



CAD-Programm für Fahrleitungsanlagen GA-wire® Fahrleitungsplanung nach EN-50119



CAD-Programm für Fahrleitungsanlagen GA-wire[®], Fahrleitungsplanung nach EN-50119.



Von Dr.-Ing. Alexander Walter und Dipl.-Ing. Detlef Jantz, Fellbach

Planungssoftware GA-wire[®] – Fahrleitungsentwurf, Fahrdrahtlage mittels eines 3D-Gleis- bzw. 3D-Straßen-Modell planen – Fahrdraht-Tragseil-Höhenlage an 3D-Umgebung anpassen und optimieren – Ausführungs-Planung, Tragwerke als 3D-Modell konstruieren, statische Berechnung von Tragwerken – Mast- und Fundamentberechnung – Prüffähige Unterlagen, Querprofilerstellung, Visualisierung – Montage Vorbereitung, Konstruktionszeichnungen, Stücklisten

Die Planung von Fahrleitungsanlagen stellt an den Planer eine Herausforderung in zweierlei Hinsicht dar. Zum einen sind dies die planerischen Aufgaben unter Berücksichtigung der geographischen Situation, von Witterungseinflüssen und von Kundenvorgaben. Diese Aufgaben können mit Hilfe des Software-Programms GA-wire[®] in kürzester Zeit mit optimalen Ergebnissen bewältigt werden. Seit dem Jahr 2010 ist die neue europäische Norm EN 50119 in Kraft, die die Gestaltung und Dimensionierung von Fahrleitungsanlagen in wesentlichen Teilen neu geregelt hat. Unsere Software ist dementsprechend aktualisiert und an die neue Norm angepasst.

1. Planungssoftware GA-wire[®]

Das Programmpaket zur Fahrleitungsplanung und -berechnung GA-wire[®] ist seit 1994 erfolgreich im praktischen Planungseinsatz. Mit ihm lassen sich Konstruktionen und Verläufe von Fahrleitungen sowie die zugehörigen Tragwerkskonstruktionen, Masten und Gründungen berechnen. Das Programm GA-wire[®] zeichnet sich durch folgende Merkmale aus:

3D-Modell der Fahrleitungsanlage basierend auf:

- 3D-Vermessungsdaten (z.B. Laserscanndaten)
- 3D-Gleisgeometrie
- CAD-Umgebungspläne bzw. Pläne von Versorgungsleitungen

Fahrleitungsbauweisen:

- Hochkettenfahrleitungen
- Flachkettenfahrleitungen

Fahrleitungsarten

- Straßenbahn
- Trolleybus

Planung und Berechnung von

- Bestand (Standicherheit für Fundamente)
- Neubau
- Umbau
- Bauphase
- Varianten-Untersuchung und Vergleich

Modellieren, Konstruieren und Berechnen von Verschiedenen Tragwerkkonstruktionen

- Ausleger
- Seiltragwerke
- Komplexe Fahrleitungskreuzungen
- Tragwerke für Straßenbeleuchtungen

Schnittstellen für Datentransfer

- Protokolle mit Ergebnissen von statischen Berechnungen
- Protokolle mit Tragwerksgeometrie
- Protokolle für Mast- und Wandbefestigungen

Benutzerspezifische Anpassungen

- Erstellen von Konstruktionszeichnungen
- Datenbank Fahrleistungskomponenten

Präsentation und Visualisierung

- Datenbereitstellung für Google Earth

2. Fahrleitungsentwurf, Fahrdrahtlage mittels eines 3D-Gleis- bzw. 3D-Straßen-Modells planen

Für schienengebundene Bahnen ist eine korrekte Eingabe der Gleisgeometrie entscheidend. Von der Gleisgeometrie hängt die Planung des Fahrdrahtverlaufes und die Auswahl der Aufhängepunkte ab. Die Gleisgeometrie kann im Programm in Form verschiedener Modellen dargestellt werden:

CAD-Programm für Fahrleitungsanlagen GA-wire®, Fahrleitungsplanung nach EN-50119.



- die Gleisachse in Form einer CAD Polylinie und die Überhöhung der Schienen (in Form von Punkten mit entsprechender Z-Koordinate),
- Gleisachse in Verbindung mit einer Gleisgradienten,
- Schienen als 3D-Polylinien.

Das Programm beinhaltet eine Fahrzeugbibliothek mit den geometrischen Daten verschiedener Fahrzeugtypen (Bild 1). Das Programm berechnet dann automatisch die „Fahrdrachse“ – der Weg, der vom Mittelpunkt des Stromabnehmers tatsächlich gefahren wird – sowie die Fahrzeuggrenzlinien, die das Lichtraumprofil des Fahrzeuges bilden. Auf Basis der Gleisgeometrie kann der Fahrdrachtverlauf mit Hilfe der Standardfunktionen der CAD-Systeme manuell festgelegt werden. Darüber hinaus bietet das Programm die Möglichkeit den Zick-Zack automatisch zu verlegen.

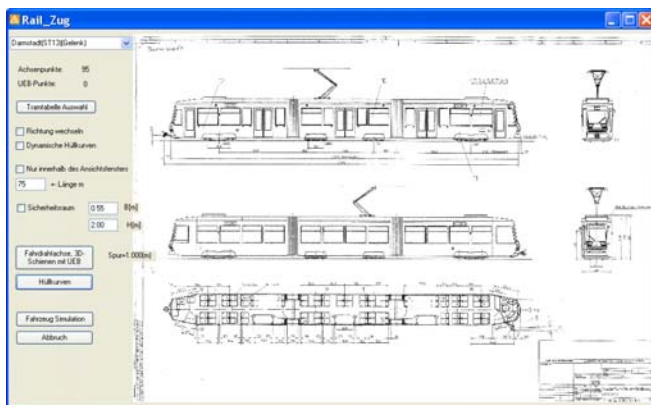


Bild 1.1: Fahrzeugbibliothek/Fahrzeugsimulation

Die automatische Funktion optimiert den Fahrdrachtverlauf bei relativ freien Strecken. In Streckenabschnitten in innenstädtischen Bereichen bzw. Kreuzungen ist die manuelle Methode, wegen der großen Anzahl der Zwangspunkte, sinnvoller.

In beiden Fällen kann der Fahrdrachtverlauf geprüft werden. Hierbei handelt es sich um eine Animation der Fahrzeugbewegung entlang der Gleisachse. Dabei werden die Gleisneigung und die Bewegungen des Fahrzeuges simuliert. Diese Animation ist sehr nützlich für die visuelle Kontrolle der Fahrdrachtlage in Bezug auf den Stromabnehmer. Gleichzeitig entsteht ein Balkendiagramm, das den Stromabnehmerverschleiß graphisch darstellt. Die Bereiche der Strecke, an der der Fahrdracht keinen Kontakt mit dem Stromabnehmer hat, werden farbig markiert. Das erleichtert dem Benutzer die Orientierung und gibt ihm die Möglichkeit, aufgetretene Fehler zu korrigieren.

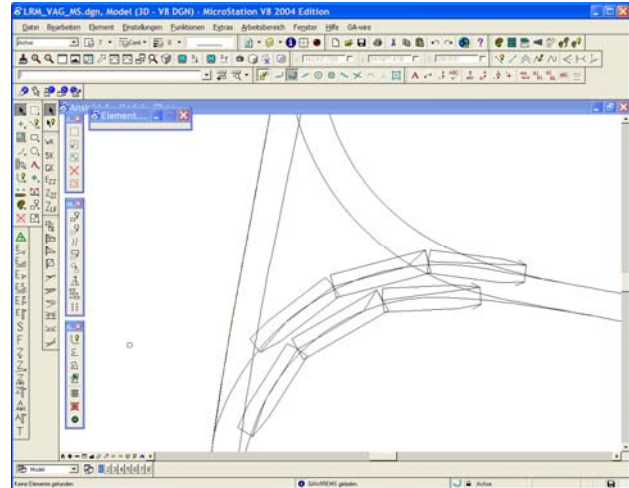


Bild 1.2: Fahrzeugbibliothek/Fahrzeugsimulation

3. Fahrdracht-Tragseil-Höhenlage an 3D-Umgebung anpassen und optimieren

Um eine fehlerfreie Stromübertragung zwischen dem Fahrdracht und dem Stromabnehmer zu gewährleisten muss die Fahrleitungsanlage so ausgelegt werden, dass die Kontaktkraft zwischen den beiden o.g. Komponenten während der Fahrt eine konstruktiv bedingte minimale Kraft nicht unterschreitet.

Diese Grenze hängt von mehreren Faktoren (Strom und Spannung, Konstruktion des Stromabnehmers, Fahrdrachtzugkraft) ab. Ein Stromabnehmer ist mit einer mechanischen, hydraulischen oder elektrischen Einrichtung ausgestattet, die eine bestimmte Druckkraft gegen den Fahrdracht ausübt. Diese Druckkraft bewirkt bei der Fahrt eine Anhebung des Fahrdrachtes und der Befestigungsarmaturen der Fahrleitungsanlage. Das kann in einigen Fällen zu unerwünschten Kollisionen zwischen dem Stromabnehmer und einem Tragwerkelement oder zwischen den Tragwerkelementen führen. Die Fahrleitungsanlage muss demnach so konstruiert werden, dass die Fahrdracht - Anhebung sogar unter kritischen Bedingungen möglichst gering bleibt. Ein spezielles Programmmodul führt die notwendige Überprüfung und ggf. die Optimierung der Fahrdrachthöhen in den Stützpunkten durch.

CAD-Programm für Fahrleitungsanlagen GA-wire[®], Fahrleitungsplanung nach EN-50119.

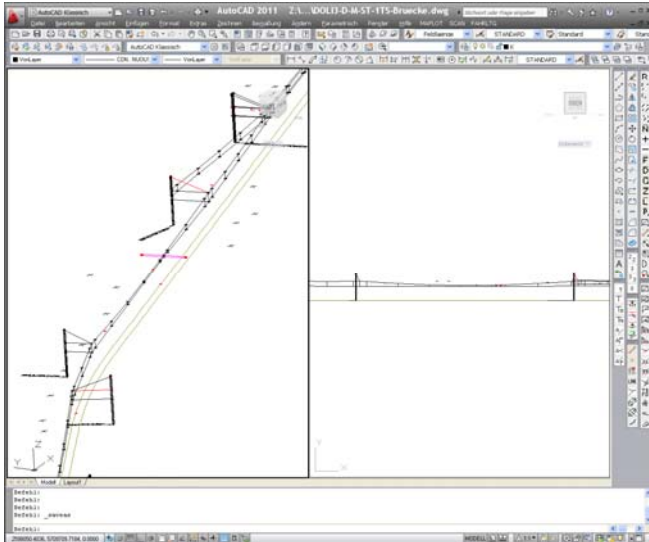


Bild 2: Fahrdrahthöhen-Optimierung bzw. Anpassung an die Umgebung (Brückenunterführung)

- Ausleger über ein oder mehrere Gleise für Hoch- und Flachkettenfahrleitung
- Quertragwerke über ein oder mehrere Gleise mit und ohne Richtseil
- Hochkette mit Hängern (Bild 3)

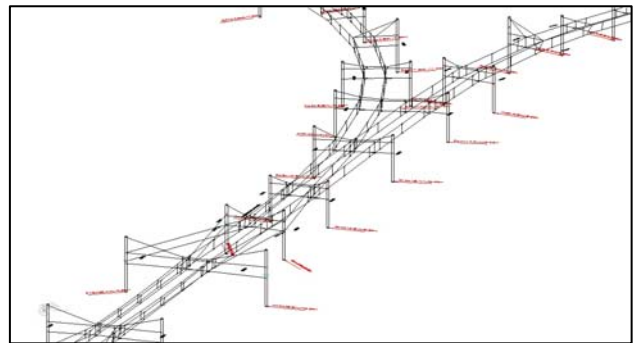


Bild 3: 3D-Modell Fahrleitungsanlage Hochkette, Straßenbahn

4. Ausführungsplanung, Tragwerke als 3D-Modell konstruieren, statische Berechnung von Tragwerken

Das Modul für die statische Berechnung von Tragwerken ist ein wesentlicher Teil des Programmpaketes **GA-wire[®]**.

Bei der Eingabe von Tragwerken werden die Standardfunktionen „LINIE“ und „PUNKT“ der CAD-Systeme verwendet. Alle Seile, Drähte und Stäbe werden zunächst als CAD Linien gezeichnet. Dann werden diesen Linien physikalische Eigenschaften zugewiesen. Die physikalischen Daten können aus einer integrierten Datenbank schnell und einfach übernommen werden. Diese Datenbank kann vom Benutzer jederzeit geändert und erweitert werden.

Das Berechnungsschema des Tragwerkes kann vom Anwender frei definiert werden. Die räumlichen Koordinaten der Befestigungs- und Knotenpunkte können in beliebigen Kombinationen entweder festgelegt oder freigegeben werden, das gleiche gilt für die Seilsteigungen. Die Zugspannung des Fahrdrahtes kann je nach Ausführung für festverlegten oder nachgespannten Fahrdraht definiert werden. Die Seiltragwerke können sowohl mit, als auch ohne Feder berechnet werden. Die Gewichte für Armaturen können zusätzlich in jedem Punkt festgelegt werden. Es gibt dabei keinerlei Beschränkungen seitens der Komplexität oder Elementanzahl des Tragwerkes. Zur Erleichterung der Dateneingabe und der Tragwerkdefinitionen bietet **GA-wire[®]** eine Reihe von vorprogrammierten Konstruktionen:

Im Modul „Statische Berechnung“ wird eine neue dynamische Strategie verwendet, die sich wesentlich von den bekannten Verfahren unterscheidet. Diese Strategie ist von der Konfiguration des Tragwerkes unabhängig.

Jedes Tragwerk wird als ein Netz aus Linien und Punkten mit den individuellen Definitionen betrachtet. Das Programm analysiert jeden Iterationsschritt im Laufe der Berechnung. Auf Grund dieser Analyse werden die Richtung und die Größe des nächsten Iterationsschrittes entschieden. Das Programm versucht alle im Berechnungsschema definierten Vorgaben (konstante Kräfte, fixierte Punktkoordinaten usw.) zu erfüllen, indem die freigegebenen Parameter (Kräfte, Koordinaten der Knotenpunkte, Höhen der Mastbefestigungen usw.) schrittweise dynamisch geändert werden. Die Berechnung wird so lange wiederholt bis die vorgegebene Genauigkeit (in der Regel ist eine Abweichung von 3% ausreichend) erreicht wird. Falls diese Genauigkeit nicht erreicht werden kann wird der Benutzer aufgefordert die Konstruktion des Tragwerkes oder die Vorgaben für das Berechnungsschema zu ändern und die Berechnung zu wiederholen. (Bild 4)

CAD-Programm für Fahrleitungsanlagen GA-wire®, Fahrleitungsplanung nach EN-50119.

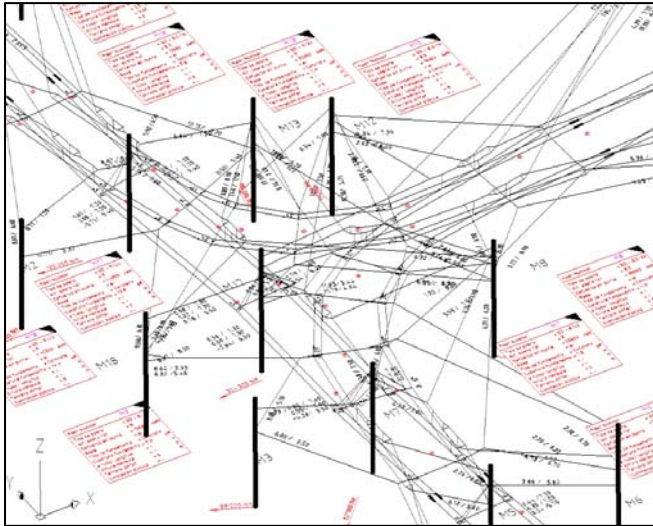


Bild 4: 3D-Modell Fahrleitungsanlage Trolleybus

Nachdem die Konstruktionsberechnung (Ermittlung der Kräfte, Höhen der Befestigungspunkte, Koordinaten der Knotenpunkte) abgeschlossen ist, wird eine Berechnung mit Zusatzlasten durchgeführt. Die zusätzliche Belastung (Temperatur, Eis- und Windlast) kann der Benutzer selbst definieren (Bild 5).

Nach der Norm EN-50119 werden folgende Lastfälle definiert:

- minimale Umgebungstemperatur (z.B. -25°C)
- Windlast (z.B. 26m/s bei $+5^{\circ}\text{C}$)
- Eislast ohne Wind (z.B. leichte Last bei -5°C)
- Wind und Eislast kombiniert (z.B. bei $-5^{\circ}\text{C}, 26\text{m/s}$)

Die Windrichtung kann individuell, je nach Lage des Tragwerkes, definiert werden.

Das Programm rechnet dann nicht nur die veränderten Kräfte, sondern auch die neue Lage, bzw. Höhe des Fahrdrahtes unter Zusatzbelastung aus.

Für die nachgespannte Fahrleitung kann die Temperaturdehnung des Fahrdrahtes und die daraus resultierende Rückstellkraft errechnet werden. Das Ergebnis dieser Berechnung kann für die Bestimmung der Nutzungsdauer der Fahrdrähte verwendet werden.

Mit Hilfe von **GA-wire**®-Funktionen können Beschriftungen für Kräfte, Spitzenzüge und Höhen in der Zeichnung platziert werden. Die Beschriftungen sind durch interne CAD Referenzen mit den entsprechenden Elementen verknüpft, so dass bei Änderungen des Projektes eine Aktualisierung erfolgen kann.

Anhand der errechneten Kräfte werden Tragwerksseile und Auslegerstäbe bemessen. Auf

Druck belastete Auslegerstäbe werden zusätzlich nach der Theorie 2. Ordnung und dem Omega-Verfahren auf Knickbelastung überprüft und bemessen.

	Lastfl.1	Lastfl.2	Lastfl.3	Lastfl.4	Lastfl.5	Lastfl.6	Lastfl.7
Bezeichnung	LF1	LF2	LF3	LF4	LF5	LF6	LF7
Temperatur [°]	10.0	-25.0	5.0	5.0	-5.0	-5.0	-5.0
Zusatzlast x VDE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5
Windgeschw. [m/s]	0.0	0.0	26.0	26.0	0.0	26.0	26.0
Windrichtung [°]	0.0	0.0	268.6	88.6	0.0	268.6	88.6
Lastfall berechnen	LF234567						

Buttons: Berechnen, Abbrechen, Text-Block zeigen

Bild 5: Lastdefinition nach EN-50119

5. Mast- und Fundamentberechnung

Der Programmbaustein für die Mast- und Fundamentberechnung basiert auf zwei Teilen:

1. Räumliche Berechnung der Spitzenzüge und Erstellung einer Protokolldatei im CAD-System.
2. Übernahme der Daten und Dimensionierung der Masten und Fundamente mittels Excel.

Die Berechnung des Spitzenzuges erfolgt automatisch im CAD-System. **GA-wire**® berücksichtigt dabei alle mit dem Mast verbundenen Seile, bzw. Stäbe. Auf Basis der Kräfte mit entsprechenden Richtungen und Höhen wird der resultierende Spitzenzug und die ungünstigste Belastung ermittelt. Die Masthöhe kann vom Benutzer vordefiniert oder vom Programm automatisch ermittelt werden.

Die Daten werden in Form einer Excel-Tabelle erfasst und mit einem VBA-Programm verarbeitet. Das Programm übernimmt die Dimensionierung von HEB und HEM Profilen. Zusätzliche Seitenplatten zur Verstärkung der Profile können ebenfalls eingerechnet werden. Der Benutzer kann den Sicherheitsfaktor, die zulässige Mastbiegung und auch die Windbelastung auf den Mast vorgeben. Als Ausgangsdaten dienen: der Spitzenzug, die freie Mastlänge und die Orientierung des Profils in Bezug auf die resultierende Kraft (Bild 6).

Gleichzeitig mit der Mastberechnung dimensioniert das Programm Köcherfundamente. Die Fundamenttiefe wird automatisch ausgewählt oder ist vom Benutzer zu definieren. Im letzten Fall passt das Programm die übrigen Abmessungen an. Dabei wird eine Kontrolle nach verschiedenen Grenzwerten durchgeführt, um mögliche Fehler wie z.B. zu gering angegebene Fundamenttiefen festzustellen. Die Berechnung kann nach den Methoden „Süberkrüb“ und „Steckner“ erfolgen.

CAD-Programm für Fahrleitungsanlagen GA-wire®, Fahrleitungsplanung nach EN-50119.



Bohrpfahlnachweis (Blum)

Projekt: Frankfurter Bogen
Mast Nummer: M0881
Profiltyp: HEM 240 - 10,5
h (Freie Länge über SOK): 7,90 m
Fz (Spitzenzug gerechnet): 10,50 kN

Sf (Endablangung): 1,15
F_{gw} (Fz * Sf + Windlast): 15,00 kN
F_{ges} (Fz * Sf + Windlast * Sf): 15,00 kN
Φ (axialer Richtbeiwert): 20,0 °
γ' (Wichte unter Auftrieb): 9,0 kN/m³
e (e-Maß): 0,50 m
T1 (nichttragfähig): 1,50 m
L2 (Rohrlänge): 6,00 m
σ_{zul}: 160 N/mm²
D (Rohrdurchmesser): 610 mm
S (Wandstärke): 8 mm
L2 min. (Rohrlänge) = T₀ * 1,2 + T₁: 5,74 m
T₀: 3,53 m

Kph: Auswahl aus Tabelle: 2,04
Fw: Kph x γ': 18,36
K1: Fges x 24 / Fw: 19,61
K2: T₀³ x ((Dx4+T₀)/(h+T₁+T₀)): 19,61

L2 > L2 min
Pfahlänge ausreichend

Stelle des größten Moments X_m (m): 1,26
F_{ges} = (Fw x (X_m+3xD) x X_m²)/6
Das maximale Biegemoment M_{max} (kNm): 131,74
M_{max}=(Fw/24) x X_m² x [3 x X_m² + X_m x (4 x h + 8 x D) + 12 x D x h]
J_x - Trägheitsmoment (cm⁴): 68551
W - Widerstandsmoment (cm³): 2248
Maximale Spannung im Rohr σ_{max} (N/mm²): 58,6
σ_{max} = M_{max} / W

Auslastung Sigma_{max}/σ_{zul}: 37 %

GA-EAS 17.08.2010

Mastnachweis

Mast Nummer: M0881
Profiltyp: HEM 240
Freie Länge über FOK (L_{FOK}): 8,40 m
Spitzenzug gerechnet(F): 10,50 kN
Einstellwinkel (α): 0 °
Sicherheitsbeiwert (Si): 1,35
Endablangung (Sf): 1,15

W_x (Widerstandsmoment): 1800 cm²
W_y (Widerstandsmoment): 657 cm²
f_{zul}: 235 N/mm²
B: 248 mm
H: 270 mm
I_x (Flächenträgheitsmoment): 24290 cm⁴
I_y (Flächenträgheitsmoment): 8150 cm⁴
E: 21000 N/mm²

Windbelastung:
d (Peiner-Diagonale): 367 mm
v (Windgeschwindigkeit): 26 m/s
W_s (Windspitzenzug): 1,82 kN
F_{ges}: F' * Sf + W_s: 15 kN
M_{ges}: L_{FOK} x F_{ges}: 126 kNm
M_x: cos α * M_{ges}: 126 kNm
M_y: sin α * M_{ges}: 0 kNm
M_{ax}: M_x x Si: 170,1 kNm
M_{ay}: M_y x Si: 0 kNm
f_x: M_{ax} x 1000 / W_x: 94,5 N/mm²
f_y: M_{ay} x 1000 / W_y: 0 N/mm²
f: f_x + f_y: 94,5 N/mm²
Auslastung: f / f_{zul}: 40 %

Mast ausreichend

B_x (Biegung X-Achse): M_x * L² / (3 * E * I_x): 5,8 cm
B_y (Biegung Y-Achse): M_y * L² / (3 * E * I_y): 0,0 cm
Biegung gesamt: 5,8 cm
0,69 %

GA-EAS 13.01.2011

Bild 6: Mast- und Fundament-Berechnung

Bodenkennwerte können für jeden Standort individuell festgelegt werden. Immer größere Bedeutung haben Bohr- / Rammrohrfundamente. Mit **GA-wire®** besteht die Möglichkeit diese Rohre nach „Blum“ zu dimensionieren. Auf Grundlage der Bodenkennwerte und der zugelassenen Rohrbiegung wird die Auslastung und die minimal erforderliche Wandstärke des Rohres bestimmt. So kann der Benutzer eine Optimierung des Rohres vornehmen. Sehr wichtig sind dabei zuverlässige Bodenkennwerte, welche aus einem Bodengutachten übernommen werden sollten.

6. Prüffähige Unterlagen, Querprofilerstellung, Visualisierung.

Für die erforderliche Prüfung der Tragwerksstatik sind umfangreiche Unterlagen notwendig. Das **GA-wire®** 3D-Modell bietet eine gute Basis für weitere Berechnungen bzw. Dokumentationen. Das Zusatzmodul „Querprofile“ generiert halbautomatisch die Tragwerksquerschnitte mit folgenden Inhalten:

In der schematischen Draufsicht

- Fahrdraht- / Tragseil-Winkel
- Feldlängen
- Fahrdraht- und Tragseil-Typ

In der schematischen Seitenansicht

- Schienen (Lage und Überhöhung)
- Vereinfachte Darstellung der Tragwerkselemente
- Bemaßung der relevanten Tragwerkselemente
- Darstellung von HE-Profilen
- Darstellung der Mastfundamente mit Bemaßung

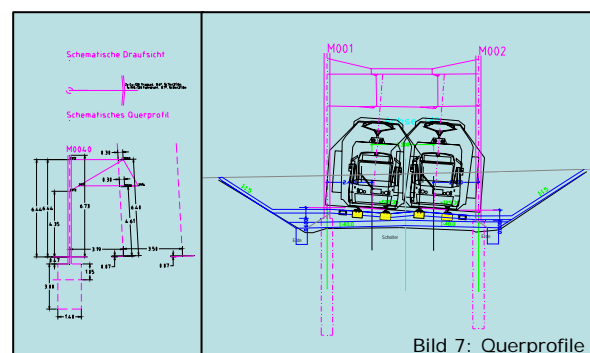


Bild 7: Querprofile

CAD-Programm für Fahrleitungsanlagen GA-wire®, Fahrleitungsplanung nach EN-50119.



Die Querprofile ermöglichen eine sehr gute Kontrolle der statischen Berechnung. Die Querprofile stellen einen Teil der prüffähigen statischen Unterlagen dar. Weiterhin wird durch diese Veranschaulichung das Nachrechnen von Hand unterstützt und leichter nachvollziehbar.

Wird Microstation als CAD Programm eingesetzt, so kann das mit GA-wire® erstellte 3D-Modell direkt in Google Earth eingebunden werden und zur Veranschaulichung der Anlage in der Örtlichkeit dienen. (Bild 8)



Bild 8: Visualisierung einer Fahrleitungsanlage in Google Earth

7. Montage Vorbereitung, Konstruktionszeichnungen, Stücklisten

Mittels einer Schnittstelle werden die relevanten Daten des GA-wire 3D- Tragwerksmodells vom Modul „Statik“ in das Modul „Montagezeichnungen“ übertragen. Mit diesen Informationen können Montagezeichnungen entweder im Dialog oder vollautomatisch erstellt werden. Voraussetzung für die interaktive Erstellung ist eine Bibliothek der einzelnen Komponenten und Systeme. Jede Komponente ist als Block mit Attributen dargestellt. In den Attributen sind Bestellnummer, Artikelbezeichnung und die notwendigen logischen Verknüpfungen enthalten. Bei Komponenten mit variablen Längen (z.B. Auslegerrohre) können evt. vorhandene Bestellnummern für Passlängen automatisch ermittelt werden. Für die Montagezeichnung wird die entsprechende Stückliste erstellt. Aus den Einzelstücklisten können projektbezogene Gesamtstücklisten erstellt werden.

Die Verwendung von parametrisierten dynamischen Blöcken erleichtert und beschleunigt die interaktive Anpassung einzelner Systeme.

Montagezeichnungen können auch vollautomatisch generiert werden. Die entsprechenden Regeln werden in einem Excel-Berechnungsblatt mittels Excel-Formeln vom Benutzer erstellt. Da der Aufwand für eine entsprechende Programmierung relativ hoch ist, lohnt sich diese Vorgehensweise nur bei größeren Wiederholungsraten.

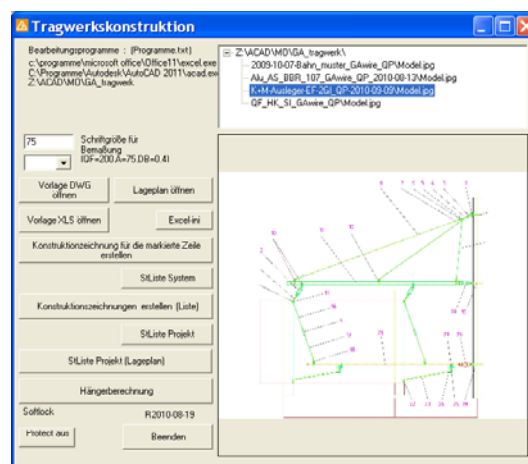


Bild 9: Generieren von Konstruktionszeichnungen und Stücklisten

Ausleger				
Pos.	Bestell-Nr.	Benennung	Einheit	Menge
1	100137	Mastisolation für Breitflanschmaste mit Fussplatte	Stck	2
2	120095	Aufhängung für 1 oder 2 Leiter an Rohr, < 9°	Stck	2
3	C1828-01	Auslegerisolator mit Lappen komplett, Porzellan, 1rillig an Rohr G2"	Stck	4
4	C1830-01	Auslegerisolator mit Lappen komplett, Porzellan, 1rillig an Rohr G1.5"	Stck	2
5	D1480-01	Mastplatte	Stck	2
6	D2336-01	Befestigungsanschluss komplett, Mit Bügelschraube, an Rohr G2"	Stck	2
7	D2338Z01	Befestigungsanschluss komplett	Stck	2
8	D2351-01	Rohranschluss mit Lappen, komplett, An Rohr G2" und 2" Schedule 40	Stck	2
9	D2358-04	Mastbride universal mit Gabel, komplett, An HEB 220	Stck	6
10	D2458-07	Auslegerrohr, Stahl I-verz G2", L min. = 1,00 m, L max.= 12,00 m	Stck	1
11	D2458-09	Auslegerrohr, Stahl I-verz G2", L min. = 1,00 m, L max.= 12,00 m	Stck	1
12	D2461-04	Strebenrohr, Stahl I-verz G2", L min. = 1,00 m, L max.= 5,00 m	Stck	2
13	D2463-14	Tragrohr, Stahl I-verz G1.5", L min. = 0,50 m, L max.= 6,00 m	Stck	2
14	D3123-03	Spurhalter	Stck	2
15	D3124-01	Stützklemme am Auslegerrohr 2,5"	Stck	2
16	E3183-03	FD-Klemme	Stck	2
17	HEB-220	Peiner-Mast HEB-220	Stck	2

Die Autoren:

Dr.-Ing. Alexander Walter ist seit 1993 verantwortlich für die Softwareabteilung der GA Energieanlagenbau Süd.

Dipl.-Ing. Detlef Jantz ist seit 1988 Projektleiter für die Fahrleitungsplanung der GA Energieanlagenbau Süd.