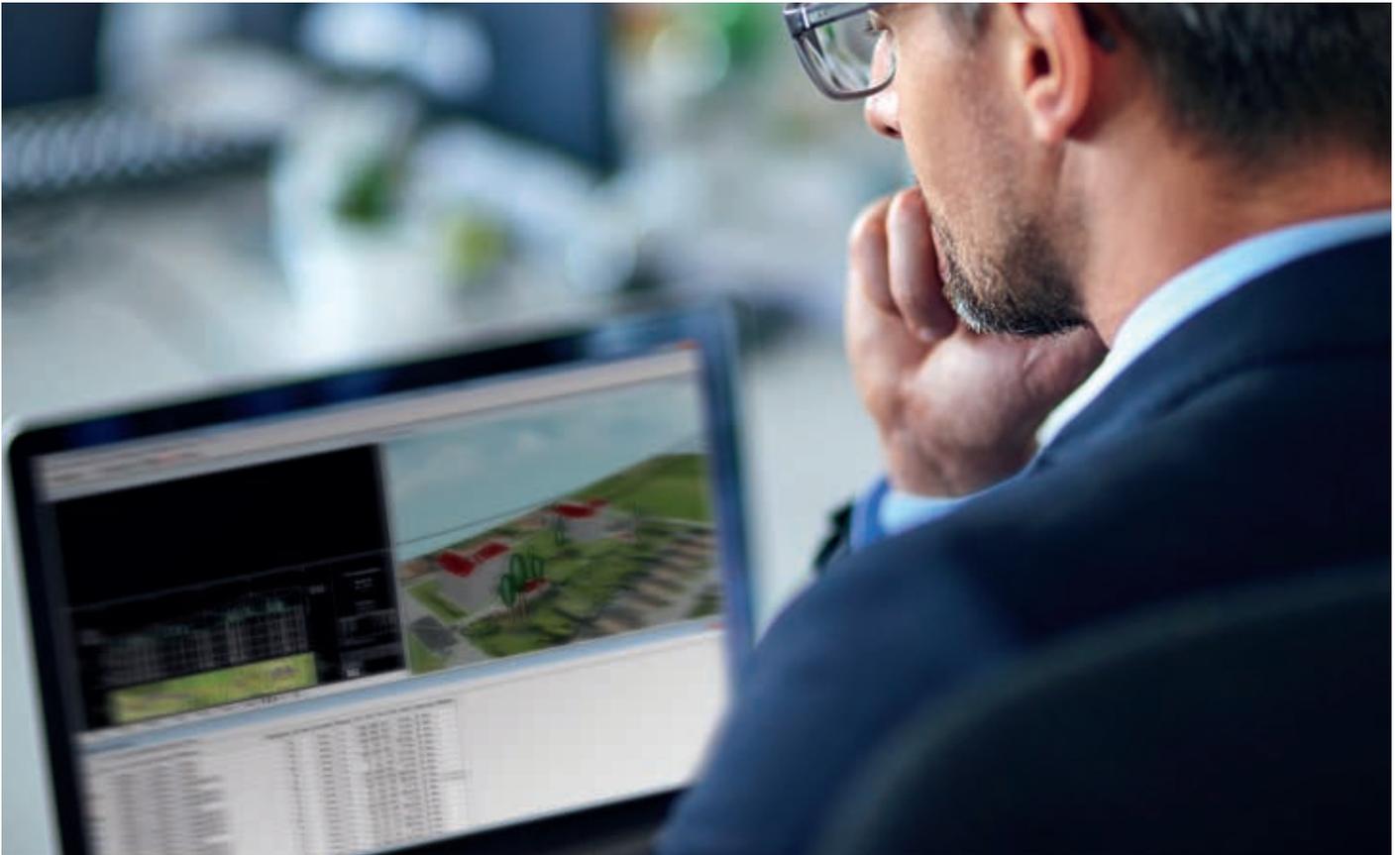


PLANUNGS- UND DOKUMENTATIONS-SOFTWARE FÜR FREILEITUNGEN **FM PROFIL**



BERECHNUNG UND DARSTELLUNG VON FREILEITUNGS- UND KABELPROFILIEN



FMPROFIL ist ein Grafik- und Berechnungsprogramm zur Erstellung von Freileitungs- und Kabelprofilen. Die Längenprofile werden auf der Grundlage von Daten aus der terrestrischen Vermessung oder der Befliegung generiert.

Am Bildschirm erfolgt eine parallele Ausgabe der alphanumerischen Daten und der grafischen Profile. Alle Daten eines Abspannabschnittes sind nach Satztypen thematisch in Tabellen gegliedert. Aus den Daten werden ein zwei- und ein dreidimensionales Längenprofil generiert. Die Interaktivität zwischen den alphanumerischen Daten und den grafischen Profilen ermöglicht optimale Erfassungs- und Bearbeitungsbedingungen.

Aus den Profildaten können Nebenzeichnungen wie z.B. Winkelbilder, Mastskizzen, Ausschwingbilder, Kreuzungsboxen und Querprofile automatisch generiert werden. Jede Änderung im Abspannabschnitt führt automatisch zu einer Aktualisierung aller Nebenzeichnungen.

FMPROFIL ist das ideale Werkzeug zur Planung und Trassierung von Freileitungen.

Für die Planung und Errichtung von Freileitungen gelten nationale und internationale Vorschriften. Die Freileitungsnorm regelt unter anderem die Bedingungen für die inneren und äußeren Abstände. Mindestabstände innerhalb des Gestänges müssen gegeben sein, um Annäherungen bis zum Überschlag zu vermeiden. Abstände zum Gelände und zu beweglichen und festen Objekten müssen die Sicherheit der Öffentlichkeit gewährleisten. Dabei sind die Abstände abhängig von der Leiterseiltemperatur und von meteorologischen Einflüssen wie Wind und Eis.

Im Zuge der Freileitungstrassierung lassen sich mit FMPROFIL alle relevanten Durchhänge und Abstände berechnen sowie Grenzwerte prüfen. Die Berechnungen können nach dem Verfahren der Kettenlinie und der ideellen Spannweite auf der Grundlage verschiedener Normen erfolgen. Die Abstandsberechnungen werden entsprechend den geometrischen Figuren der Kreuzungsobjekte zu Punkten, Linien oder Flächen durchgeführt. Kreuzende und parallele Freileitungen lassen sich aus vorhandenen Profildateien importieren und berechnen.

In Abhängigkeit von der eingestellten Berechnungsnorm, der Objektklasse des Kreuzungsobjektes und der Nennspannung des jeweiligen Seiles werden automatisch die relevanten Lastfälle und Grenzwerte ermittelt. Die kritischsten Berechnungsergebnisse werden grafisch dokumentiert. Werden bei der Abstandsberechnung Grenzwertunterschreitungen festgestellt, werden diese gekennzeichnet.

Die Grafikattribute aller Zeichenelemente sind in Zeichenvorschriftsdateien hinterlegt. In Konfigurationsdateien werden projektspezifische Einstellungen festgelegt und Parameterdateien wie Zeichenvorschriftsdateien, Seilstammdateien und Masttypbibliotheken ausgewählt. Der Wechsel zu einem anderen Trassierungsprojekt erfolgt durch Umschaltung der Konfiguration.

LEISTUNGSMERKMALE GRAFIK

- Erstellung von Freileitungs- und Kabelprofilen
 - Datenimport aus der terrestrischen Vermessung und der Befliegung
 - 2D- und 3D-Darstellung des Längenprofils
 - Grafische und alphanumerische Bearbeitungsfunktionen
 - Automatische Generierung von Nebenzeichnungen
 - Variantentechnik
 - Import- und Exportfunktionen
 - Variable Zeichenvorschriften, Längen- und Höhenmaßstäbe
 - Grafikeditor zur Bearbeitung von Symbolen
 - Mehrsprachige Benutzeroberfläche
-

INTEGRIERTE NORMEN

- DIN VDE 0210 ab 05/62
 - TGL 200-0614 05/76, 09/87 (DDR)
 - ÖVE-L 11/67, 11/79 (Österreich)
 - ÖVE/ÖNORM 09/02 (Österreich)
 - PN-E 05100 01/98 (Polen)
 - PN-EN 02/10 WN (Polen)
 - LeV 07/98 (Schweiz)
-

LEISTUNGSMERKMALE BERECHNUNG

Berechnung

- Abstände zu Punkten, Linien, Flächen
- Phasennäherungen
- Abstände zu parallelen und kreuzenden Freileitungen
- Spanntabellen
- Parallele und parabolische Schutzstreifen
- Kräfte und Kettenauslenkungen am Aufhängepunkt

Prüfung

- Mindestabstände
- Kettenhochzüge
- Maximal zulässige Zugspannungen

Berücksichtigung

- Seilalterung
 - Einzellasten am Seil
 - Zusatzgewichte am Isolator
-

MODUL 3D-LASERSCANNING

Alternativ zur klassischen Tachymeteraufnahme gewinnt das Airborne Laserscanning immer mehr an Bedeutung. Das Laserscanningverfahren ist schnell, liefert Daten mit einer hohen Punktdichte und einer guten Genauigkeit sowie aktuelle Orthofotos. Unwegsame und versperrte Gebiete müssen nicht betreten werden. Die Aufnahme aus der Luft erfolgt unauffällig und effizient.

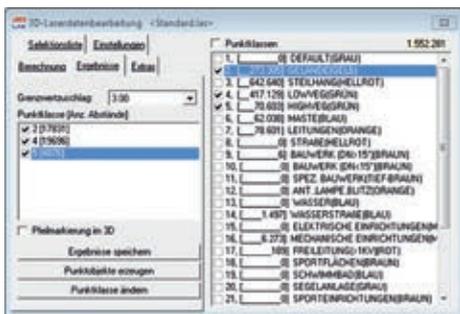


Abb. 1: 3D-Laserdatenbearbeitung

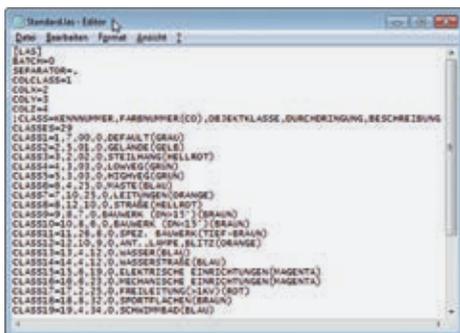


Abb. 2: Farb- und Objektklassenzuordnung der Punktklassen

Vor der Bearbeitung in FMPROFIL müssen die Laserscandaten klassifiziert werden, was SPIE SAG bei Bedarf durchführt. Vielfach bieten aber auch Befliegungsunternehmen bereits die Stellung klassifizierter Daten an.

VISUALISIERUNG

FMPROFIL liest die georeferenzierten Laserdaten und Orthofotos ein und stellt diese grafisch dar. Die Laserpunkte werden in einer von der Punktklasse abhängigen Farbe in der 2D- und 3D-Ansicht dargestellt. Die Visualisierung der Orthofotos erfolgt als Projektion auf die Laserpunkte oder auf Geländeflächen.

Die Punktklassen sind in Parameterdateien definiert. Jede Punktklasse hat eine Farb- und Objektklassenzuordnung. Die Objektklasse weist jedem Laserpunkt die relevanten Berechnungslastfälle und die spannungsabhängigen Mindestabstände der ausgewählten Freileitungsnorm zu. Punktklassen können zur Ansicht und zur Bearbeitung aktiviert werden.

ABSTANDSBERECHNUNG ZU LASERDATEN

Abstandsrechnungen erfolgen sekundenschnell zu allen Laserpunkten aller ausgewählten Punktklassen. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, die Punktmenge auf gewünschte Bereiche einzugrenzen. Je nach Berechnungsart werden alle Laserpunkte ermittelt, deren direkter Ist-Abstand den jeweiligen spannungsabhängigen Mindestabstand unterschreitet.

Der spannungsabhängige Mindestabstand kann wahlweise um einen pauschalen Grenzwertzuschlag erhöht werden. Alternativ wird für jede aktive Punktklasse der kritischste Abstand in jedem Spannungsfeld ermittelt.

Die so ermittelten kritischen Laserpunkte werden in der Ergebnisliste dokumentiert und visuell rot markiert. Die Koordinaten der kritischen Laserpunkte können gespeichert oder als Punktobjekte konvertiert werden.

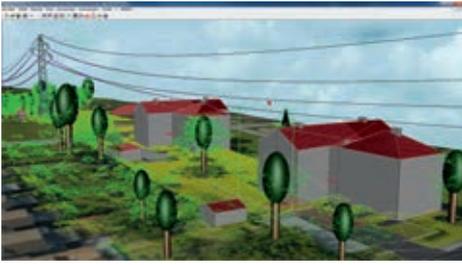


Abb. 3: Orthofoto auf Gelände­flächen mit Punktwolke



Abb. 4: Orthofoto auf Punktwolke gemappt

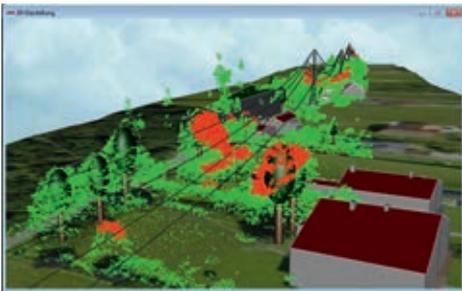


Abb. 5: Unterschrittene Mindestabstände

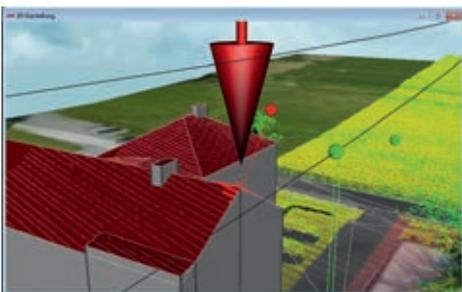


Abb. 6: Pfeilmarkierung auf kritischen Bereich

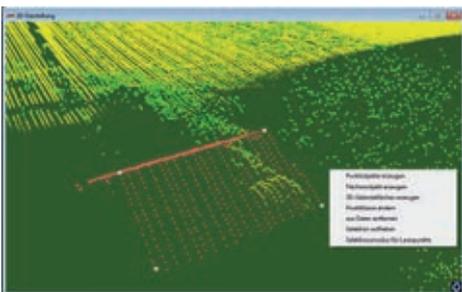


Abb. 7: Verwendung einzelner Punktkoordinaten

OBJEKT­BILDUNG UND VEKTORISIERUNG

In FMPROFIL stehen verschiedene Objektbildungs- und Vektorisierungsfunktionen zur Verfügung, mit deren Hilfe klassische Profilpläne auf Grundlage der Laserdaten generiert werden können.

Aus den Laserdaten können z.B. Punkt-, Linien- oder Flächenobjekte in der 3D-Ansicht erfasst werden. Relevante Punkte werden digitalisiert. Die Fußpunkthöhen werden aus den Höhen der Bodenpunkte ermittelt. Die relativen Objekthöhen ergeben sich aus der Differenz der Laserpunkthöhen und der Fußpunkthöhen.

Bei Flächenobjekten werden automatisch die zugehörigen Linien- und Punktobjekte erfasst, bei Linienobjekten die dazugehörigen Punktobjekte. Die Objektklassen der Laserpunkte werden auf die vektorisierten Objekte übertragen.



ERMITTLUNG DER TRASSENPUNKTE

Die Funktion „Geländehöhen ermitteln“ generiert anhand der Bodenpunkte die Trassenpunkte des klassischen Profilplanes einschließlich der seitlichen Überhöhungen. In den Einstellungen sind die Bodenpunktklassen und die Parameter für die Genauigkeit der Berechnung definiert.

LASERDATENBEARBEITUNG

Einzeln selektierte Laserpunkte, Laserpunkte innerhalb selektierter Polygone oder alle Punkte selektierter Klassen können gelöscht, umklassifiziert oder gespeichert werden.

MODUL EPE-BERECHNUNG

Die Umsetzung der Energiewende durch die Förderung der regenerativen Energien fordert einen Ausbau und eine stärkere Auslastung der Übertragungsleitungen, bei der die maximale Übertragungsleistung der Hoch- und Höchstspannungsleitungen ausgeschöpft werden soll.



Abb. 8: links HT-Seil (ACCC), rechts herkömmliches Al/St-Seil**

Konventionelle Leiter können nur bis zu ca. 80 °C dauerhaft betrieben werden. Hochtemperaturleiter (HT-Leiter) sind im Vergleich zu konventionellen Leitern für deutlich höhere Temperaturen und somit eine höhere Strombelastbarkeit ausgelegt und können somit Engpässe kompensieren. Zudem haben sie bei gleicher Strombelastung geringere Durchhänge.

Die Zugspannungs- und Durchhangsberechnung von HT-Leitern stellt den Anwender aber vor eine neue Herausforderung. Das in FMPROFIL standardmäßig verwendete Berechnungsverfahren nach dem Simplified Plastic Elongation Model (SPE) ist für HT-Leiter nicht ausreichend genau. Grundsätzlich werden die Seilzugkräfte bei Verbund-

leitern vom Kern und von der Außenlage getragen. Beim SPE-Verfahren wird die mechanische Dehnung durch den linearen Elastizitätsmodul des Gesamtleiters und die thermische Dehnung durch den linearen Temperaturkoeffizienten des Gesamtleiters abgebildet. Bei sehr hohen Temperaturen fällt die Zugspannung in den Außenlagen aber auf null ab und die Kräfte werden nur noch vom Kern aufgenommen. Temperaturen oberhalb des sogenannten Transitionpoints sind deshalb ausschließlich mit den Parametern des Kerns zu rechnen.

Konventionelle Leiter erreichen keine Temperaturen oberhalb des Transitionpoints, HT-Leiter schon. Für HT-Leiter ebenfalls unzureichend ist die Betrachtung des Seilkriechens, das beim SPE-Verfahren durch eine äquivalente Temperaturerhöhung berücksichtigt wird. Für die Berechnung der HT-Leiter wurde deshalb in FMPROFIL das Berechnungsverfahren nach dem Experimental Plastic Elongation Model (EPE) ergänzt. Das EPE-Verfahren ermittelt und berücksichtigt den Transitionpoint. Außerdem bildet es das Zugspannungs-Dehnungsverhalten und das Kriechverhalten der Leiterseile exakter ab.

SPE – EPE IM ÜBERBLICK*

Simplified Plastic Elongation Model (SPE)

- Abbildung der mechanischen Dehnung durch linearen Elastizitätsmodul
- Abbildung der thermischen Dehnung durch linearen thermischen Temperaturkoeffizienten
- Berücksichtigung der plastischen Verformung durch Setzen/Recken/Kriechen über eine der plastischen Dehnung äquivalente fiktive Temperaturerhöhung

Experimental Plastic Elongation Model (EPE)

- Nachbildung des plastischen Verhaltens des Leiters durch Modell höherer Ordnung, getrennt für Kern und Außenlagen
- Parametrierung über Zugspannungs-Dehnungsversuche im Labor

* Sag-Tension Calculation methods for overhead lines. CIGRE-Studie Nr. 324. Task Force B2.12.3. Juni 2007.

** Quelle: <http://www.energie-chronik.de/120810.htm>.

Seil	Material	Ber.Art	Ber.Wert	Ausgangsgrenzzugspg. (N/mm ²)	Ausgangsmittelzugspg. (N/mm ²)	Ber.Lastfall	Zugspannung (N/mm ²)	Durchhang (m)
A	ACCR 172/29	Rückwärts 1	T=10.0°, f=5.60m, X=125.000m	80.68	39.91	10°	39.91	5.60

Abb. 9: Auswertung Grunddaten SPE-Berechnung

Seil	Material	Ber.Art	Ber.Wert	Ausgangsgrenzzugspg. (N/mm ²)	Ausgangsmittelzugspg. (N/mm ²)	Ber.Lastfall	Zugspannung (N/mm ²)	Durchhang (m)
A	ACCR 172/29	EPE-Rückwärts 1, Rückwärts-Istzustand	TP=71.71°, SigTP=30.70N/mm ² , T=10.0°, f=5.60m, X=125.000m	L:81.44, C:105.18 (-5° 1.82° einf. Eislust), I:89.28 (-5° 1.26° einf. Eislust)	43.00	10°	39.91	5.60

Abb. 10: Auswertung Grunddaten EPE-Berechnung

ERWEITERTE SEILPARAMETER

Für die EPE-Berechnung werden deutlich mehr Seilparameter benötigt als für die herkömmliche SPE-Berechnung. Alle ergänzenden Seilparameter sind in einer zusätzlichen Seildatei gespeichert.

Elastizitätsmodule, Temperaturkoeffizienten und Querschnitte werden getrennt für Kern und Außenlage vorgehalten. Der lineare Elastizitätsmodul drückt nur die mechanische Dehnung im sogenannten finalen Zustand nach Erreichen der Grenzbelastung aus. Die mechanische Dehnung eines neu aufgelegten Leiters verhält sich nicht linear zur Zugspannung. Die Dehnung wird durch eine Polynomfunktion vierten Grades abgebildet. Die zusätzliche Seildatei enthält die Polynomkoeffizienten für die Initialkurve und die Kriechkurve, getrennt für Kern und Außenlage. Des Weiteren werden Parameter wie Kompressionszugspannung, Werkstatttemperatur, Betriebsdauer der Kriechkurve und Kriechdehnungsexponent benötigt.

BERECHNUNGSVARIANTEN

Bei der SPE-Berechnung werden die Zugspannungen und Durchhänge für den Abstandsnachweis, die Statik und die Regulage immer nach dem gleichen mathematischen Ansatz und immer mit den gleichen Seilparametern gerechnet. Auch Lastfälle mit und ohne Kriechdehnung können gleichzeitig gerechnet werden, weil das Seilkriechen näherungsweise durch eine fiktive Temperaturerhöhung abgebildet wird. Bei der EPE-Berechnung müssen die Berechnungen getrennt voneinander durchgeführt werden, da sie auf unterschiedlichen physikalischen Modellen basieren. Deshalb ist bei der EPE-Berechnung ergänzend zur Berechnungsart (Vorwärts/Rückwärts) eine Berechnungsvariante zu wählen.

Folgende Berechnungsvarianten stehen zur Auswahl:

- **VORWÄRTS – initial**
Spanntabellen für den Neubau
- **VORWÄRTS – final after load (FaL)**
Abstandsnachweis im Rahmen einer Neuauflage ohne Berücksichtigung des Seilkriechens
- **VORWÄRTS – final after creep (FaC)**
Abstandsnachweis im Rahmen einer Neuauflage unter Berücksichtigung des Seilkriechens
- **RÜCKWÄRTS – Rückwärts-Istzustand**
Abstandsnachweis im Rahmen einer Nachtrassierung auf Grundlage gemessener Durchhänge
- **RÜCKWÄRTS – Rückwärts-Ist nach Regulage**
Spanntabellen für die Nachregulage
- **RÜCKWÄRTS – Rückwärts-Nachregulage Zustand final**
Abstandsnachweis nach durchgeführter Nachregulage auf Grundlage gemessener Durchhänge
- **VORWÄRTS – Vordehnung-Zustand final**
Abstandsnachweis im Rahmen einer Neuauflage mit vorge-dehten Seilen
- **VORWÄRTS – Vordehnung-Istzustand**
Spanntabellen für den Neubau mit vorgedehnten Seilen

BERECHNUNGSERGEBNISSE

Bei der EPE-Berechnung werden zusätzlich zu den herkömmlichen Ergebnissen der SPE-Berechnung weitere Berechnungswerte dokumentiert. Für alle Berechnungsvarianten wird der berechnete Transitionpoint (TP) ausgewiesen und je nach Berechnungsvariante werden die verschiedenen Grenzbelastungen berechnet und dokumentiert.

MODUL PARALLELLEITUNGEN

Zur Errichtung und Betriebsführung von Freileitungen sind Abstände zu Parallelleitungen und Näherungen nach der gültigen Freileitungsnorm zu berechnen und zu überprüfen. FMPROFIL ermöglicht die Erfassung mehrerer komplexer Leitungen und die Berechnung ihrer Abstände zueinander.

Die Daten paralleler Leitungen werden aus Bestandsdaten importiert und in der Profildatei der Stammlleitung gespeichert. Die Datenstruktur der Parallelleitungen ist ähnlich der bekannten Struktur der Stammlleitung und gliedert sich in Leitungen, Maste, Traversen, Seile und Einzellasten.

ABSTANDSBERECHNUNG

Die Parallelleitungen werden auf Grundlage der Berechnungsgrunddaten der Stammlleitung nach dem Näherungsverfahren mit ideeller Zustandsgleichung oder nach Kettenlinie berechnet. Die Abstandsberechnung erfolgt wahlweise zwischen den Seilen zweier Leitungen oder zwischen den Seilen der einen und den Masten der anderen Leitung. Die Berechnung erfolgt für beliebige Lastfallkombinationen.

QUERPROFIL

Die Ergebnisse der Abstandsberechnung und die räumliche Anordnung zweier Leitungen können in einem Querprofil dargestellt werden. Querprofile werden als Nebenzeichnung generiert und somit automatisch bei Änderungen in den Leitungs- oder Berechnungsdaten aktualisiert.

LEISTUNGSUMFANG

Datenerfassung und Datenhaltung

- Automatischer Import der Parallelleitungen aus Bestandsdaten
- Mehrere Parallelleitungen pro Abspannungsabschnitt möglich
- Speicherung der Daten in erweiterter Tabellenstruktur

Durchgangs- und Abstandsberechnungen

- Durchgangsberechnung der Parallelleitungen nach dem Näherungsverfahren mit ideeller Zustandsgleichung oder nach Kettenlinie
- Durchgangsberechnung auf Grundlage der Berechnungsgrunddaten der Stammlleitung
- Abstandsberechnung zwischen ausgewählten Seilen und Masten der Stammlleitung und der Parallelleitung
- Beliebige Lastfallkombination für Stammlleitung und Parallelleitung

Dokumentation

- Darstellung der Parallelleitungen im Lageplanausschnitt der 2D-Ansicht
- Darstellung der Parallelleitungen in der 3D-Ansicht
- Dokumentation der Abstände im Berechnungsprotokoll
- Automatische Generierung von Querprofilen



Abb. 11: 3D-Ansicht mit Parallelleitung

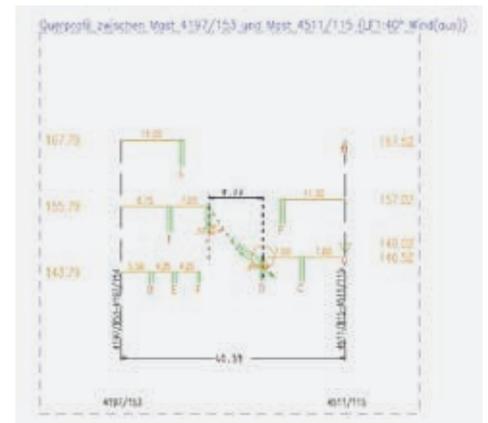


Abb. 12: Querprofil mit Abstandsnachweis

MODUL WINFIELD™-EXPORT

Freileitungen erzeugen elektrische und magnetische Felder. Das elektrische Feld wird durch die elektrische Spannung verursacht und das magnetische Feld durch die bewegte Ladung. Elektrische Feldstärken verursachen darüber hinaus Koronaentladungen und führen somit zu Schallemissionen und RF-Störpegeln. Die von Freileitungen erzeugten Emissionen haben in hohen Konzentrationen einen negativen Einfluss auf den menschlichen Organismus. Den Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor entsprechenden Einwirkungen regeln die 26. BImSchV (Verordnung über elektromagnetische Felder) und die TA Lärm (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm). In den Vorschriften sind Grenzwerte definiert, die zu prüfen und einzuhalten sind.

Die Ausgangsdaten für die Berechnung liefert FM PROFIL. FM PROFIL enthält eine WinField™-Exportschnittstelle, mit der Geometrie- und Bodenprofildaten in das WinField™-Standardformat exportiert werden.

Somit lassen sich die mit FM PROFIL erfassten Leitungs- und Profildaten nicht nur für die Profilplanerstellung und die damit verbundenen Zugspannungs-, Durchgangs- und Abstandsberechnungen verwenden. Die Leitungs- und Profildaten sind gleichzeitig die Grundlage für die Analyse der Feldstärken und Geräuschpegel.

GEOMETRIE- UND BODEN-PROFILDATEN

FM PROFIL erzeugt das Standard-GEO-Format. In WinField™ sind im Standard-GEO-Format die Leiter und Masten editierbare Einzelobjekte. Aus FM PROFIL werden Informationen zum Abschnitt, zu Seilverbindungen, Masten und Gebäuden exportiert.

Das Geländemodell und sämtliche Fußpunkte von Gebäuden und Masten werden in eine separate Bodenprofildatei im AGR-Format (ArclInfo-ASCII-Grid) geschrieben.

Mit beiden Dateien wird eine zu FM PROFIL analoge Darstellung in WinField™ erzeugt. Werden mehrere Profildateien exportiert, so können diese in WinField™ zusammengefügt werden. Derartige Vereinigungen sind vor allem bei Parallelführungen, Kreuzungen und im Bereich von Abspannmasten interessant, weil in diesen Bereichen Feldquellen aus unterschiedlichen Profildateien betrachtet werden müssen.

```

where release 2009
calculation startpoint 3413241.4200 550380.9200 1.0000
direction vector 1.0000 0.0000 0.0000
number of wires 243
shift to fraction 1.000
number of rows 400

interpolation points 0
segments per conductor 2

no. of conductors 21

phase conductor no. 1
startcoordinates 341322.1778 550380.2071 112.7000
endcoordinates 341381.2400 550400.1833 105.6100
height at midpoint 220.7000
current phase 420.0000000
voltage 420.0000000
number of subropes 4
rise-radius 10.900
diameter of subropes 0.200
dist. frequency start, and tower no. 243.000 43.000 0.000 33.000
system no. 0

phase conductor no. 2
startcoordinates 341320.8731 550380.1801 112.7000
endcoordinates 341381.4337 550397.5133 105.6100
height at midpoint 220.7000
current phase 420.0000000
voltage 420.0000000
number of subropes 4
rise-radius 10.900
diameter of subropes 0.200
dist. frequency start, and tower no. 243.000 43.000 0.000 33.000
system no. 0
  
```

Abb. 13: Auszug aus GEO-Datei

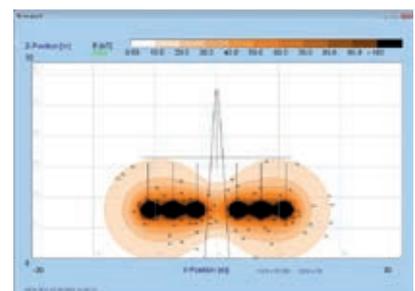


Abb. 14: Darstellung einer Feldberechnung mit WinField™

Das Feldberechnungssystem WinField™ (internationaler Name EFC-400) von der Forschungsgesellschaft Energie und Umwelttechnologie GmbH berechnet die niederfrequenten magnetischen und elektrischen Felder sowie die akustischen Geräuschpegel.

MODUL GOOGLE EARTH™-EXPORT

Ein Medium für die realitätsnahe Visualisierung der Freileitung ist Google Earth™. Die in FMPROFIL erfassten Freileitungsdaten lassen sich mit Hilfe der Schnittstelle exportieren und in Google Earth™ visualisieren. Exportiert werden die Leitungsdaten sowie Leitungskreuzungen, Objekte und der Planrahmen.

Die räumlichen Geodaten werden auf der Grundlage der Luftbilder bzw. Satellitenbilder dargestellt und liefern so eine anschauliche Übersicht. Die Leitungen können in FMPROFIL in einem beliebigen Ausgangssystem vorliegen. Die Exportparameter wie z.B. Stromkreisfarben sind in einer Filterdatei definiert.

Die Sachinformationen der exportierten Elemente werden mit den Elementen verknüpft. Wahlweise können einzelne Abspannabschnitte, mehrere Dateien oder ganze Verzeichnisse exportiert und in eine KML- bzw. KMZ-Datei geschrieben werden.

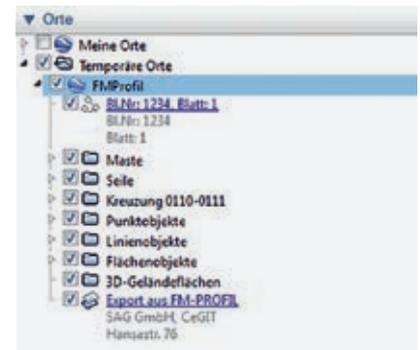


Abb. 15: Struktur eines Abspannabschnittes in Google Earth™

Technische Planwerke einer Freileitung wie Lagepläne, Profilpläne und Phasenführungspläne liefern dem Fachmann alle relevanten technischen und geografischen Informationen. Zusätzliche dreidimensionale, realitätsnahe Abbildungen helfen bei der Vorplanung und der Trassenfindung und sind eine gute Grundlage für Bürgergespräche und die Vorstellung von Bauvorhaben in der Öffentlichkeit.



Abb. 16: Darstellung in Google-Earth™

MODUL ELEKTRISCHE KENNDATEN

Das elektrische Verhalten einer Freileitung wird durch seine primären und sekundären Leitungsparameter bestimmt. Als primäre Leitungsparameter werden der Ohmsche Widerstand, die Induktivität und die Kapazität bezeichnet. Zu den sekundären Leitungsparametern zählt der Wellenwiderstand, der Aufschluss über die natürliche Leistung, also die Wirkleistung einer Leitung, liefert.

Anhand der elektrischen Kenndaten lassen sich Rückschlüsse auf die Leistungsverluste, die Relation der Anfangs- und Endspannung, die Stromaufteilung, die elektrischen und magnetischen Felder und die Randfeldstärken an den Außenleitern ziehen. Die Werte sind außerdem Grundlage für weitere Lastfluss- und Kurzschlussberechnungen.

AUSGANGSDATEN

Zur Bestimmung der elektrischen Kenndaten werden Kenntnisse über die Abmessungen und Materialeigenschaften der Leiter benötigt. Daneben sind die Werte abhängig von der Anordnung der Leiter, ihren gegenseitigen Abständen und den Abständen zum Boden.

Die Ausgangsdaten für die Berechnung werden aus der Profildatei und der Seilstammdatei gelesen. Neben den allgemeinen Leitungsdaten werden der spezifische Bodenwiderstand, der Gleichstromwiderstand bei 20 °C, der Beiwert der Widerstandsänderung und der innere Querschnitt benötigt.

BERECHNUNG

Folgende Daten werden in FMPROFIL berechnet und dokumentiert:

- Die elektrischen Kenndaten eines Leitungsabschnittes im Mit- und Gegensystem
- Nullsystemkopplungen zwischen parallel geführten Leitungsabschnitten
- Asymmetrien der Erdkapazitäten der einzelnen Teilleiter eines Stromkreises

Die Ergebnisdokumentation erfolgt in Excelformularen.



MODUL NUTZZUGBERECHNUNG (VDE) UND NUTZLASTBERECHNUNG (EN)

FMPROFIL ermöglicht die Nutzzugberechnung nach DIN VDE 0210 12/85 und die Nutzlastberechnung nach EN 50423.

BERECHNUNGSLASTFÄLLE

Beide Normen definieren die jeweils relevanten Lastfälle für Mastschäfte. Grundsätzlich werden verschiedene Normallastfälle und Ausnahmelastfälle unterschieden. Als Normalbelastung werden alle im normalen Betrieb einer Freileitung auftretenden Fälle behandelt. Unter Ausnahmebelastung fallen Beanspruchungen, die auftreten, wenn eine weniger wahrscheinliche Lastkombination vorliegt.

Jeder Lastfall berücksichtigt unterschiedliche Belastungskombinationen aus:

- Meteorologisch bedingten Belastungen
 - Windwirkung in drei Hauptrichtungen
 - Windwirkung mit gleichzeitigem Eisansatz
 - Einwirkung für Masten mit Hochzügen
- Festpunktbelastungen von Abspann- und Winkelabspannmasten
- Ausnahmebelastungen infolge von ungleichförmigem Eisansatz und Eislastabwurf

Die zu rechnenden Lastfälle sind abhängig von der Mastart, dem Verwendungszweck der Masten, der Mastgeometrie und der Seilbelegung. Alle Belastungen eines Lastfalles sind als gleichzeitig wirkend anzunehmen.

AUSGANGSDATEN

Die Nutzlastberechnung erfolgt auf der Grundlage vorhandener Profildateien. Alternativ können die Ausgangsdaten für die Nutzlastberechnung mit Hilfe eines Eingabeassistenten erfasst werden. Der Eingabeassistent fragt Schritt für Schritt die relevanten Daten über entsprechende Eingabemasken ab.

Die Datenerfassung per Eingabeassistent erfordert keine Kenntnisse im Umgang mit FMPROFIL und wurde speziell für Anwender entwickelt, die ausschließlich die Nutzlastberechnung nutzen.

BERECHNUNG

FMPROFIL berechnet alle relevanten Lastfälle. Je Lastfall werden alle möglichen Varianten aufgrund unterschiedlicher Windrichtungen, einseitiger Seilzugverminderungen und ungleichförmigen Eisansatzes betrachtet.

Um ermitteln zu können, welche Variante die größte Nutzlast liefert, gilt es, im Vorfeld festzulegen, welches Ergebnis bei der Betrachtung relevant ist. FMPROFIL bietet mehrere Berechnungskriterien zur Auswahl an:

- **Resultierende (Wurzel ($X^2 + Y^2$))**
Anwendungsbereich: Fundamentdimensionierung, Mastauswahl Rundmast
- **Summe ($X + Y$)**
Anwendungsbereich: Eckstielbemessung am Stahlgittermast, Mastauswahl Stahlgittermast, Holz-A-Mast
- **X-/Y-Komponente**
Anwendungsbereich: Bemessung der Diagonalen am Stahlgittermast

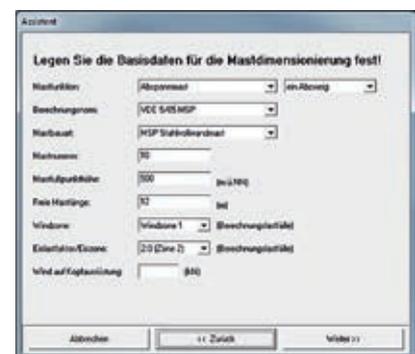


Abb. 17: Eingabeassistent Basisdaten



Abb. 18: Eingabeassistent Leitungsabschnitte

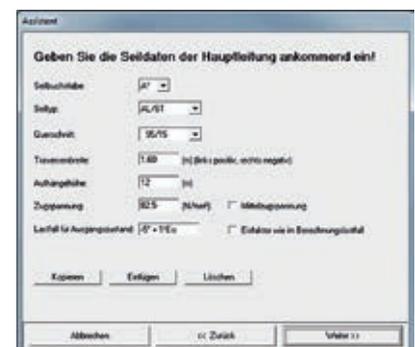


Abb. 19: Eingabeassistent Seildaten

Zur Dimensionierung von Masten und deren Gründungen ist die Nutzlast ein wichtiges Entscheidungskriterium. Die Nutzlast eines Mastes ist die an der Mastspitze horizontal auf den Mast wirkende Gesamtkraft ohne die Windlast. Sie ist ein Maß für die größte mögliche Beanspruchung. Im Nieder- und Mittelspannungsbereich ist es in der Regel ausreichend, die Masten anhand der Nutzlast auszuwählen.

ERGEBNISDOKUMENTATION

Alle am Mast wirkenden Kräfte werden dokumentiert. Es werden die anteiligen X- und Y-Komponenten im kartesischen Koordinatensystem ermittelt. Die Einzelkräfte werden auf die Höhe der Mastspitze umgerechnet und summiert. Je Lastfall wird die größte Nutzlast dokumentiert.

Aus allen Lastfällen wird die größte Beanspruchung ermittelt und hervorgehoben. Bei der Nutzlastberechnung nach EN 50423 wird zwischen den charakteristischen Werten und den mit den Teilsicherheitsbeiwerten multiplizierten Bemessungswerten unterschieden.

KRÄFTESCHEMA

Zur Veranschaulichung der Kräfte gibt es für jeden Berechnungslastfall eine schematische, dreidimensionale Darstellung. In dieser Abbildung stellen die roten Pfeile die Seilkräfte dar und die blauen die auf die Leiter wirkenden Windkräfte. Die Länge der Pfeile ist proportional zur Größe der wirkenden Kräfte. Die resultierende Nutzlast wird durch einen transparenten Pfeil dargestellt. Der Anwender kann die Darstellung drehen, kippen und skalieren.

FM-PROFIL						Nutzlastberechnung					
Firma:						CeGIT, RB Wallenhorst					
Ausgabedatum:						14.04.2018, 08:33:27					
Versionsnummer:						8.06.18					
Bearbeiter:											
Leitungsname:						Bl. 0000					
Mastnummer:						2					
Mastfunktion:						Tragmast					
Masttyp/-art:											
Mastbauart:						MSP Stahlvollwandmast					
Berechnungsgrundlage:						VDE 5/05 MSP					
Freie Mastlänge:						15.50m					
Leitungswinkel:						180.00°					
Ausgangslastfälle:						LF1: -5°*1.0°Eis					
Abschnitt zu Mast: 3 Tragmast.pro						Berechnungsverfahren Lid, Norm VDE 5/05 MSP, g=10.00 m/s² 1 fache Windlast Zone 1 (50 Jahre), 1 fache Eislast (Zone 1), Ausrichtung 180.00					
Mastlastfall:						A		D		K	
Berechnungslastfall:						5° Wind		-5° Eis+50%Wind		-5° Eis	
Seilzugverminderung:										20%/40%<=>0%	
Windrichtung:						90°!		90°!			
Teilsicherheitsbeiwert:						1.35		1.35		1.00	
Mast	Seil/LF Zugsp. (N/mm²)	Seiltyp Querschnitt	Höhe T-Breite (m)	T-Winkel S-Winkel (°)	Spannweite Windsp. (m)	Leiterzug X Wind X (kN)	Leiterzug Y Wind Y (kN)	Leiterzug X Wind X (kN)	Leiterzug Y Wind Y (kN)	Leiterzug X Wind X (kN)	Leiterzug Y Wind Y (kN)
1	A, LF1	AL/ST	16.50	90.00	140.00	-6.65	0.00	-9.43	0.00	-6.71	0.00
	82.50	70/12	2.00	180.00	70.00	0.00	0.63	0.00	0.77	0.00	0.00
	B, LF1	AL/ST	16.50	90.00	140.00	-6.65	0.00	-9.43	0.00	-6.71	0.00
	82.50	70/12	0.00	180.00	70.00	0.00	0.63	0.00	0.77	0.00	0.00
	C, LF1	AL/ST	16.50	270.00	140.00	-6.65	0.00	-9.43	0.00	-6.71	0.00
	82.50	70/12	2.00	180.00	70.00	0.00	0.63	0.00	0.77	0.00	0.00
3	A, LF1	AL/ST	16.50	90.00	160.00	6.65	0.00	9.43	0.00	6.71	0.00
	82.50	70/12	2.00	0.00	80.00	0.00	0.72	0.00	0.88	0.00	0.00
	B, LF1	AL/ST	16.50	90.00	160.00	6.65	0.00	9.43	0.00	6.71	0.00
	82.50	70/12	0.00	0.00	80.00	0.00	0.72	0.00	0.88	0.00	0.00
	C, LF1	AL/ST	16.50	270.00	160.00	6.65	0.00	9.43	0.00	6.71	0.00
	82.50	70/12	2.00	0.00	80.00	0.00	0.72	0.00	0.88	0.00	0.00
Summe der Leiterzugkräfte bei freier Mastlänge:						0.00	0.00	0.00	0.00	4.28	0.00
Summe der Windkräfte bei freier Mastlänge:						0.00	4.29	0.00	5.25	0.00	0.00
Windlast auf Kopfausrüstung:						0.00	0.20	0.00	0.10	0.00	0.00
Charakteristische Nutzlast X/Y:						0.00	4.49	0.00	5.35	4.28	0.00
Charakteristische Nutzlast/Richtung:						4.49	90.00°	5.35	90.00°	4.28	0.00°
Bemessungsnutzlast X/Y:						0.00	6.05	0.00	7.22	4.28	0.00
Bemessungsnutzlast/Richtung:						6.05	90.00°	7.22	90.00°	4.28	0.00°

Abb. 20: Berechnungsergebnisse

MODUL FUNDAMENTBERECHNUNG



Gründungen nehmen die auf den Mast wirkenden Kräfte auf und übertragen diese in den Baugrund. Art und Dimensionierung sind abhängig vom Baugrund, vom Mast und von den aufzunehmenden Belastungen. Bei der Wahl der Gründungsart können auch die am Standort gegebenen örtlichen und technischen Bedingungen relevant sein.

Grundsätzlich wird zwischen Kompaktgründungen und aufgeteilten Gründungen unterschieden. Die Kompaktgründungen kommen überwiegend im Nieder- und Mittelspannungsbereich zum Einsatz, die aufgeteilten Gründungen in der Hoch- und Höchstspannungsebene.

FMPROFIL bietet die Möglichkeit, Kompaktgründungen zu berechnen. Berechnen lassen sich Einblockgründungen als Block- oder Stufenfundamente. Die Berechnung erfolgt nach dem Verfahren von Sulzberger und ist für Gittermaste, Stahlvollwandmaste und Betonmaste durchführbar.

BERECHNUNGSARTEN

Drei verschiedene Berechnungsarten stehen zur Auswahl. Bei jeder Berechnung wird die Einhaltung zusätzlicher Randbedingungen geprüft. Die meisten Bedingungen sind parametrisierbar und aktivierbar/deaktivierbar.

Standsicherheit

Geprüft wird die Standsicherheit eines Fundamentes. Das Fundament gilt als ausreichend dimensioniert, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

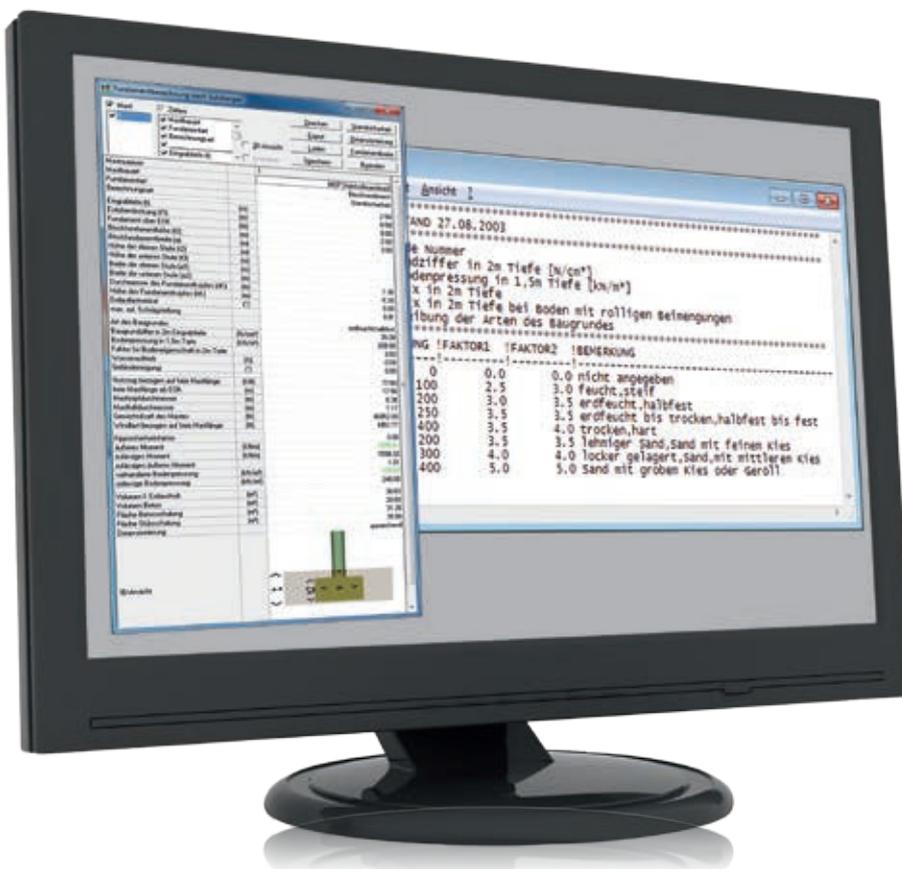
- Das äußere Moment ist kleiner als das zulässige Moment
- Die vorhandene Bodenpressung ist kleiner als die zulässige Bodenpressung

Dimensionierungsvorschlag

Bei der Berechnungsart „Dimensionierungsvorschlag“ werden Fundamentdimensionen anhand vordefinierter Standardwerte aus einer Parameterdatei ermittelt. Die Fundamenthöhe wird vorgegeben. Aus der Liste der Standardfundamente wird das kleinste standsichere Fundament vorgeschlagen.

Fundamentbreite

Anhand einer vorgegebenen Höhe wird die Mindestfundamentbreite iterativ errechnet. Beim Stufenfundament wird die Breite der unteren Fundamentstufe ermittelt.



FM BASE

Betriebsmitteldatenbank für
Hoch- und Höchstspannungsnetze

FM LEISYS

Informationssystem zur Verwaltung
von Leitungsrechten

FM GISplus

Fachschale für geografisches
Informationssystem für Hoch-
und Höchstspannungsnetze

FM PROFIL

Grafik- und Berechnungsprogramm
zur Erstellung von Profilplänen

FM CHECK

Prüfprogramm zur Qualitätssicherung
digitaler Profilpläne



AUF EINEN BLICK

Für die Erfassung, Fortführung und Verwaltung der Betriebsmittel- und Geodaten ist das Netz- und Betriebsmittelinformationssystem „Freileitungsmanagement“ (FM) entwickelt worden. Das FM hat sich im Laufe der Zeit als Standardlösung für das Management von Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsnetzen etabliert.

FM bündelt mehrere Softwareprodukte zur Erfüllung spezifischer Aufgaben und ermöglicht eine Verknüpfung verschiedenster Geo- und Sachdaten.

Anhand der Verbindungen zwischen den technischen und topografischen Leitungsdaten, den Grundbuch-, Kataster- und Berechnungsdaten lassen sich Analysen und Beauskunftungen durchführen. Daneben können weitere Abbildungen und Auswertungen automatisiert abgeleitet werden.

**Sie möchten mehr über unsere FM-Produkte wissen?
Nehmen Sie Kontakt mit uns auf. Unsere Experten beraten Sie gerne.**



www.spie-sag.de

SPIE SAG GmbH | Bereich CeGIT

Hansastraße 76

49134 Wallenhorst

Tel.: +49 (0)5 40 75 04-55

Fax: +49 (0)5 40 75 04-99

cegit@spie.com | www.spie-sag.de/cegit