

Oberleitungsplanung und Simulation des Stromabnehmerlaufes

Gerhard Hofbauer, Linz; Werner Hofbauer, Hollabrunn

Mit der Software FLTG können alle Schritte der Oberleitungsplanung mit den Parametern der jeweiligen Bauart und den Streckendaten durchgeführt werden. Oberleitungsstützpunkte und Längsfelder werden grafisch dargestellt. Das geometrische Zusammenwirken von Stromabnehmer und Oberleitung kann simuliert werden, wobei unterschiedliche Stromabnehmerbauarten, Wankbewegungen und Windeinfluss beachtet werden. Damit kann auch die Eignung einer Strecke für die Interoperabilität des transeuropäischen Bahnsystems nachgewiesen werden.

Planning of overhead contact lines and simulation of the pantograph running

Using the software FLTG all planning steps for overhead contact lines can be carried out based on the parameters of the contact line type and the line data. Contact line supports and individual spans are presented graphically. The geometric interaction of pantograph and contact line can be simulated taking into account the pantograph type, its sway and the wind action. Thus, the suitability of a line for the interoperability of the transEuropean rail system can be demonstrated.

Planification de caténares et simulation du mouvement du pantographe

Grâce à l'utilisation du logiciel FLTG, chaque étape de la planification d'un projet peut être conduite avec les paramètres de la caténaire et les données de la ligne. Les supports de la ligne de contact et les portées sont représentés graphiquement. L'interaction géométrique du pantographe et de la ligne aérienne peut être simulée en tenant compte du type de pantographe, son balancement et l'action du vent. Ainsi, la conformité d'une ligne aux critères d'interopérabilité du système transeuropéen ferroviaire peut être démontrée.

1 Einführung

Die in den Mitgliedsstaaten der Europäischen Gemeinschaften, bei Bahnverwaltungen oder für einzelne Bahnstrecken entwickelten und verwendeten Oberleitungen unterscheiden sich in

- der Fahrdrachthöhe,
- der Fahrdrachseitenlage an den Stützpunkten,
- der zulässigen Seitenlage innerhalb eines Längsfeldes und
- den Zugkräften von Fahrdracht und Längstragseil und weiteren Parametern.

Sie sind auf die bisher verwendeten, unterschiedlichen Stromabnehmer abgestimmt. Auch die jeweils verwendete Stromart hatte Einfluss auf Stromabnehmer- und Oberleitungsbauarten. Infrastruktur und rollendes Material wurden von einer Einheit verwaltet, die für Abstimmungen zwischen den Teilsystemen zuständig war.

Das Ziel der Europäischen Gemeinschaften ist es, jedem Eisenbahnverkehrsunternehmen den Zugang zur Bahninfrastruktur aller Mitgliedstaaten möglich zu machen. Sie haben hierfür unter anderem die Richtlinie über die Interoperabilität der transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsysteme [1] erlassen. Ein wesentlicher Aspekt der

Interoperabilität ist das Zusammenwirken der Oberleitungen und Stromabnehmer. Hierfür ist das Einhalten vorgegebener Grenzwerte der Fahrdrachtlage unabdingbar.

Die Software FLTG zur Fahrleitungsplanung ermöglicht die Bearbeitung aller Aufgaben im Zuge der Planung und Projektierung bei Neuerrichtung und Umbau von Oberleitungsanlagen sowie deren Qualitätssicherung und Dokumentation. Es werden die Stützpunkte berechnet und visualisiert. Der Raum für den Stromabnehmerdurchgang für die jeweiligen Fahrzeuge wird sichergestellt, sodass es zu keinen Kollisionen der Stromabnehmer mit Bauteilen eines Stützpunktes kommen kann. Weiter kann durch virtuelle Befahrung von bestehenden Strecken mit einem auf einem Fahrzeug aufgebauten Stromabnehmer die Lage des Fahrdrachtes im Bezug zur Stromabnehmerwippe simuliert werden. Dabei können die Einflüsse aus der Windwirkung quer zum Fahrdracht und der Wankbewegung des Stromabnehmers, die durch das Fahrzeug und den Gleisoberbau verursacht wird, berücksichtigt werden. Mit Software zur Projektieren von Oberleitungen befassen sich auch die Beiträge [2; 3].

Auch die Voraussetzungen und Eingabedaten zur Simulation des dynamischen Verhaltens der Oberleitung wie die Seitenzugkräfte an jedem Stützpunkt werden durch das Programm bereitgestellt.

2 Entwicklungsziele

Die Software FLTG wurde mit dem Ziel entwickelt, Oberleitungsanlagen computergestützt zu berechnen und so den zeitlichen Aufwand für Arbeitsvorbereitung, Logistik, Montage und Gleisbenützung zu senken. Die Entwicklung begann 1982 mit der Projektierung von an Oberleitungsmasten montierten Komponenten wie Drehausleger, Quertragwerke, Zweigleisenausleger, feste Abspannungen, bewegliche Nachspanneinrichtungen, Mastschalter, Stützpunkte von Umgehungs-, Verstärkungs- und Schalterleitungen, Transformatorkonsolen, Beleuchtungen. Eingabedaten und Ergebnisse konnten anhand von Grafikausdrucken visuell geprüft werden. Im Jahr 1989 kam die Berechnung der Kettenwerke hinzu. Die Daten für die Berechnungen wurden von Oberleitungslageplänen entnommen oder vor Ort gemessen. Die Berechnungen wurden 2003 um die Kriterien der TSI Energie [4] unter Berücksichtigung der genauen Gleisgeometrie erweitert, um den Windantrieb und die Seitenzugkräfte an den Stützpunkten ermitteln zu können. Die in der Programmiersprache C erstellte Software wurde 2004 auf Visual C++ umgestellt, um die Möglichkeiten der Windows-Benutzeroberfläche nutzen zu können.

Die Software wurde von Beginn an so gestaltet, dass Redundanzen bei der Eingabe der Daten vermieden werden. Eine Eingabedatei, als eine einfache Textdatei gestaltet, stellt dies sicher und erlaubt es, die Daten in übersichtlicher Form und benutzerfreundlich bearbeiten zu können.

Die Eingabe der Daten als ASCII-Datei wurde bei Weiterentwicklungen beibehalten, um auch nach vielen Jahren frühere Dateien noch benutzen zu können. Die Datei kann mit jedem Texteditor bearbeitet werden.

Zur Unterstützung der Benutzer und zur Bearbeitung von Eingabedaten wurde die Software FLTGEdit entwickelt. Sie erlaubt die Bearbeitung der Daten mittels übersichtlicher Dialoge und unterstützender Funktionen.

3 Dateneingabe

Die Eingabedatei wird üblicherweise ausgehend von einer Standardvorlage sukzessive aufgebaut. Sie



Bild 1: Dialogfenster für die Projektdaten.

bildet den Hintergrund von Bild 1. Am Anfang stehen die allgemeinen und das Projekt beschreibenden Daten. Danach folgen die Gleisdaten, welche entweder manuell eingegeben oder vom Programm aus CAD-Files (dxf-files) eingelesen werden können.

Andere, zum Beispiel in Tabellenform vorliegende Daten wie Mast-, Sektions- und Leitungsverzeichnisse können ebenfalls automatisiert in die Eingabedatei übernommen werden.

Die Eingabedatei enthält auch Schlüsselwörter für Baugruppen, zum Beispiel für Abspannlängen, Oberleitungsmasten, Drehausleger, Schalter, Gleisdaten, Tunnelprofile, denen jeweils Eigenschaften zugeordnet sind. Zu jedem Schlüsselwort existiert ein Dialog (Bild 1), über den der Benutzer die Eigenschaften anpassen kann. Ebenso existiert zu jedem Schlüsselwort eine Hilfe-Funktion mit detaillierten Informationen.

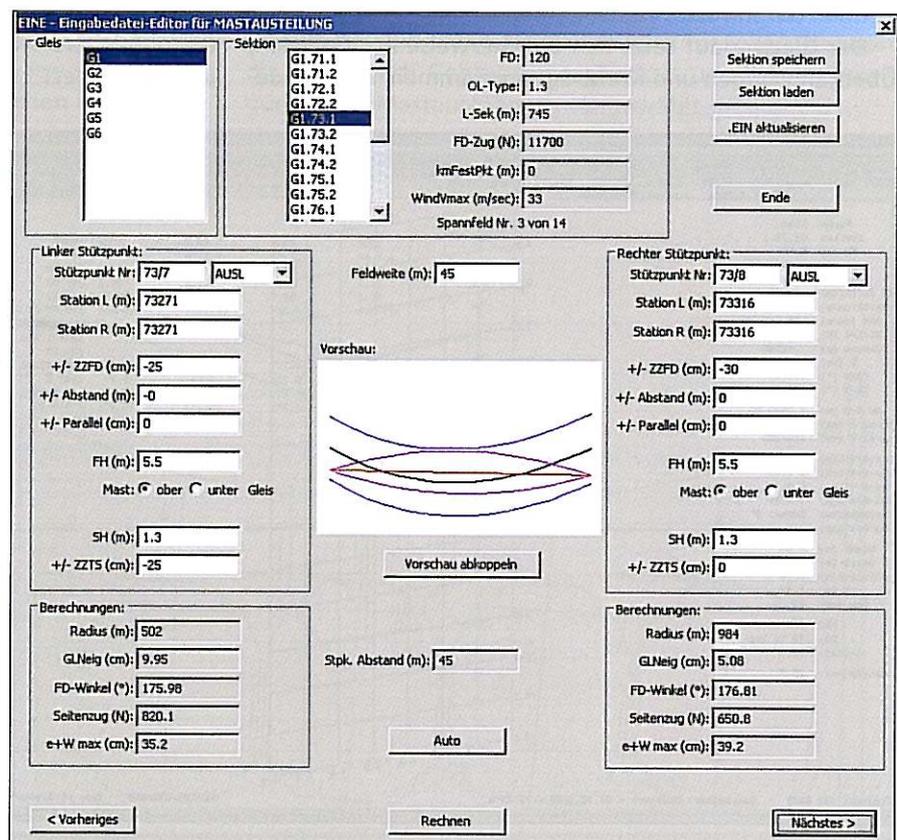


Bild 2: Hauptdialogfenster zur Mastausteilung.

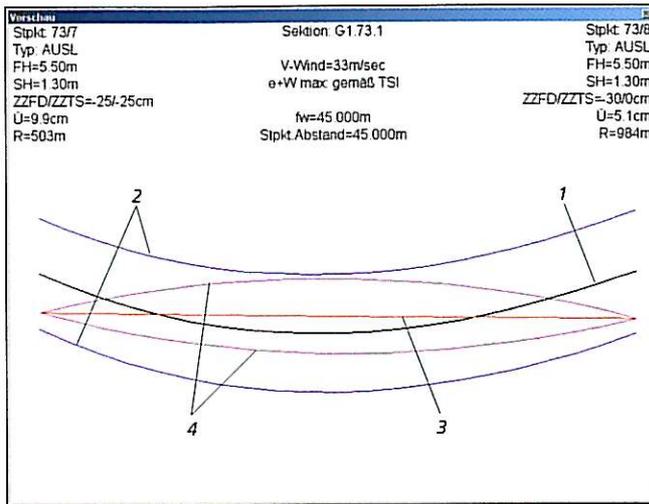


Bild 3: Aus dem Hauptdialog *Mastausteilung* abgeleitete Grafik zur Kontrolle eines Längsfeldes und der daran angrenzenden Stützpunkte. 1 Bezugsachse, 2 Fahrdrabtgrenzlagen, 3 Fahrdraht in Ruhelage, 4 Fahrdrablage unter Windeinwirkung

4 Mastausteilung

Die Positionierung der Oberleitungsmasten wird mit der Funktion *Mastausteilung* durchgeführt (Bild 2). Mit dieser Funktion können die Standorte der Oberleitungsmasten auch in schwierigen Situationen und bei vorhandenen Einschränkungen durch Weichen, Brücken, Signalstandorte, Unterführungen und so weiter gewählt werden. Kernziel ist die Einhaltung der Windabtriebsgrenzen gemäß TSI Energie [4], EN 50 119:2008 [5] oder anderer Festlegungen der Infrastrukturbetreiber.

Der Gleisverlauf setzt sich üblicherweise aus Geraden, Übergangsbögen und Kreisbögen zusammen. Auch ande-

re Streckenelemente, beispielsweise der Wiener Bogen®, können durch Vorgabe von geometrischen Grundelementen berücksichtigt werden.

Bei Projekten, bei denen keine CAD-Daten für die Gleislage verfügbar sind, werden die Gleisdaten manuell aus den Gleisplänen entnommen und eingegeben. Dies kann auch bei Umbaumaßnahmen mit begrenzter Ausdehnung vorteilhaft sein.

Entsprechend den jeweiligen Vorgaben aus der elektrischen Streckenplanung, so der Lage von Streckentrennungen, Streckentrennern, Schutzstrecken oder Systemtrennstellen, und den Parametern der Oberleitungsbauart, wie maximale Nachspannlängen, Verwendung von halben oder vollständigen Nachspannabschnitten, werden die zu bearbeitenden Gleisabschnitte in einzelne Nachspannlängen unterteilt. Jeder Nachspannlänge wird entsprechend den Vorgaben des Infrastrukturbetreibers eine Oberleitungsbauart zugeordnet, wodurch die Parameter für das Kettenwerk festgelegt sind. In Bild 2 werden für den bearbeiteten Nachspannabschnitt die in dieser Planungsphase wichtigsten Parameter im Dialog angezeigt.

Im weiteren Arbeitsablauf werden die einzelnen mit Nummern bezeichneten Stützpunkte entweder durch Vorgabe der Längsspannweite bezogen auf den vorhergehenden Stützpunkt oder durch Eingabe der kilometrischen Lage positioniert und die zugehörige Fahrdrabtseitenlage eingegeben. Die Fahrdrabthöhe wird bei der Ermittlung der Grenzen für die zulässige Fahrdrablage beachtet. Mit dem Button *Rechnen* wird die Berechnung der Fahrdrabtseitenlage im Feld gestartet; mit dem Button *Vorheriges* oder *Nächstes* wird innerhalb des Abspannabschnittes zu den Nachbarfeldern gewechselt. In der Mitte des Dialogfensters wird eine Vorschaugrafik angezeigt, die auch detailliert betrachtet werden kann (Bild 3). Dies ist

vor allem für Computerarbeitsplätze mit Dual-Head-Betrieb vorgesehen. Im Bild ist die Lage des Fahrdrabtes ohne und mit Querwindbelastung in Bezug auf die Bezugsachse dargestellt. Im Bild 3 stellen die beiden äußeren Linien die Grenzen der zulässigen Seitenlagen der Fahrdrähte dar. Die Ausgabewerte beziehen sich auf die Höhe des an der Fahrleitung anliegenden Stromabnehmers. Aus dem Dialogfenster sind auch einige Parameter des Längsfeldes und der daran angrenzenden Stützpunkte ersichtlich.

Im Dialogfenster sind für jeden Stützpunkt die berechneten Werte wie Seitenzugkraft und zulässige Fahrdrabtseitenlage $e+W_{\max}$ enthalten. Für die Ermittlung und Darstellung der zulässigen Fahrdrabtseitenlagen wird ein Längsfeld in finite Elemente unterteilt.

Die Daten der jeweiligen Nachspannlängen

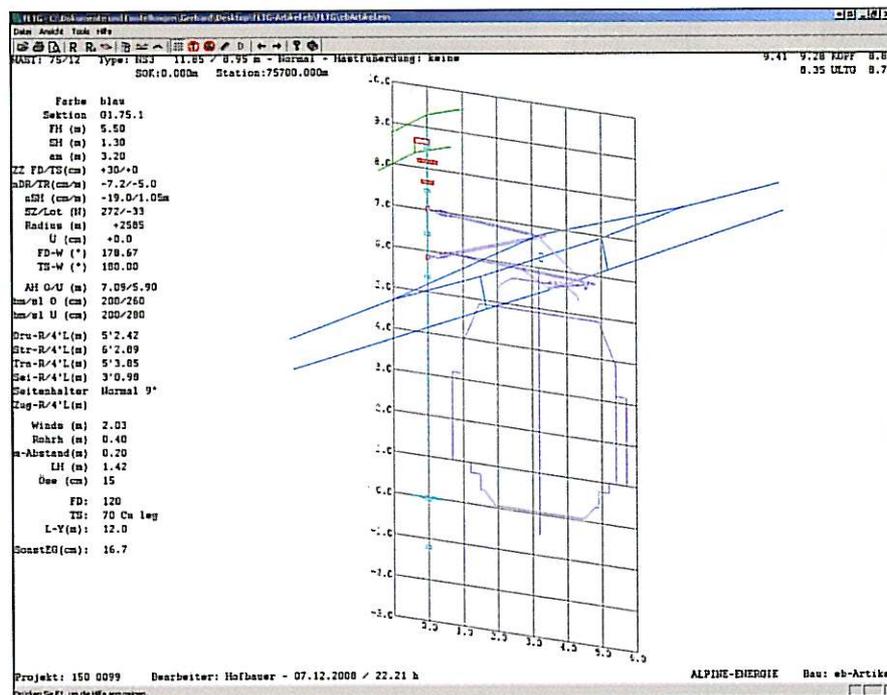


Bild 4: Perspektivische Darstellung eines Oberleitungsmastes mit Drehausleger, Kettenwerk, Verstärkungsleitung und Rückleiter.

- können gespeichert und wieder geladen werden, ohne die Daten der Eingabedatei zu verändern. Auf diese Weise können zum Beispiel bei einem vorhandenen Oberleitungsplan Variantenuntersuchungen durchgeführt werden, ohne die aktuell gültige Version zu verändern,
- oder können in die Eingabedatei übernommen werden. Damit stehen die ermittelten Daten für die weiteren Berechnungen zur Verfügung.

Vorhandene Planungen, die bereits in einer Eingabedatei vorliegen, können bearbeitet werden. Dies kann erforderlich werden, wenn in der Planung vorgesehene Maststandorte nicht ausgeführt werden können oder eine Umplanung durchzuführen ist.

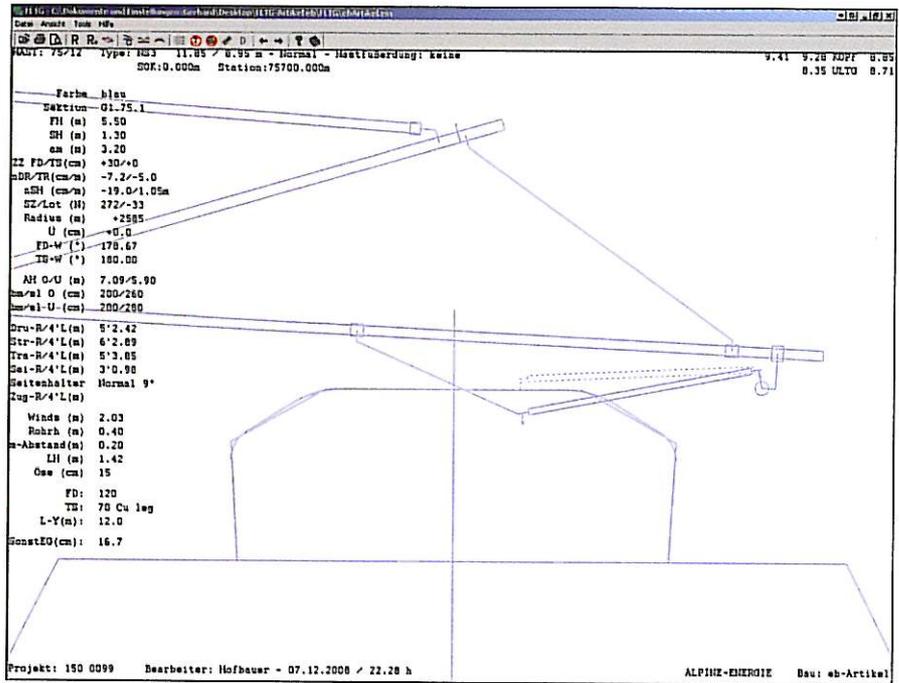


Bild 5: Kinematische Umgrenzung für den Stromabnehmerdurchgang.

5 Darstellung der Masten und Kettenwerke

5.1 Masten

Bild 4 zeigt einen Oberleitungsmast mit dem daran befestigten Kettenwerk in einer perspektivischen Darstellung. Die Grafik kann, wie von vielen CAD-Anwendungen gewohnt, im Raum bewegt, gedreht und skaliert werden.

Objekte wie Brücken und Signale können im Bild dargestellt werden. Mit der Funktion *Messen* können die Abstände zu Hindernissen bestimmt werden. Die Grafik kann als dxf-Datei ausgegeben und mit der jeweils vorhandenen CAD-Anwendung bearbeitet werden.

Die Darstellung des Oberleitungsmastes und der angebrachten Komponenten, zum Beispiel Drehausleger, ist auf die technisch notwendigen Details reduziert. Sie soll nur der schnellen und übersichtlichen Verifikation der berechneten Daten dienen.

Ein Beispiel hierfür ist die in Bild 5 dargestellte Kontrolle des Durchgangsraumes für den Stromabnehmer. Bei der kinematischen Um-

grenzung für den Stromabnehmerdurchgang sind die Parameter die TSI Energie [4] berücksichtigt.

Die am Oberleitungsmast angreifenden Lasten, zum Beispiel aus Quertragwerken (Bild 6), werden ermittelt und entsprechend den Vorgaben der EN 50 119 [5] mit Berücksichtigung der Teilsicherheitsbeiwerte zu Lastfällen für die Mastbemessung zusammengefasst. Anhand der Kennlinien der für die jeweilige Oberleitungsbauart zur Verfügung stehenden Mastarten wird für jeden Standort die hinsichtlich Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit günstigste Mastausführung ausgewählt.

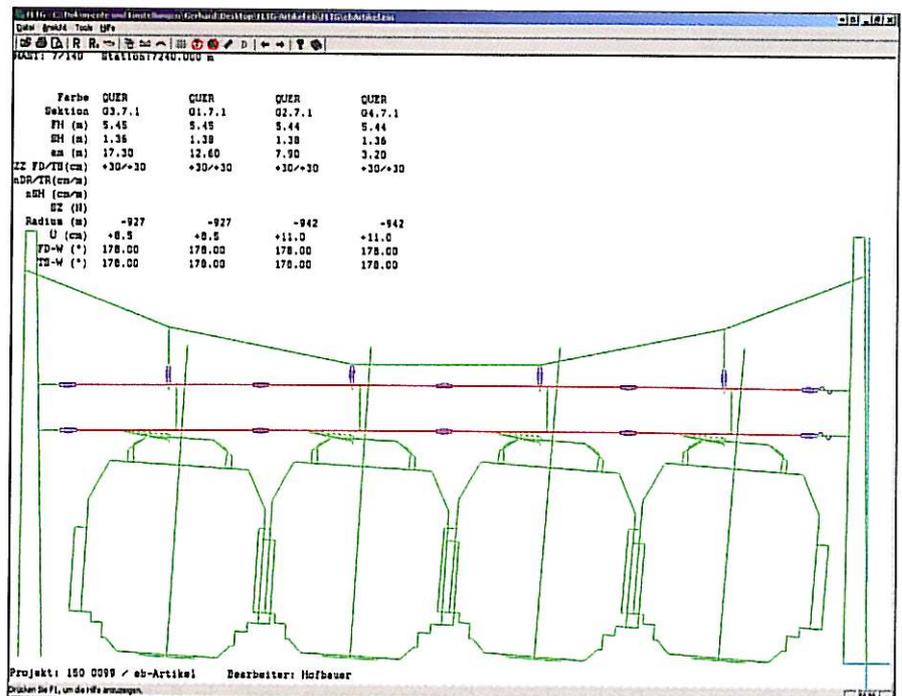


Bild 6: Oberleitungsmasten mit Quertragwerk.

Fahrdrahtes durch Windeinwirkung wird aus der in der Eingabedatei jeweils festgelegten Windgeschwindigkeit ermittelt.

Auch die Wankbewegungen der Fahrzeuge können in unterschiedlichen Varianten berücksichtigt werden. Der durch Wind ausgeleitete Fahrdraht und die Wankbewegung des Stromabnehmers werden so kombiniert, dass sie den ungünstigsten Fall ergeben. Mit der geometrischen Simulation des Zusammenwirkens von Stromabnehmer und Oberleitung können in der Planungsphase gezielt die Punkte ermittelt werden, an denen es bei ungünstigsten Kombinationen der Fahrdrahtauslenkung durch Wind und der Wankbewegung des Stromabnehmers zu Störungen kommen kann. Vor allem bei Anlagen für Hochgeschwindigkeitsbahnen, wo erhebliche Kräfte und Schwingungen auftreten, können kritische Punkte, die im Laufe des Betriebs zu Störungen und Ausfällen führen könnten, bereits bei der Planung korrigiert werden.

Die Simulation kann an jedem Punkt angehalten werden, um die aktuelle Situation als Einzeldarstellung zu betrachten und die zur Bewertung erforderlichen Daten anzuzeigen. Über ein Layermanagement können die anzuzeigenden Informationen ausgewählt werden. In Bild 9 sind sowohl der Fahrdraht in Ruhelage als auch der durch Wind abgetriebene Fahrdraht, die Bezugsachse und das Längstragseil zu sehen.

Im Ausgabefeld werden die für die Bewertung wichtigen Fahrdraht- und Gleisgeometriedaten an der aktuellen Position des Stromabnehmers angezeigt. Diese sind

- Gleisüberhöhung,
- mögliche Seitenbewegung des Stromabnehmers, die durch die Wankbewegung des Fahrzeuges und Gleislagefehler verursacht wird,
- die berücksichtigte Stromabnehmerbauart,
- der Unterschied zwischen der Bezugsachse und der direkten Verbindung der Bezugsachsenpunkte an den Stützpunkten, der sich aus dem Radius ergibt,
- die Fahrdrahthöhe in Ruhelage,
- die Auslenkung des Fahrdrahtes zur Stromabnehmermitte,
- die zu berücksichtigenden zulässigen Grenzlagen des Fahrdrahtes.

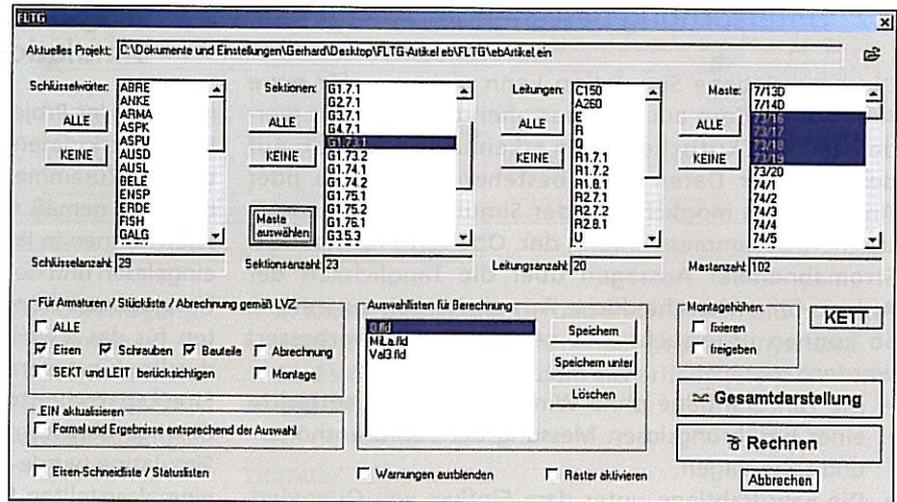


Bild 8: Hauptdialogfenster des Moduls Projektentwicklung.

Bei Parallelfeldern werden die Auslenkungen aller Fahrdrahte dargestellt. Für die Untersuchungen kann die Richtung des Seitenwindes an der jeweiligen Position gewählt werden. Der Kontaktpunkt zwischen Stromabnehmer und Fahrdraht kann durch ein Fadenkreuz hervorgehoben werden. In einer Skizze wird der Kontaktpunkt visualisiert und die Scheitelhöhe der Stromabnehmerwippe eingeblendet.

Die Untersuchungen können sowohl in der Höhe der Ruhelage des Fahrdrahtes durchgeführt werden als auch mit angehobenem Fahrdraht. Alle Daten der Oberleitungsmasten und der Kettenwerke, die für die geometrische Simulation verwendet wurden, können auch in ein CAD-Format exportiert und daher mit gängigen CAD-Anwendungen weiterbearbeitet werden.

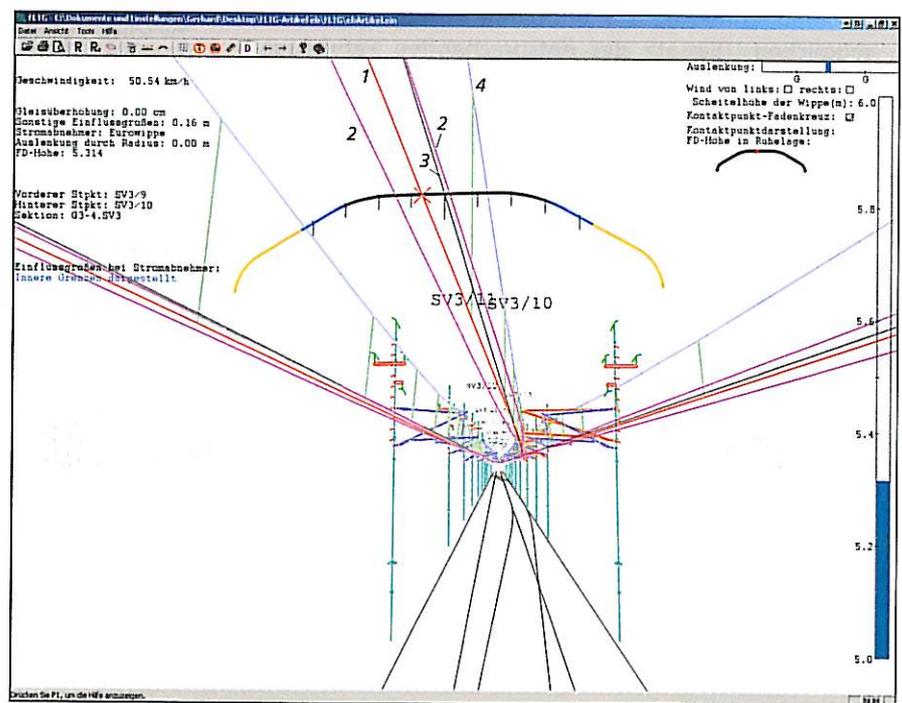


Bild 9: Momentaufnahme der Fahrt über eine Weichenverbindung mit Darstellung des Kontaktpunktes. 1 Fahrdraht in Ruhelage, 2 durch Wind abgetriebener Fahrdraht, 3 Bezugsachse auf Fahrdrahthöhe, 4 Längstragseil

7.2 Untersuchung bestehender Anlagen

Die beschriebene Simulation kann nicht nur für neue Anlagen sondern auch für bestehende verwendet werden, um dort kritische Stellen erkennen zu können. Auf der Basis der Daten einer bestehenden Strecke oder Anlage ist es möglich, mit der Simulation des geometrischen Zusammenwirkens der Oberleitung mit dem Stromabnehmer Aussagen über die Tauglichkeit der Anlage für unterschiedliche Anwendungen zu treffen. So können untersucht und gegebenenfalls verbessert werden:

- Die Fahrdrachtlage ohne Windeinfluss. Dies entspricht einer berührungslosen Messung der Fahrdrachthöhen- und Seitenlagen.
- Die Fahrdrachtlage unter dem Einfluss von Querwind. Dabei kann die Windgeschwindigkeit für die Untersuchung vorgegeben werden. Aus den vorhandenen Daten über die statischen Eigenschaften der Oberleitungsmaste kann auch deren Standfestigkeit bei Windbelastung untersucht werden.
- Die Ermittlung der Fahrdrachtseitenzugkräfte an jedem Stützpunkt. Falls erforderlich, können durch Änderung der Seitenverschiebung an Stützpunkten die Voraussetzungen für ein einwandfreies dynamisches Verhalten beim Zusammenwirken von Oberleitung und Stromabnehmer verbessert werden.
- Bei vorhandenen Überschreitungen der Windabtriebsgrenzen können diese durch Änderung der Fahrdrachtseitenverschiebung reduziert oder ganz vermieden werden.
- Wenn bei Fahrzeugen das Wankverhalten am Stromabnehmer bekannt ist, kann die Simulation der Befahrung Aussagen über die Lage des Fahrdrachtes am Stromabnehmer liefern, um damit Aussagen über den möglichen Einsatz des entsprechenden Fahrzeuges treffen zu können.
- Diese Untersuchungen können mit unterschiedlich breiten Stromabnehmerwippen durchgeführt werden.

8 Vorgaben für dynamische Simulationen

Im Zuge der Projektierung werden auch Dateien mit den Kettenwerksdaten erstellt, die für die dynamische Simulation des Zusammenwirkens von Oberleitung und Stromabnehmern gemäß EN 50318 [7] erforderlich sind. Diese Dateien können in Programme für die dynamische Simulation eingelesen und dort weiterverarbeitet werden. Dynamische Simulationen können daher mit den tatsächlichen Werten für das jeweilige Kettenwerk und die Gleisgeometrie durchgeführt werden. Damit können sowohl vorgegebene Streckenabschnitte geprüft als auch Systemuntersuchungen durchgeführt werden. Auch im Hinblick auf die dynamische Simulation wurde das Ziel verwirklicht, alle Daten aus einer einmal erstellten Eingabedatei abzuleiten und somit Redundanzen und Übertragungsfehler zu vermeiden.

Literatur

- [1] Richtlinie 96/48/EG: Richtlinie über die Interoperabilität des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems. In: Amtsblatt der europäischen Gemeinschaften (1996), S. L235/6–L235/24.
- [2] Grunder, H. u. a.: Rechnergestützte Fahrleitungsprojektierung beim Umbau des Bahnhofs Spiez. In: Elektrische Bahnen 91 (1993), H. 4, S. 125–130.
- [3] Puschmann, R.; Burkert, W.: System zur interaktiven Projektierung von Oberleitungsanlagen. In: Elektrische Bahnen 93 (1995), H. 3, S. 104–109.
- [4] Entscheidung 2002/733/EG: Technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems Energie des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems. In: Amtsblatt der europäischen Gemeinschaften (2002), S. L245/280–L245/369.
- [5] EN 50119:2008: Bahnanwendungen – Ortsfeste Anlagen – Oberleitungen für den elektrischen Zugbetrieb.
- [6] EN 50367:2006: Bahnanwendungen – Zusammenwirken der Systeme – Technische Kriterien für das Zusammenwirken zwischen Stromabnehmer und Oberleitung für einen freien Netzzugang.
- [7] EN 50318:2002: Bahnanwendungen – Stromabnahmesysteme – Validierung von Simulationssystemen für das dynamische Zusammenwirken zwischen Stromabnehmer und Oberleitung.



Ing. *Gerhard Hofbauer* (52), Studium der Elektrotechnik an der Höheren Technischen Bundeslehr- und Versuchsanstalt Mödling. 1981 bis 1995 Projektierung und Errichtung von Oberleitungen bei AEG Austria für Nah- und Fernverkehr. 1996 bis 1997 Leiter Fahrleitungsbau bei ABB Daimler Benz Transportation Austria GmbH. Seit 1998 Leiter Fahrleitungsbau bei ALPINE-ENERGIE Österreich GmbH. Entwicklung von Spezialsoftware für Planung, Projektierung, Materialwirtschaft, Baustellenabwicklung, Projektkalkulation und Abrechnung im Oberleitungsbau.

Adresse: ALPINE-ENERGIE Österreich GmbH,
Winetzhammerstr. 6, 4030 Linz, Österreich;
Fon: +43 7435 58961-0, Fax: -15;
E-Mail: gerhard.hofbauer@alpine-energie.com



Werner Hofbauer (23), Studium der Elektronik und Informatik an der Höheren Technischen Lehranstalt Hollabrunn. Seit 2005 Studium der Elektrotechnik an der Technischen Universität Wien. Freiberufliche Mitarbeit als Softwareentwickler mit dem Verantwortungsbereich Datenverwaltung und grafische Aufbereitung der Ein- und Ausgabedaten bei der Weiterentwicklung von FLTG.

Adresse: Lärchenweg 6, 2020 Hollabrunn,
Österreich;
Fon: +43 2952 4312; Fax: +43 2952 4312;
E-Mail: wgh@aon.at