöglichkeiten lassen sich im Kapitel „5.6.2 Beeinflussung des Durchhangs“ finden.

Für unseren Testaufbau haken wir nur die zweite und dritte Check-Box an.



Fertig eingegebene Daten

5.4.3 Auswahl der Warnball-Bereiche

Mit einem Klick auf die Schaltfläche „Verbinde Masten!“ beginnt nun das Tool, die Leitungstrasse zu verbinden.

Da wir eingestellt haben, dass Höhenwarnkugeln aufgehängt werden sollen, wird uns das Tool nun zunächst ein Dialogfenster anzeigen.

Darin können die Bereiche, in denen Warnkugeln hängen sollen, beliebig eingestellt werden.

Dialogfenster für die Warnkugeln

Die Definitionsrichtung [1] gibt dabei den zuvor eingegeben Start- und Zielmast an.

Im ersten Feld [2] kann nun der Beginn für den ersten Bereich, der Warnbälle tragen soll, gewählt werden. Die Auswahlfenster gelisteten Mast-IDs gehören zu den in der Trasse enthaltenen Mast-Modellen und sind nach der Definitionsrichtung geordnet.

Wurde ein Anfangs-Mast gewählt, lässt sich über das zweite Auswahlfenster [3] das Ende des ersten Warnball-Bereichs bestimmen. Diese Liste ist dieselbe wie im ersten Auswahlfenster, beginnt aber logischerweise bei dem Mast, der auf den gewählten Anfangs-Mast folgt.

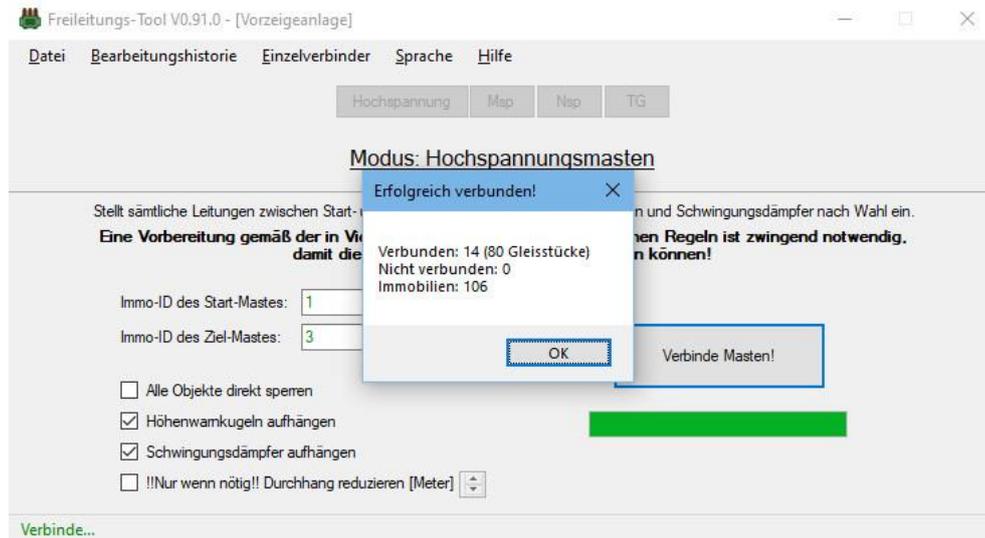
Sind beide Masten gewählt, kann der Bereich über den einen Pfeil zeigenden Schalter [4] festgesetzt werden.

In unserem Beispiel wollen wir die Warnbälle zwischen dem ersten und dem zweiten Mast aufhängen. (Siehe Screenshot rechts)

Nachdem wir auch die Farbe der Warnbälle gewählt haben, können wir den Dialog mit dem Button „OK“ bestätigen.

Das Tool wird nun die Leitungen berechnen, alle erforderlichen Gleisstücke erstellen und die benötigten Immobilien auf der Anlage anordnen.

Haben wir alles richtig gemacht, wird uns das Tool nach beendeter Arbeit über die gesetzten Modelle informieren.



Sollte ein Fehler auftreten, gibt die Software diesen ebenfalls über ein Dialogfenster aus.

In diesem Fall sollte ein Blick in das Kapitel „6. Fehlerbehebung“ Abhilfe schaffen.

Für unser Beispiel haben wir zunächst nur eine einzelne Trasse gebaut und verbunden.

Hinweis: Es ist natürlich problemlos möglich, auch mehrere Trassen vorzubereiten und diese direkt nacheinander mit dem Tool zu verbinden. Dabei sollte es selbstverständlich sein, dass wir zuerst die Daten der ersten Trasse angeben und diese verbinden, bevor die nächste Trasse nach demselben Schema an der Reihe ist.

Die fertig bearbeitete Anlage muss abschließend noch gespeichert werden, was sich über den Menüpunkt **Datei -> Anlage speichern unter... (Strg + S)** bewerkstelligen lässt.

Meine Empfehlung ist hier, die Anlage immer unter einem anderen Namen zu speichern, um mögliche Fehlfunktionen zu vermeiden. Lieber haben wir eine zweite Version unserer Anlage, als eine nicht mehr ladbare Datei!

Das Tool nimmt diese Arbeit standardmäßig ab, indem es zunächst ein „_MS“ an den Dateinamen anhängt. Dieses Kürzel kann natürlich beliebig umbenannt werden.

5.4.4 Das Ergebnis

Die gespeicherte Anlage öffnen wir jetzt wieder in EEP und betrachten das Ergebnis.

Zwischen den Isolatoren wurden Leiterseile gespannt, welche die zum gewählten Isolator passende Bündelart besitzen. In regelmäßigen Abständen wurden Bündelabstandhalter aufgehängt.

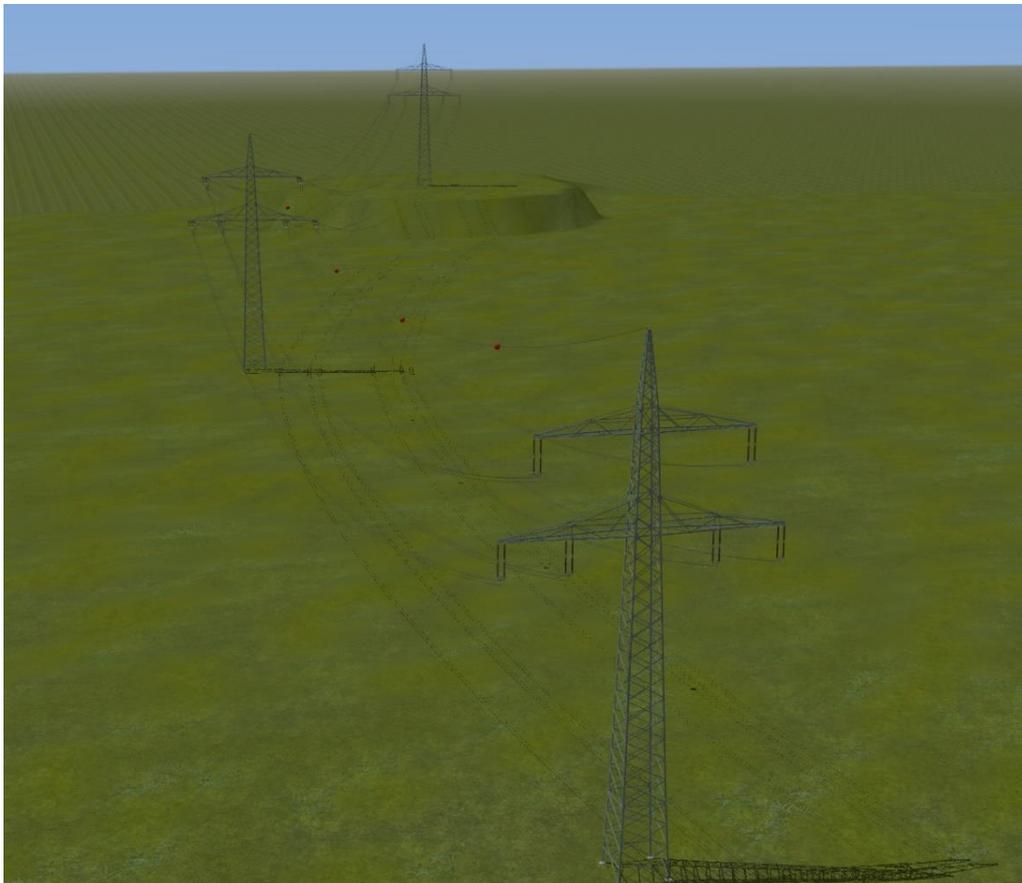
Der beim Trassenbau genutzte Gleisstil „Blauer Bach“ wurde automatisch entfernt und gegen die Erdleitung ausgetauscht.

Direkt neben den Isolatoren hängen Schwingungsdämpfer an den Leitungen.

Zu guter Letzt finden sich im ausgewählten Mastbereich Warnkugeln.

Herzlichen Glückwunsch! Wir haben unsere erste Hochspannungstrasse erstellt und daran die komplette Vorgehensweise für längere Trassen gelernt!

Hinweis: Es ist möglich, dass an den Verbindungsstellen virtuelle Verbindungen auftreten. Diese generiert EEP eigenständig, sie haben aber keinerlei Einfluss auf die berechneten Leitungsparameter. Sie können einfach ignoriert werden.



Fertig generierte Hochspannungstrasse

5.5 Kurzversion

In dieser Kurzversion werden alle ausführlich genannten, wichtigen Arbeitsschritte zusammengefasst, um sie schnell wiederholen zu können.

- **Ersten Mast** aufstellen, daran in eine Richtung weiterarbeiten.
- Mastverbindung an **mittleres Gleisstück** des Mastes anbringen.
- **Vier Gleisstücke** als Verbindungsleitung zwischen zwei Masten verlegen.
- Wenn ein Mast als **Winkel-Mast** ausgeführt wird, dann den Mast um den **halben Trassenknick** drehen.
- Sind alle Masten aufgestellt, alle Masten vorsichtshalber **sperr**en, um ein „hüpfen“ zu vermeiden.
- **Isolatoren** an den für sie vorgesehenen Dockpunkten anbringen.
- Darauf achten, dass am jeweils **gleichen Isolatorplatz** an jedem Mast dieselbe **Isolator-Art** (**Spannung** und **Bündel-Art**) aufgehangen wurde.
- **Träger** der Isolatoren per **Achse** auf die **Breite der Traverse** anpassen. Wenn nötig, **Winkelisolatoren drehen**.
- Anlage in **EEP speichern** und im Tool **wieder öffnen**.
- **Start-** und **Ziel-Mast-ID** der Trasse eingeben.
- **Einstellungen** bezüglich Warnkugeln, Schwingungsdämpfer etc. treffen.
- Masten **verbinden lassen**, je nach Auswahl **Warnkugelbereiche** definieren.
- Anlage im Tool idealerweise unter **neuem Namen speichern**.
- Anlage in **EEP laden** und das **Ergebnis** überprüfen.

5.6 Zusatzfunktionen / Weitere Hinweise

5.6.1 Übergänge zwischen verschiedenen Mastarten

Grundsätzlich sollte es vermieden werden, innerhalb einer Trasse verschiedene Masten zu verwenden.

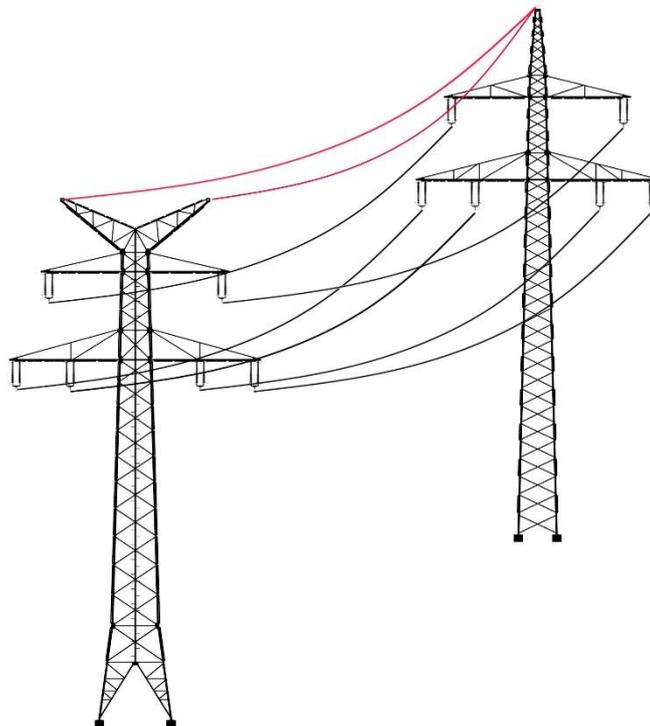
Dennoch können (durchaus vorbildgetreue) Situationen auftreten, in denen es nötig ist, unterschiedliche hintereinander Masten zu verbauen. Diese Spezialfälle sollen in den folgenden Unterkapiteln kurz erläutert werden.

5.6.1.1 Unterschiedliche Erdleitungen

Die Kombination verschiedener Erdleitungen innerhalb einer Trasse ist nicht unüblich und wird grundsätzlich von der Software unterstützt. Somit ist es möglich, Masten mit einer und zwei Erdleitungen hintereinander in einer Trasse zu verbauen und vom Tool verbinden zu lassen.

Voraussetzung ist natürlich, dass sich weder die Mastart an sich, noch die Maximalspannung des Mastes ändert.

Die Software erkennt die Änderung der Erdleitungszahl und trennt die Erdleitung im Übergangsbereich auf, macht also aus einem Erdseil zwei.



5.6.1.2 Verschiedene Mastarten, gleiche Maximalspannung

Es ist nicht unüblich, dass innerhalb einer Hochspannungstrasse die Art des Mastes geändert wird. Die Masten im Übergangsbereich besitzen jedoch zumeist die jeweils gleiche Zahl an Isolatorplätzen.

Beispiele für in diesem Kontext „kompatible“ Masten wären:

- Donaumast auf Einebenenmast
- Tannenbaummast auf Tonnenmast
- Einebenenmast auf Tonnenmast

Beim Verbinden einer kompletten Trasse können diese Mastarten prinzipiell untereinander kombiniert werden. Allerdings ist dabei die Hierarchie der Isolatorplätze zu beachten, welche in der in Kapitel „3.1 Masten“ verlinkten Übersichtstabelle der Masten dargestellt ist.

Ein zu nennendes Beispiel, in dem der Übergang nicht vorbildgerecht ist, wäre der Übergang vom Donaumast auf einen Einebenenmast.

Der Blick in die Übersichtstabelle offenbart die Hierarchie der Isolatorplätze, nummeriert von eins bis sechs. Diese Zahlen sind deshalb wichtig, weil das Tool die Leiterseile stets nach dem folgenden Schema verbindet:

```
1 -> 1
2 -> 2
3 -> 3
4 -> 4
5 -> 5
6 -> 6
```

Beim Übergang der genannten Masten würde das dazu führen, dass die beiden äußeren Leitungen des Einebenenmastes auf die untere Traverse des Donaumastes verbunden würden, während die innere Leitung an die obere Donau-Traverse gebracht wird. Somit überkreuzen sich die Leitungen und stellen ein Sicherheitsrisiko dar.

Die korrekte Kombination der Isolatorplätze wäre im Übergang Donaumast -> Einebenenmast:

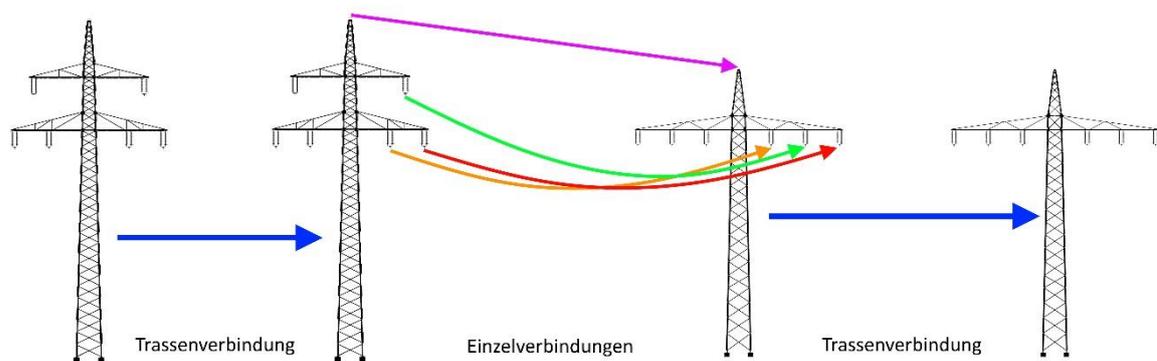
```
1 -> 1
2 -> 3
3 -> 2
4 -> 5
5 -> 4
6 -> 6
```

Dies ist allerdings mit der Standard-Funktion für Trassen nicht erreichbar.

Hier bietet es sich an, die in Kapitel „4.2.5 Einzelverbinder“ kurz genannten Einzelverbinder zu nutzen.

Sie funktionieren analog zur in Kapitel „5.4 Mittels Tool verbinden“ beschriebenen normalen Trassen-Funktion. Unterschiedlich ist allerdings, dass der Einzelverbinder „Isolator -> Isolator“ nur einen einzigen Isolator verbinden kann. Dabei muss die Immobilien-ID der entsprechenden Isolatoren angegeben werden. Der Einzelverbinder „Erdleitung -> Erdleitung“ verbindet die Erdleitung zweier Masten. Diese sollten möglichst nicht über Verbindungssplines miteinander verbunden worden sein, da diese Funktion auch ohne die vier Zwischenstücke auskommt.

Im Falle eines hier genannten Mast-Wechsels würde es sich also anbieten, die Hochspannungstrassen jeweils nur bis zur Wechsel-Stelle herstellen zu lassen und den Übergang per Einzelverbinder zu realisieren.

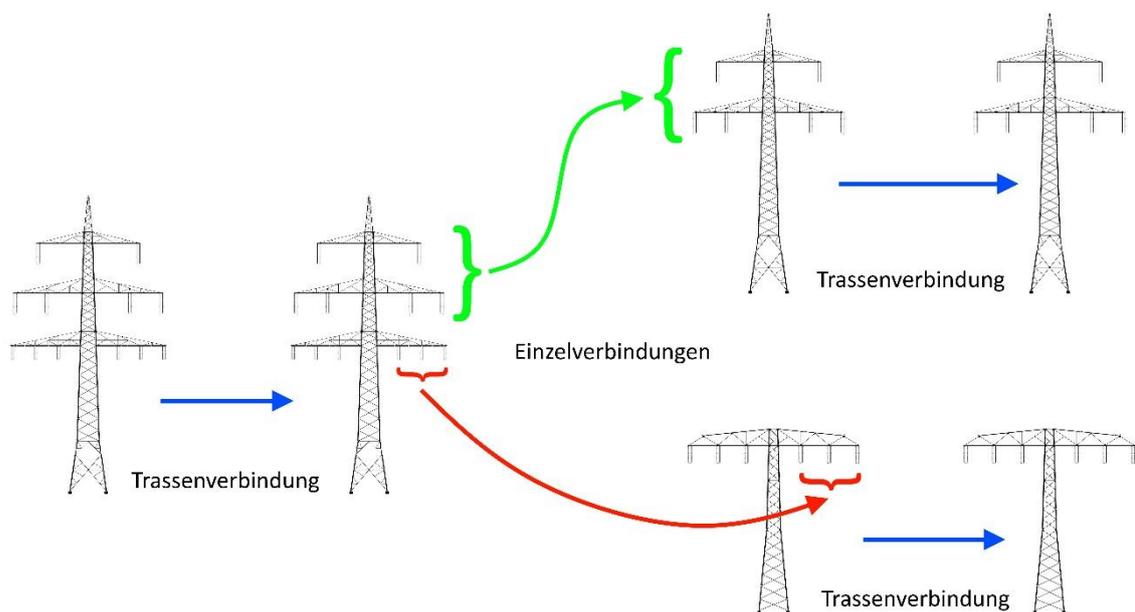


5.6.1.3 Komplett unterschiedliche Masten oder Leitungsauskopplungen

Manchmal kann es vorkommen, dass beispielsweise ein 220kV-Stromsystem an einem 380kV-Hybridmast mitgeführt und an einer bestimmten Stelle aus diesem ausgekoppelt wird, um auf einer eigenen Trasse in eine andere Richtung zu verlaufen.

Auch in diesem Fall lassen sich die Einzelverbinder im Übergangsbereich flexibel anwenden.

Es empfiehlt sich hier ebenfalls wie im vorigen Kapitel vorzugehen, die einheitlichen Trassen bis zur Übergangsstelle fertigzustellen und den Übergang mittels Einzelverbindern zu realisieren.



5.6.2 Beeinflussung des Durchhangs

Wie in Kapitel „5.4.2 Eingabe der gewünschten Daten“ bereits angemerkt, kann für besondere Situationen der standardmäßig berechnete Durchhang um bis zu 5 Meter verringert werden.

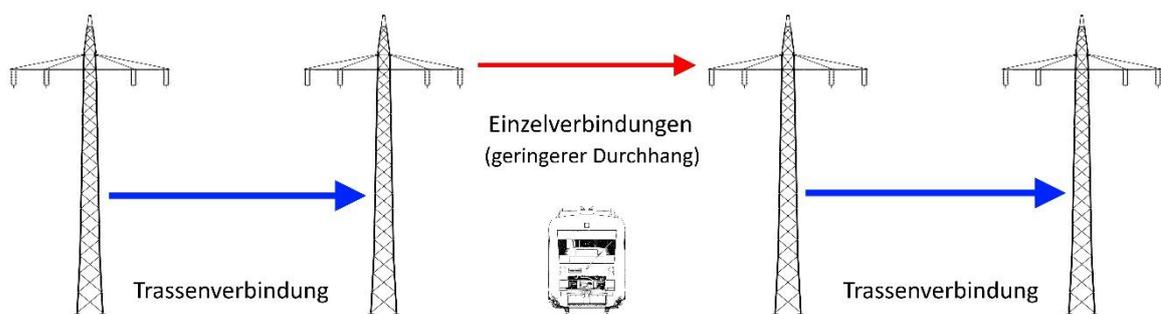
Denkbar wäre etwa die Kreuzung einer Bahnstrecke oder Straße, bei der die Leiterseile ansonsten zu tief hängen und eine Gefahr für den kreuzenden Verkehr darstellen würden.

Wenn gewünscht, kann der Durchhang der kompletten Trasse reduziert werden, indem diese in einem Stück mit dem Tool fertiggestellt und zuvor der Haken für die entsprechende Option gesetzt wird. Der Durchhang lässt sich zwischen 0,5 und 5 Metern in Schritten von 0,5 Metern einstellen.

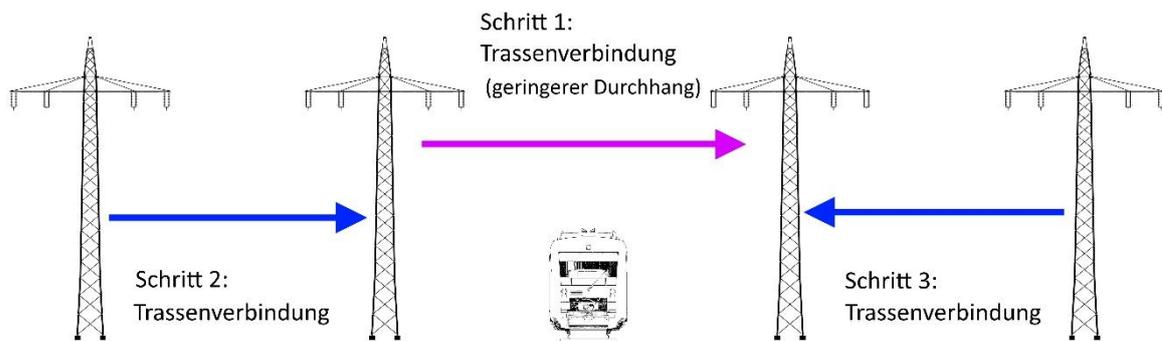
Da jedoch meistens nur die betreffende Mastverbindung einen geringeren Durchhang aufweist, empfiehlt es sich, die Trasse in mehreren Abschnitten fertigzustellen.

Hier ergeben sich nun zwei verschiedene Methoden.

Die erste sieht eine beidseitige Verbindung der Trasse bis zu den betreffenden Masten vor, während der Abschnitt mit geringerem Durchhang durch Einzelverbindungen realisiert wird. Auch hier sollte darauf geachtet werden, dass im Bereich der Einzelverbindungen die vier Zwischenstücke zwischen den Masten ausgelassen werden.



Die zweite Methode sieht das Schrittweise verbinden einzelner Trassenabschnitte vor. Dabei sollte mit dem Stück begonnen werden, das den geringeren Durchhang aufweist. Hier muss darauf geachtet werden, dass der Start-Mast dieses Abschnitts nur einen Verbindungsspline angedockt hat! Anschließend können die beiden äußeren Abschnitte – beginnend mit dem ganz äußeren Mast – separat fertiggestellt werden.



Es bietet sich an, direkt nach dem Erstellen der Verbindung mit geringerem Durchhang in EEP zu überprüfen, ob der Durchhang klein genug ist, sodass er den nötigen Abstand zu anderen Bauten einhält.

5.6.3 Asymmetrische Masten

Masten können grundsätzlich beliebig gedreht in der Trasse vorkommen, da fast alle Masten auf beiden Seiten gleiche Traversen haben.

Eine Ausnahmen bilden die asymmetrischen Masten. Gegenwärtig fallen nur die Dreiermasten unter diese Kategorie. (Die Symmetrie ist in der Mastübersicht einsehbar)

Diese asymmetrischen Masten müssen zwingend immer gleichgerichtet aufgestellt werden, es muss also stets der einzelne Ausleger auf der einen Seite der Trasse sein, während die beiden anderen Ausleger auf der anderen Trassenseite sein müssen. Das Tool wird eine falsche Ausrichtung stets mit einem Fehlercode anmahnen.

5.7 Video-Tutorial

Alle in diesem Kapitel vorgestellten Schritte zum Erstellen einer Hochspannungs-Trasse habe ich in einer Reihe von Videos auf YouTube visualisiert.

Das Haupt-Video ist über den folgenden Link erreichbar:

[Video-Tutorial in voller Länge \(YouTube\)](#)

Des Weiteren kann es jederzeit im Tool unter dem Menüpunkt **Hilfe -> Video-Volltutorial... (F2)** geöffnet werden.

Aufgrund der Länge des Haupt-Videos habe ich auch noch eine Video-Kurzversion erstellt, die sich am Kapitel „5.5 Kurzversion“ orientiert und nur einen Bruchteil der Länge des vollen Video-Tutorials besitzt. Diese Kurzversion ist über den folgenden Link anzuschauen:

[Video-Tutorial in Kurzversion \(YouTube\)](#)

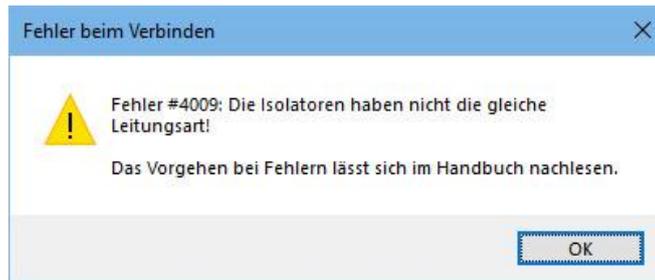
Sie kann ebenfalls jederzeit im Tool unter dem Menüpunkt **Hilfe -> Video-Kurztutorial... (F3)** geöffnet werden.

6. Fehlerbehebung

6.1 Fehler identifizieren und beheben

6.1.1 Fehlerausgabe

Wann immer das Verbindung einer Trasse oder Einzelverbindung fehlgeschlagen ist, wird die Software einen Fehler als Dialogfenster ausgeben.



Beispielhafte Fehlerausgabe

Ist der Fehler definierter Art, wird er von einem Fehlercode betitelt.

Diese Fehlercodes können in der parallel vorliegenden Datei nachgeschlagen werden und beinhalten stets eine genauere Beschreibung sowie Ansätze zum Lösen des Problems.

[Fehlerbeschreibung öffnen \(PDF\)](#)

Wenn ein Fehler nicht mit einem Fehlercode betitelt wird, sollte er wie in Kapitel „6.2 Nicht lösbare Fehler melden“ beschrieben gemeldet werden.

6.1.3 Log-Dateien

Alle durchgeführten Aktionen werden in sogenannten Log-Dateien mitgeschrieben.

Je Programmstart wird eine Datei angelegt, welche jeweils nach Datum und Uhrzeit benannt (Schema „log_YYYY_MM_DD_HH_mm_SS“) und im Unterordner

\log

des Tool-Verzeichnisses gespeichert wird.

Alte Log-Dateien können bedenkenlos gelöscht werden, um die Übersicht zu bewahren.

6.2 Nicht lösbare Fehler melden

Sollte sich ein Fehler nach Blick in die Tabelle der Fehlercodes nicht lösen lassen oder keinerlei Fehlercode vorliegen, so bitte ich um eine Mitteilung auf den üblichen Kommunikationswegen.

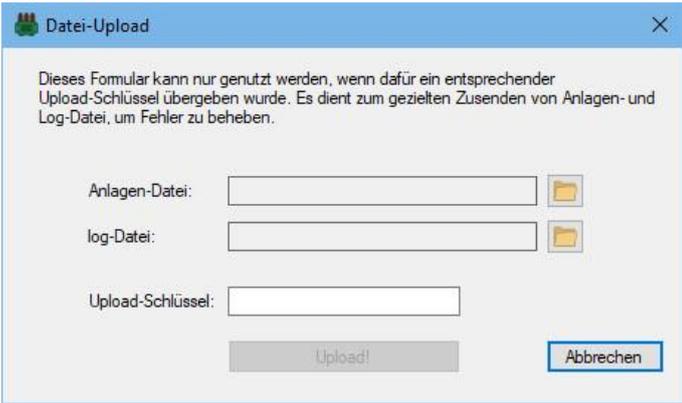
Dies kann im offiziellen [EEP-Forum](#) unter der Kategorie [Konstrukteure / TU1 Tobias Uhle](#) getan werden. Dort finden sich entsprechende Themen zur Mitteilung eines Fehlers und eine kurze Anleitung, wie der Fehler beschrieben werden soll.

Ich bitte darum, zunächst nur den Fehler zu beschreiben und maximal den entsprechenden Fehler-Text aus der Log-Datei beizufügen.

Kann der Fehler auf den ersten Blick nicht gelöst werden, so existiert die Möglichkeit, gezielt die betreffende Anlage und den passenden Fehler-Log direkt über das Tool hochzuladen.

Der Menüpunkt **Hilfe -> Upload-Formular...** bietet die Möglichkeit, mir entsprechende Dateien zukommen zu lassen.

Hierfür wird zwingend ein einmalig gültiger Upload-Schlüssel benötigt, den ich bei Bedarf individuell versende.



Das Bild zeigt ein Dialogfenster mit dem Titel "Datei-Upload". In der Titelleiste befindet sich ein Icon und ein Schließen-Symbol. Der Haupttext des Dialogs lautet: "Dieses Formular kann nur genutzt werden, wenn dafür ein entsprechender Upload-Schlüssel übergeben wurde. Es dient zum gezielten Zusenden von Anlagen- und Log-Datei, um Fehler zu beheben." Darunter sind drei Eingabefelder: "Anlagen-Datei:" mit einem Dateiauswahl-Symbol, "log-Datei:" mit einem Dateiauswahl-Symbol und "Upload-Schlüssel:" mit einem Textfeld. Am unteren Rand befinden sich zwei Buttons: "Upload!" (grau hinterlegt) und "Abbrechen".

Das Upload-Formular zur individuellen Fehlerbehebung

7. Danksagungen

Mein Dank gilt allen helfenden Händen, die mich in den letzten Jahren unterstützten:

AG2, für die Möglichkeit, Bilder auf seinen Anlagen zu machen

Andiman, für die Möglichkeit, Bilder auf seinen Anlagen zu machen

ApKa, für Fehlerfunde und einige Systemtests

Canadian, für wichtige Ideen und Systemtests

der_senftenberger, für die Idee des dynamischen Durchhangs und Systemtests

Folscher, für die vielen Systemtests

FTX-Fan, für die Möglichkeit, Bilder auf seinen Anlagen zu machen

Gonz, für tatkräftige Unterstützung bei mathematischen Berechnungen und viele Systemtests

Jürgen18, für Einblicke in die Funktionsweise des Tauschmanagers

RG3, für Austausch und Zusammenarbeit beim Thema „Umspannwerke“

schatten, für die vielen Systemtests und Shopbilder

TF2, für hilfreiche Vorbilddiskussionen

Toddell2014, für die Möglichkeit, Bilder auf seinen Anlagen zu machen

VF1, für einige Systemtests und Tipps bei Softwarefragen

Anhang: Hintergründe / Technik

Dieses Kapitel dürfte vorwiegend für diejenigen User von Relevanz sein, die sich für die technischen Hintergründe und die Abläufe innerhalb der Software interessieren.

A1 Programmiersprache

Das optische Aussehen der Software wurde im bewährten „Visual Studio“ von Microsoft gestaltet und arbeitet mit der Programmiersprache Visual Basic.

Jedoch begannen die ersten Versuche am Kernstück, das die Anlage bearbeiten kann, lange vor der Zeit, in der ich mich mit komplexen Programmiersprachen beschäftigt habe. Entsprechend werden alle Änderungen an der Anlage durch das bekannte LUA vorgenommen, welches auch alleinstehend und unabhängig von EEP funktioniert und in diesem Fall über eine Klassenbibliothek in der Benutzeroberfläche nutzbar gemacht wird.

Es wäre sicherlich auch möglich gewesen, die komplette Logik in Visual Basic neu zu schreiben. Die Sorge vor neuen Problemen und Fehlern war allerdings so hoch, dass ich mich dazu entschied, kurzerhand den bewährten und funktionierenden Code über eine entsprechende Erweiterung einzubinden.

A2 Warum benötigt das Tool die vier Gleisstücke?

Diese Frage werden sich sicherlich viele User stellen!

Vier Gleisstücke mit einer Länge von jeweils maximal 100 Metern ergeben insgesamt 400 Meter Mastabstand. Das ist ein Grund.

Die Festlegung auf vier Gleisstücke musste aber auch deshalb getroffen werden, weil das Tool vom ersten Mast aus viermal in Richtung des angedockten Gleisstücks „hangelt“. Das danach erwartete Gleisstück muss der Mittel-Spline eines weiteren Mastes sein, da nun nach dem Mast gesucht wird, zu dem das Gleisstück gehört.

Natürlich hätte diese Funktion auch flexibel auf drei oder fünf Gleise ausgeweitet werden können. Das würde aber wieder die Fehleranfälligkeit erhöhen, was es zu vermeiden galt.

A3 Durchhangberechnung

Der Durchhang sollte ursprünglich - wie bisher bei solchen Sets gehandhabt – mit vier Gleisstücken dargestellt werden. Jedes Gleisstück erhielt als Elektrifizierung ein anderes Stück Leitung, sodass sich am Ende vier verschiedene Splines zu einer durchhängenden Leitung zusammenfügen.

Probleme entstanden zu dem Zeitpunkt, als verschiedene Spannungsebenen ins Spiel kamen und der Durchhang sich ändern sollte. Das wäre mit den statischen „Oberleitungen“ der Splines nicht möglich geworden.

Der in den Danksagungen erwähnte User „der_senftenberger“ brachte mich daraufhin auf die fast schon revolutionäre Idee, den Spline als zunächst gerades Seil auszuführen und mittels einer Biegung in Form zu bringen.

Das wiederum führte zwar dazu, dass diese Form nun direkt im Tool berechnet werden musste, dadurch allerdings auch viel flexibler darstellbar wurde.

Nach vielen gescheiterten Versuchen konnte ich letztendlich die eigentlich für ein durchhängendes Seil übliche „Kettenlinie“ (mathematisch: $\text{Cosinus hyperbolicus}$) durch zwei unterschiedlich gebogene Gleisstücke annähern und so den für Freileitungen typischen Look generieren.

Der Höhenunterschied zwischen Isolator und tiefstem Punkt der Leitung kann fast ohne Einschränkungen verändert werden, womit sich extrem viele Einsatzmöglichkeiten ergeben.

Auch konnte der typische Effekt erzielt werden, der auftritt, wenn Start- und Zielpunkt eines Seils nicht auf einer Höhe liegen:

Der tiefste Punkt des Seils verrutscht zum tieferen Aufhäng-Punkt hin.

Die mathematische Lösung innerhalb des Tools verdanke ich dem lieben Gonz, der tagelang mit mir an einer passenden Umsetzung gefeilt hat. Leider ist die Lösung für das dahinterstehende Gleichungssystem nicht eindeutig, weshalb sie an die gewünschten Werte angenähert werden muss. Das frisst zwar etwas Rechenzeit, hat aber letztendlich keine merklichen Auswirkungen auf die Performance des Tools.