

## Kurzbeschreibung

# STS V.6.5

## Stromstärke-/Temperaturberechnung von Seilen

Stromstärke-/Temperaturberechnung von Seilen

Übersicht | Zurück | Einstellungen | Hilfe

Berechnungsverfahren u. Eingabedaten | **Simulation** | Ergebnis statischer Zustand | Eingabe Zustandsänderungen u. Ergebnisse transiente Zustände

Auswahl aus Schriftzug/Tabelle | Erklären Maßwerte aus Modellwertliste

Verfahren zur Bestimmung des Zustandes des Leiters nach ...

DIGRE (statisch & transient) |  WEBS (statisch) |  KIRN (statisch)

Angaben zum Projekt:

Projekt: [freiwillig] 243-AL1/39-ST1 [240/40] | Benutzer: [freiwillig] Reinecke  
 Datum: [11.04.2007] | Abteilung: [freiwillig] sw fr.com

Geographische Angaben:

Höhe der Freileitung über N.N.: 100 m  
 Winkel Seil-/Nordrichtung: 0 °  
 geographischer Breitengrad: 50 °  
 geographischer Längengrad: 15 °  
 I-Spanngrad über mittlerem Spannweitenmaß: 15 °

Angaben zur Umgebung:

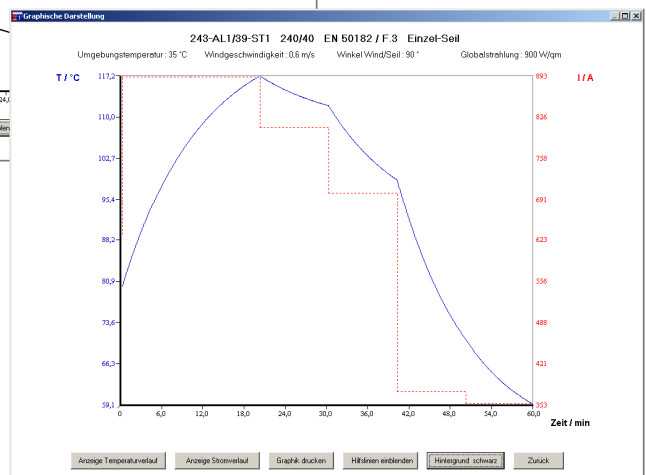
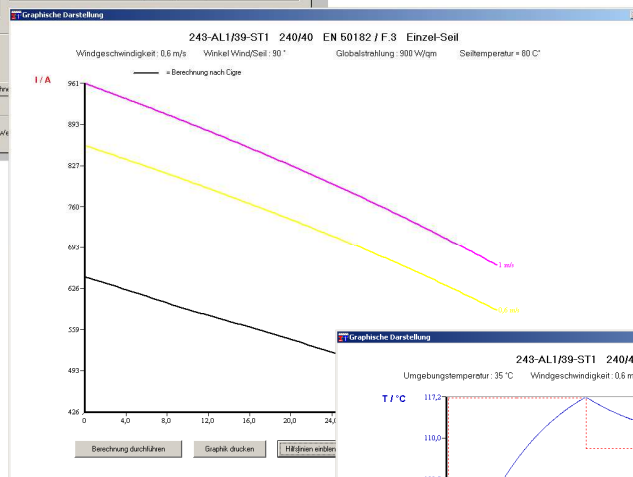
Windgeschwindigkeit in Seilhöhe: 0.6 m/s  
 Winkel Wind-/Nordrichtung: 90 °  
 Umgebungstemperatur: 35 °C  
 Bodentemperatur: 35 °C  
 Luftdichte/Seilquerschnitt: 0.2  
 Globalstrahlung: 900 W/m²  
 Bewölkungsgrad: 1

Datum und Uhrzeit (für Sonneninstrahleneinwirkung):  
 Datum (Tag/Monat): [20] [6] | Uhrzeit (Stunden/Minuten): [12] : [00]

Angaben zur Leitung:

Spannweite/Länge: 200 m  
 Höhendifferenz der Aufhängepunkte: 0 m  
 Netzspeisung: 50 Hz  
 Emissionsverhältnis: 0.5 | E/V-Verhältnis berechnen  
 Absorptionsverhältnis: 0.5

schwarze Eingabefelder = relevante Angaben zur Berechnung nach CIG 5 Vd



## 1 Programm-Ausstattung

- Statische Stromstärke- / Seiltemperaturberechnung nach drei unabhängigen Verfahren
- Transiente Stromstärke- / Seiltemperaturberechnung von bis zu 6 aufeinander folgenden Zustandsänderungen mit beliebiger Vorgabe von Temperatur, Stromstärke, Zeitdauer
- Graphische Darstellung der Strom-/Temperaturverläufe als Funktionskurven
- Eingabe u. Berechnung von Bündelleitern
- Automatische Erstellung von Wertetabellen mit den Größen

*Stromstärke - Seiltemperatur - Windgeschwindigkeit - Umgebungstemperatur*

als variable freilaufende Parameter mit Vergleichsmöglichkeit der beiden Rechenverfahren

- Einlesen von Eingabe-Daten aus Excel-Arbeitsmappen und Rückschreiben Ergebnisdaten in Excel Arbeitsmappe (Format: Excel-kompatible Arbeitsmappe)
- Abspeicherung der internen Eingabe- und Ergebnisdaten als Excel Arbeitsmappe
- Übersichtlicher Ausdruck von Berechnung, Tabellen und graphischer Darstellung in deutscher, englischer, französischer und spanischer Sprache
- Druckvorschau aller Ausdrücke mit Speichermöglichkeit der Ausdrücke im Bitmap-Format (.bmp) zur Einbindung der Graphiken in Dokumente.
- Möglichkeit der Einstellung von Berechnungsvorgaben
- Schneller Zugriff-/Abspeicherungsmöglichkeit von Standardfällen / worst-case-Fällen
- Abspeicherung aller Berechnungen in Kompatibilität mit dem Datenbank-System Microsoft Access
- Leicht verständliche, komfortable Bedienoberfläche
- Windows-Online-Hilfe
- Ausführliches Benutzerhandbuch mit Empfehlungen zur Nachvermessung sowie Empfehlungen für die Berechnung der Dauerstrombelastbarkeit.

## 2 Berechnungsverfahren

### 2.1 Statische Stromstärke- und Temperaturberechnung

Es wird vom Programm die statische Stromstärke ermittelt, mit welcher ein Freileitungsseil bei einer vorgegebenen Seiltemperatur und beliebiger Witterung mit Ausnahme von Niederschlag und Reifansatz betrieben werden kann.

Umgekehrt bietet das Programm die Möglichkeit die Temperatur des Seiles zu berechnen, welche sich bei einer vorgegebenen statischen Strombelastung, bei einer herrschenden Witterung bzw. frei wählbaren Wetterfaktoren einstellt.

Es können diese Berechnungen nach drei Verfahren durchgeführt werden:

#### 2.1.1 Statische Stromstärke- / Temperaturberechnung nach CIGRÉ

Dieses Verfahren beruht auf der Section 1 :

*Mathematical Model for evaluation of conductor temperature in the steady state  
(Normal operation)*

der im August 2002 veröffentlichten CIGRÉ-Publikation 207

*Thermal behaviour of overhead conductors*

der CIGRÉ International Working Group 22.12.

Es stellt das aktuellste, international anerkannte und angewandte mathematische Modell zur Berechnung des statischen Temperaturverhaltens von Leiterseilen dar.

Weitere Informationen hierzu siehe o.g. CIGRÉ-Veröffentlichung.  
Bezug der Publikation über : CIGRÉ ; [www.cigre.org](http://www.cigre.org)

#### 2.1.2 Statische Stromstärke- / Temperaturberechnung nach WEBS

Dieses Verfahren beruht auf einer Berechnungsmethode nach Alfred Webs, welche im Jahr 1963 in der Zeitschrift **Elektrizitätswirtschaft** veröffentlicht wurde.

Das Verfahren wurde entwickelt, um ein mathematisches Werkzeug zur Bestimmung der Dauerstrombelastbarkeit von Leiterseilen zu erhalten.

Die mit dem Verfahren nach Webs berechneten Stromstärken unter definierten Bedingungen fanden als zulässigen Dauerstrombelastbarkeiten von Seilen Eingang in die Deutsche Industrie Norm für Leiterseile.

Das Verfahren nach Webs wurde zur Bestimmung der Dauerstrombelastbarkeit von Freileitungen unter worst-case Bedingungen nach DIN implementiert.

### 2.1.3 Statische Stromstärke- / Temperaturberechnung nach KIRN

Dieses Verfahren beruht auf einer Berechnungsmethode, welches vom Institut für rationelle Energieanwendung der Fachhochschule Karlsruhe unter Leitung von Prof. Dipl. Ing. Herbert Kirn in Zusammenarbeit mit der Badenwerk AG entwickelt wurde.

Das Verfahren wurde im November 1990 in der Zeitschrift **etz** publiziert, des weiteren in einigen Diplomarbeiten der FH Karlsruhe verfeinert.

Es wurde entwickelt, um bei der Nachvermessung von im Betrieb befindlichen AL/ST-Leiteseilen die mittlere Seiltemperatur ohne direkte Messung aus der Stromstärke u. den Witterungsbedingungen ermitteln zu können.

Für die Berechnung kompletter Freileitungen besitzt es den Nachteil, dass Werte benötigt werden, welche innerhalb eines Leitungsverbindung wechseln können

Ein direkter Vergleich der drei unabhängigen Berechnungsverfahren lässt sich mit dem Programm durchführen, indem parallel nach Eingabe aller relevanten Parameter, die Stromstärke bzw. Seiltemperatur nach den Verfahren berechnet wird.

## 2.2 Statische Stromstärke-/Temperaturberechnung - Anwendungsbeispiele

### 2.2.1 Bestimmung der jahreszeitabhängigen Stromtragfähigkeit von Freileitungen mit CIGRÉ (u. Webs)

Die thermostatischen Seilmodelle nach CIGRÉ u. WEBS können dazu verwendet werden, aus gegebenen Bedingungen für Umgebungsparameter und maximal zulässiger Seiltemperatur eine maximale Stromtragfähigkeit des Leiterseiles zu errechnen.

Eine solche Anwendung ermöglicht z.B. den jahreszeitabhängigen Betrieb von Hochspannungsfreileitungen.

Bei jahreszeitlich bedingten Engpässen lassen sich hiermit im Einzelfall Investitionen zur Erhöhung der Stromtragfähigkeit vermeiden, ohne die vorgegebene Seiltemperatur zu über- u. damit die Sicherheitsabstände zu unterschreiten.

Es wird hierzu eine Unterteilung des worst-case-Falles (35°C; 900 W/qm; 0,6 m/s) in 2 oder 3 jahreszeitlich bedingte worst-case-Fälle vorgenommen.

Dazu nachfolgend ein Beispiel eines Al/St-240/40-Seiles; Emissionsverhältnis  $\varepsilon = 0,6$

berechnet mit dem thermostatischen Modell nach CIGRÉ u. Webs:

	max. Umgebungs-temperatur	max. Global-strahlung	min. Wind-geschwindigkeit:	<b>Stromtragfähigkeit</b> bei 80°C Seiltemperatur (Seilalter 1,5 a):	%-Zuwachs <b>Stromtragfähigkeit</b>
<b>Sommer</b> 1.Mai – 20.Sept	35°C	900 W / qm	0,6 m/s	<b>641 A</b> (CIGRÉ) <b>644 A</b> (WEBS)	-
<b>Übergangszeit</b> 21.Feb. - 31.April 21.Sept. - 30.Okt.	27,5°C	800 W /qm	0,6 m/s	<b>705 A</b> (CIGRÉ) <b>706 A</b> (WEBS)	<b>10,0 %</b>
<b>Winter</b> 1.Nov - 20. Feb.	20°	600 W /qm	0,6 m/s	<b>763 A</b> (CIGRÉ) <b>761 A</b> (WEBS)	<b>19,0 %</b>

*Anmerkung 1: Diese Unterteilung ist für die Anwendung in Mitteleuropa gedacht. In anderen Ländern sind entsprechend den vorliegenden Klimadaten die jahreszeitlich bedingten worst-case-Fälle zu ermitteln.*

*Anmerkung 2: Dieser jahreszeitabhängige Betrieb von Freileitungen wird inzwischen von mehreren mitteleuropäischen Übertragungsnetzbetreibern erfolgreich angewandt.*

## 2.2.2 Bestimmung des Durchhangs der Leiterseile im Ausgangszustand mit Verfahren nach Kirn

Jeder Leitungsneubau, jede Ertüchtigung und jede Masterhöhung usw. sollte aus Sicherheitsgründen nachvermessen werden, d.h. 8 - 12 Wochen nach Fertigstellung der Leitung werden Feldlänge, die Masthöhe und der Durchhang jedes Spannungsfeldes gemessen.

Der gemessene Durchhang wird dann auf den Durchhang im projektierten Zustand zurückgerechnet und mit den projektierten Solldurchhangswerten und Seilzugspannungen verglichen.

Hier zeigt sich dann, ob alle sicherheitsrelevanten Abstände und Zugspannungen eingehalten wurden, wieviel Reserve noch in den Abständen vorhanden ist oder ob nötigenfalls eine Nachregulage des Seiles durchgeführt werden muß.

Eine solche Nachvermessung kann bei alten Leitungen auch ohne vorhergehenden Umbau erforderlich werden.

Dies, da aufgrund des über die Lebensdauer des Seiles stattfindenden Seilkriechens (und auch Ungenauigkeiten bei der früher durchgeführten Regulage und Vermessung) der aktuelle Zustand bezüglich der Durchhänge und damit der Sicherheitsabstände nicht mit genügend genauer Sicherheit bekannt ist.

Bei dieser Nachvermessung wird zur Rückrechnung vom gemessenen Durchhang auf den Durchhang im Ausgangszustand die mittlere Seiltemperatur des Spannungsfeldes zum Zeitpunkt der Vermessung benötigt. Diese notwendige Eingangsgröße lässt sich mithilfe des Programmes bestimmen. Weitere Ausführungen hierzu sind im Benutzerhandbuch enthalten.

## 2.3 Transiente Stromstärke- und Temperaturberechnung nach CIGRÉ

Es kann mit diesem Berechnungsverfahren die Änderung der Seiltemperatur eines Leitungsseiles bei Änderung der Stromstärke berechnet werden.

Es kann die Zeitdauer bis zur Erreichung einer bestimmten Seiltemperatur bei Vorgabe der Stromstärkeänderung berechnet werden.

Es kann die ursächliche Stromstärkeänderung bei Vorgabe einer Seilendtemperatur und Zeitdauer berechnet werden.

Es können die genannten Berechnungen in 6 aufeinander folgenden Zustandsänderungen berechnet werden.

Es werden diese Berechnungen nach dem CIGRÉ-Verfahren durchgeführt:

Dieses Verfahren beruht auf der Section 2 :

*Mathematical Model for evaluation of conductor temperature in the unsteady state*

der im August 2002 veröffentlichten CIGRÉ-Publikation 207

*Thermal behaviour of overhead conductors*

der CIGRÉ International Working Group 22.12.

Es stellt das aktuellste, international anerkannte und angewandte mathematische Modell zur Berechnung des transienten (instationären) Temperaturverhaltens von Leitungsseilen dar.

Weitere Informationen hierzu siehe o.g. CIGRÉ-Veröffentlichung.

Bezug der Publikation über : CIGRÉ ; [www.cigre.org](http://www.cigre.org) - Bestellformular s. Anhang.

## **Anwendungsfälle des transienten Berechnungsverfahrens**

### **Fall 1:**

Es wird mithilfe des Verfahrens untersucht, ob ein Freileitungsseil bei Durchführung von Schalthandlungen im Netz jederzeit im thermisch zulässigen Bereich betrieben wird, selbst wenn, bedingt durch diese Schalthandlungen der Nennstrom der Leitung kurzfristig überschritten wird.

### **Fall 2:**

Eine zu betrachtende Hochspannungsfreileitung eines Übertragungs- oder Versorgungsnetzes (oder einer Netzkuppelstelle) befindet sich in einem definierten, beliebigen, normalen Betriebszustand (mit einer beliebigen Seilstromstärke unterhalb der Dauerstrombelastbarkeit u. einer daraus resultierenden beliebigen Seiltemperatur unterhalb der max. Seiltemperatur)

Durch Überlastung (Windstrom / Kraftwerksausfall / Ausfall eines Betriebsmittels) befindet sich das Netz nicht mehr im n-1 sicheren Zustand.

(Eine Entwicklung die in jüngerer Zeit sowohl im Transport- als auch im Verteilnetz nicht

mehr einen so hohen Seltenheitswert hat, wie noch vor einem Jahrzehnt.)

Es kommt innerhalb dieses Netzes nun zum Ausfall eines weiteren Betriebsmittels bspw. einer parallelen oder in ähnlicher Energieflussrichtung im Netz eingebundenen Freileitung.

Die zu betrachtende Freileitung wird durch den Ausfall der zweiten Freileitung nun mit einer Stromstärke weit oberhalb ihrer Dauerstrombelastbarkeit beaufschlagt.

Nachfolgende denkbare Möglichkeiten wie vom Netzbetrieb hierauf reagiert werden könnte:

### Möglichkeit 1:

Die zu betrachtende Freileitung wird ebenfalls automatisch mittels Schutzeinrichtungen sofort vom Netz genommen, um das Betriebsmittel zu schützen.

Dies hat evtl. einen Versorgungsausfall, im Extremfall, bedingt durch weitere Abschaltungen auch einen Blackout des nachgelagerten Netzes zur Folge.

### Möglichkeit 2:

Es wurde eine solcher Ausfall und die daraus resultierende Zustandsänderung der Freileitung im Vorfeld mithilfe der Netzberechnung simuliert.

Mittels des CIGRÉ-Berechnungsverfahren wurde der Zeitraum ermittelt, innerhalb welcher sich die Freileitung noch unterhalb ihrer max. zulässigen Dauer-Seiltemperatur befindet.

Dieser ermittelte Zeitraum liegt üblicherweise im Minutenbereich, das Leiterseil nimmt aufgrund seiner Wärmekapazität und der daraus resultierenden thermischen Trägheit erst nach einem gewissen Zeitdauer eine neue statische Seiltemperatur an.

Innerhalb des ermittelten Zeitraumes wird die Freileitung noch in Betrieb gehalten und automatische Schalthandlungen / Umschaltungen / gezielte Lastabschaltungen vorgenommen, um die betroffene Leitung zu entlasten und damit diese und evtl. in Folge das gesamte Netz im sicheren Betrieb halten zu können

– es sei hierzu auf Untersuchungen / Diplomarbeiten im Nachgang zu den bisherigen Blackouts / großräumigen Versorgungsunterbrechungen des noch jungen Jahrtausends verwiesen.