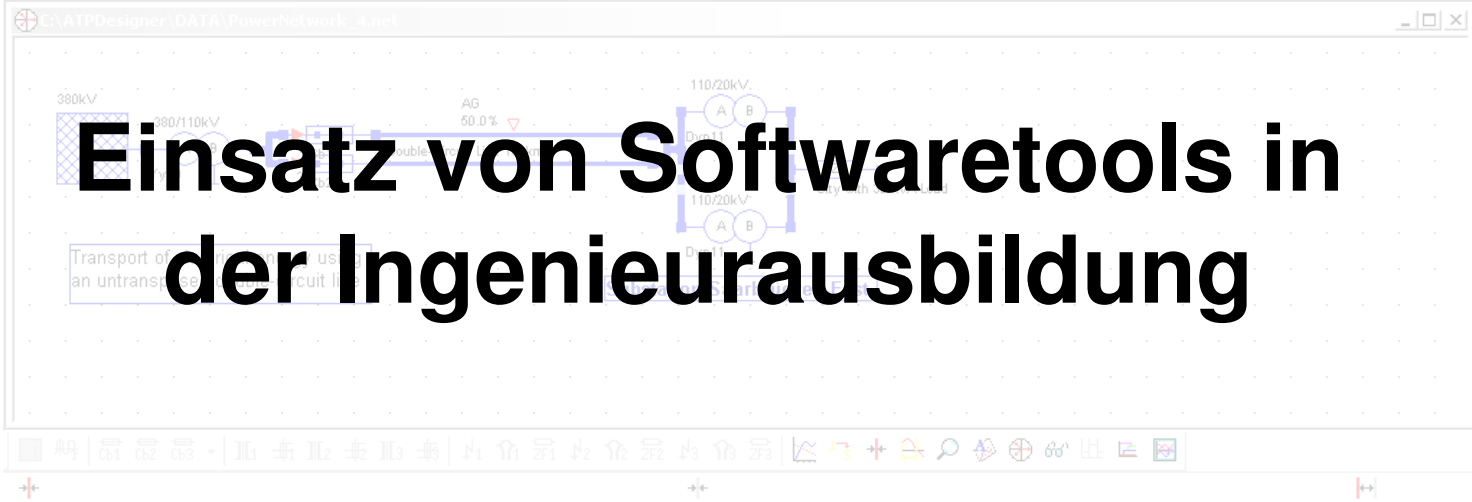


Kurzschlussstromberechnung - CAE-Tools in der Ingenieurausbildung



Kurzschlussstromberechnung



Einsatz von Softwaretools in der Ingenieurausbildung

Kurzschlussstromberechnung

Kurzschlussstromberechnung - CAE-Tools in der Ingenieurausbildung

Was ist das...?

- **Kurzschlüsse sind niederohmige Fehlerzustände in Energieversorgungsnetzen.**
- **Die auftretenden Ströme können einige 10A .. 10000A betragen**
- **Kurzschlüsse können auftreten zwischen Leiter und Erde und zwischen Leiter – Leiter.**
- **Bei der Kurzschlussstromberechnung werden die zu erwartenden Fehlerströme mittels Handrechnung gemäß VDE0102 oder unter Zuhilfenahme von Softwaretools berechnet.**

Kurzschlussstromberechnung

Kurzschlussstromberechnung - CAE-Tools in der Ingenieurausbildung

... und warum ?

- **Die mechanische und thermische Festigkeit der Betriebsmittel im Fall eines Kurzschlusses muss gewährleistet werden.**
 - **Für die mechanische Festigkeit ist der größte auftretende Fehlerstrom von Interesse.**

- **Parametrierung von Netzschutzgeräten**
 - **Zur Parametrierung von Schutzgeräten wird um eine sichere Anregung zu gewährleisten der kleinste Kurzschlussstrom berechnet.**

Der bisherige Praktikumversuch

Kurzschlussstromberechnung - CAE-Tools in der Ingenieurausbildung

- **Berechnung der Energieversorgungsnetze von Hand nach VDE0102**

- **Simulation der Energieversorgungsnetze mit einem älteren Simulationssystem (DOS-basiert)**

- **Diskussion der Ergebnisse**
 - **Abweichungen der Kurzschlussströme, berechnet „von Hand“ und durch das Softwaretool**
 - **Identifikation der Ursachen**

- **Warum waren Änderungen sinnvoll ?**
 - **Umstellung auf Windows basierte Software**
 - **Grafische Visualisierung des Energieversorgungsnetzes**
 - **Arbeiten mit Softwaretools, die heutiger Praxis entsprechen**

Zielsetzung der Diplomarbeit

Kurzschlussstromberechnung - CAE-Tools in der Ingenieurausbildung

- **Ausgangspunkt:
Praktikumversuch „Kurzschlussstromberechnung ...“**
 - **Überarbeitung des bisherigen Versuchs unter Beibehaltung der bisherigen Aufgabenstellung**
 - **Einsatz von ATP/ATPDesigner als Windows basierte, vollgraphische Benutzeroberfläche**
 - **Beschreibung des Programms ATPDesigner**
 - **Anpassung von Inhalt und Gestaltung der Versuchsunterlagen an das Softwaretool**

- **In der Energietechnik immer häufigerer Einsatz von Softwaretools**
 - **Kurzschlussstromberechnung, Lastflussberechnung**
 - **EMV Berechnungen**
 - **Parametrierung von Schutz- und Messgeräten**
 - **Störfallanalyse**
 - **Stations- und Netzleittechnik**

- **Softwaretools sollen die Arbeit erleichtern und somit zu einer Effizienzsteigerung führen.**

- **Softwaretools sollen intuitiv zu bedienen sein**
 - **Minimierung des Aufwandes zur Einarbeitung**
 - **Maximierung des „Erinnerungseffektes“ bei Wiederverwendung**

- **Graphische und übersichtliche Darstellung des Projektes**
 - **„Ein Bild sagt mehr als 1000 Worte“**

Was ist ATP?

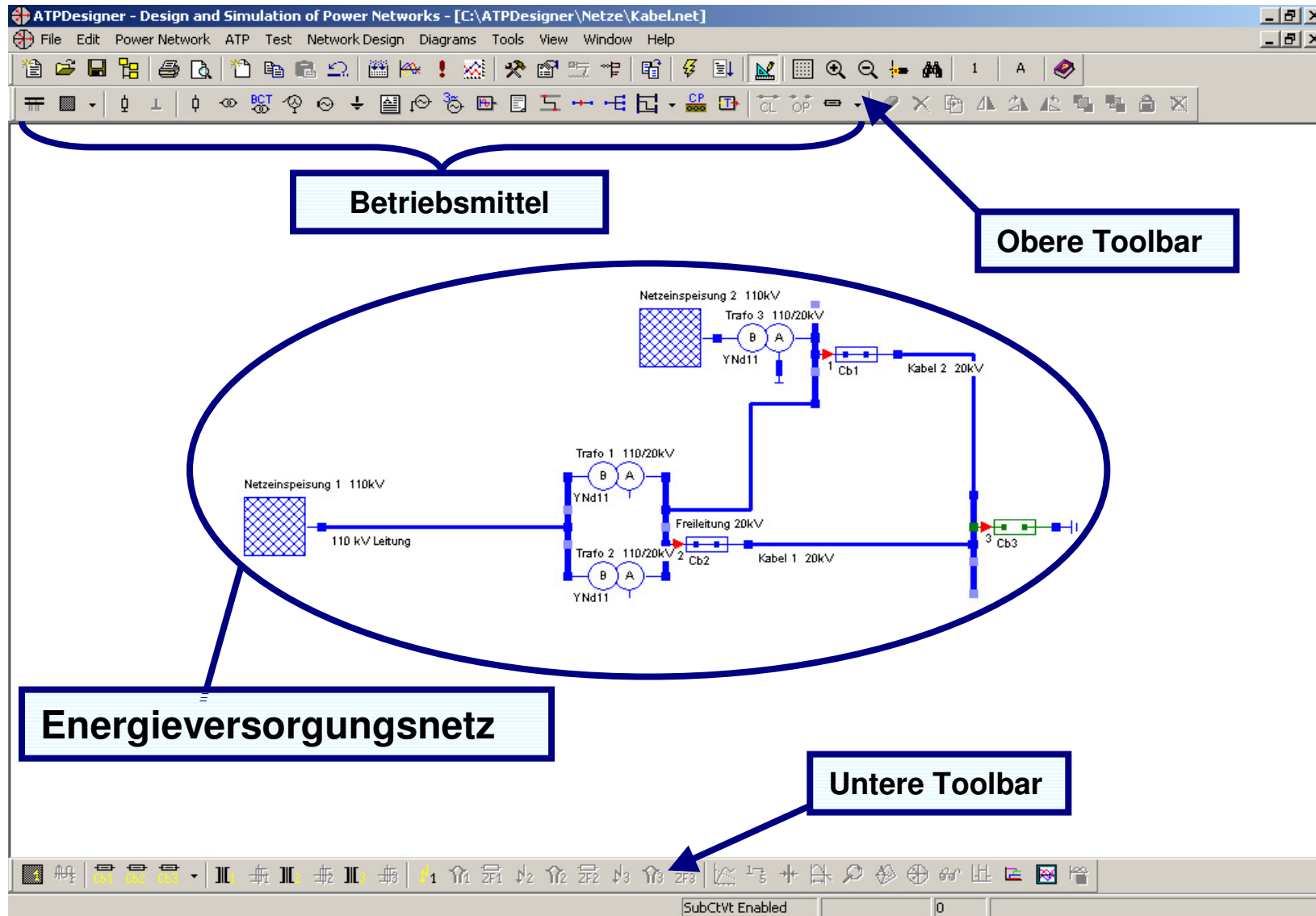
Kurzschlussstromberechnung - CAE-Tools in der Ingenieurausbildung

ATP **A**lternative **T**ransients **P**rogram

- Wird weltweit zur Berechnung von Energieversorgungssystemen eingesetzt
- Simulationssystem für mehrphasige Energieversorgungsnetze
- Es können stationäre und transiente Vorgänge berechnet werden
- Es stehen eine Vielzahl unterschiedlicher energietechnischer Betriebsmittel zur Verfügung
 - Transformatoren, Generatoren, Schalter, usw.
- Wird ständig von Hochschulen im weltweiten Verbund weiter entwickelt

Was ist ATPDesigner ?

Kurzschlussstromberechnung - CAE-Tools in der Ingenieurausbildung



The screenshot displays the ATPDesigner software interface. The main window shows a power network diagram with the following components:

- Netzeinspeisung 1 110kV**: A 110kV power source connected to a 110 kV Leitung (line).
- Trafo 1 110/20kV** and **Trafo 2 110/20kV**: Two transformers connected to the 110kV line.
- Netzeinspeisung 2 110kV**: A second 110kV power source connected to a transformer.
- Trafo 3 110/20kV**: A transformer connected to the second 110kV source.
- Freileitung 20kV**: A 20kV overhead line connecting the two transformer banks.
- Kabel 1 20kV** and **Kabel 2 20kV**: Two 20kV cables connecting the transformer banks to busbars.
- Cb1, Cb2, Cb3**: Three circuit breakers (Cb) connected to the busbars.

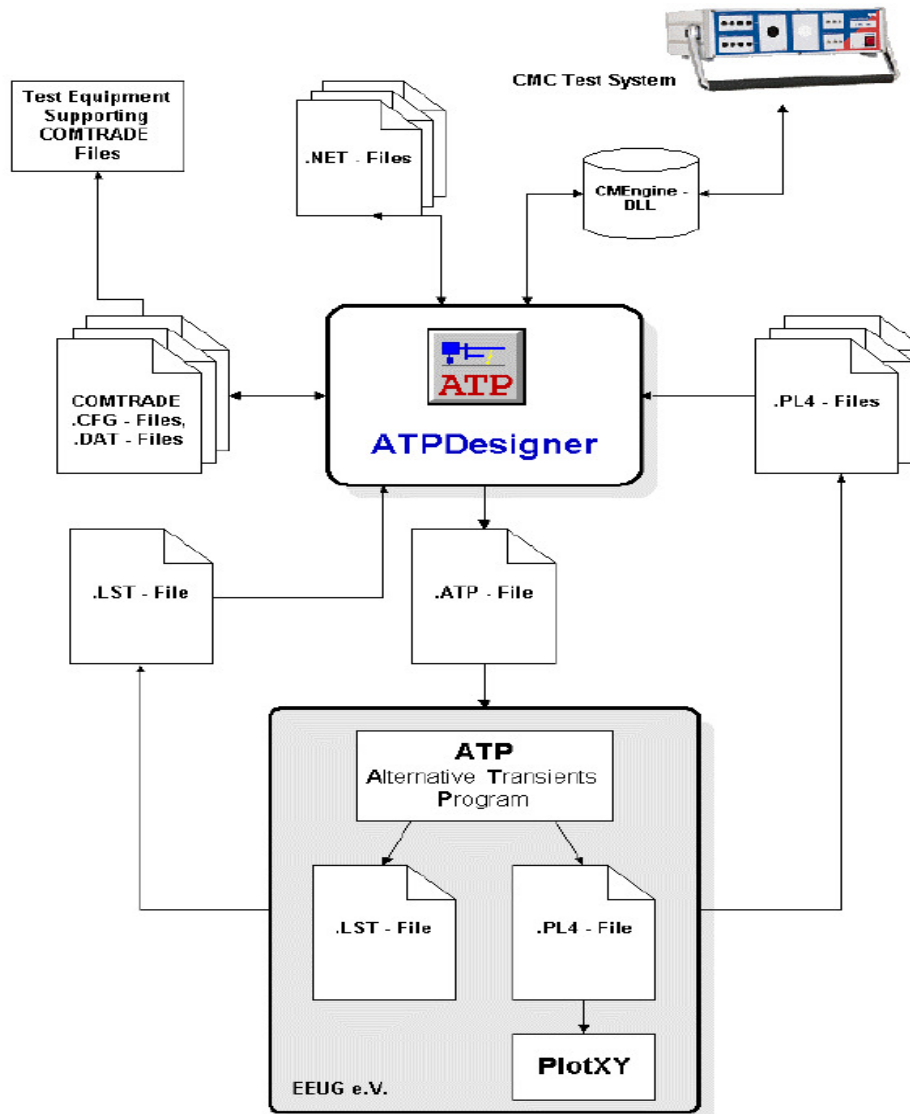
The interface includes a menu bar (File, Edit, Power Network, ATP, Test, Network Design, Diagrams, Tools, View, Window, Help), a top toolbar, and a bottom toolbar. Annotations with blue boxes and arrows identify the following elements:

- Betriebsmittel**: Points to the top toolbar.
- Obere Toolbar**: Points to the top toolbar.
- Energieversorgungsnetz**: Points to the main power network diagram.
- Untere Toolbar**: Points to the bottom toolbar.

Interface ATP \Leftrightarrow ATPDesigner

Kurzschlussstromberechnung - CAE-Tools in der Ingenieurausbildung

Dateien von ATP und ATPDesigner



Was ist ATPDesigner ?

Kurzschlussstromberechnung - CAE-Tools in der Ingenieurausbildung

Vorteile von ATPDesigner

- **Menüleisten ähnlich der Standardofficetools**
→ einfache Bedienung

- **Selbsterklärende intuitive Bedienung des Programms**

- **Interaktive Konfiguration des Energieversorgungsnetzes**
→ Interaktives Design

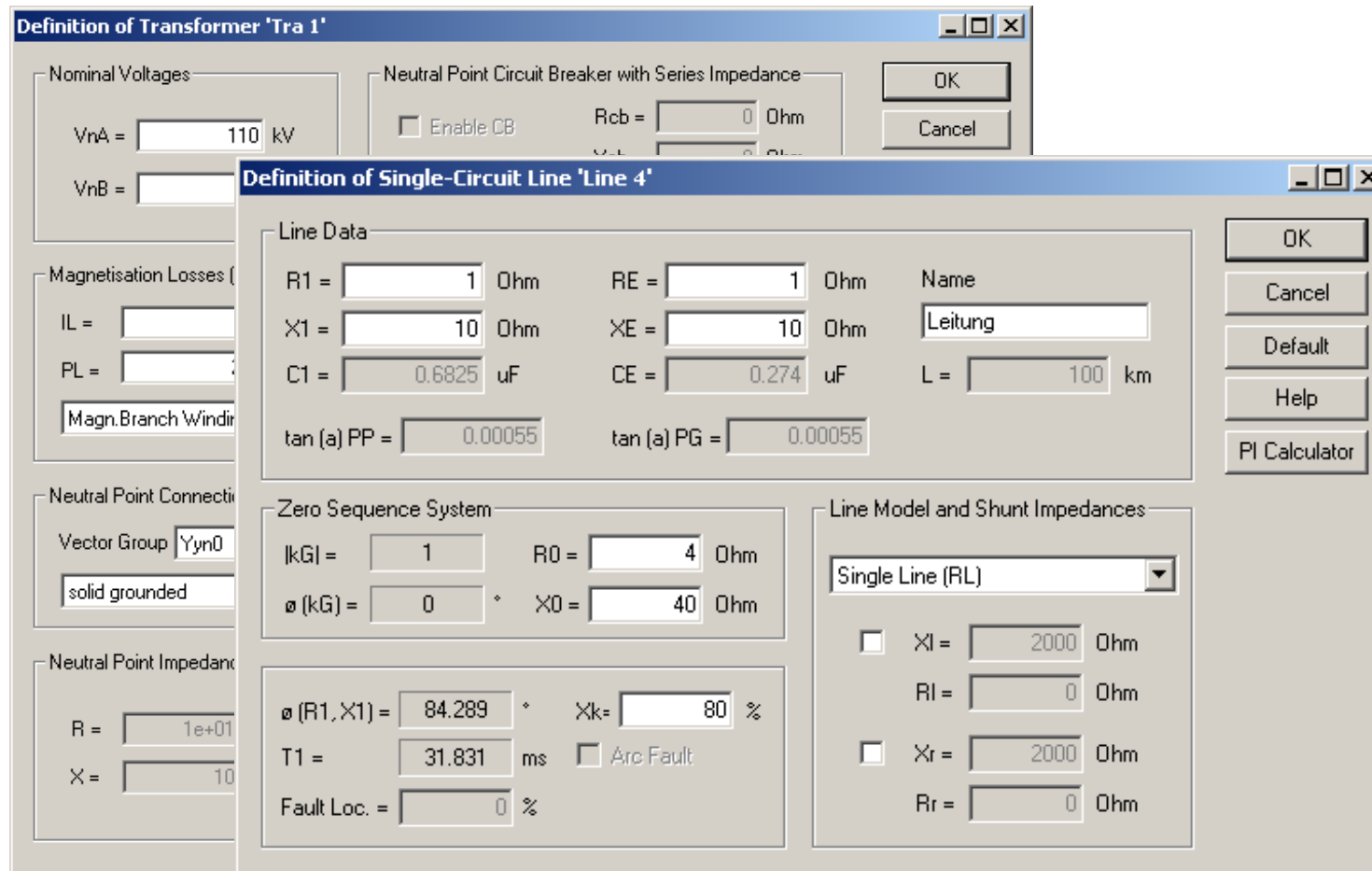
- **Visualisierung des Energieversorgungssystems und der errechneten Ergebnisse**
→ Ergebnisse = Zeitliche Verläufe von Spannungen und Strömen

- **Umfangreiche Analysemöglichkeiten der Ergebnisse**
 - **Auswertung mit Methoden der Signalanalyse**
 - Oberschwingungen
 - Zeigerdiagramme

Eingabe der Betriebsmitteldaten

Kurzschlussstromberechnung - CAE-Tools in der Ingenieurausbildung

Benötigte Daten zur Berechnung können von den Typenschilder der Betriebsmittel abgelesen werden



Verfügbare Betriebsmittel

Kurzschlussstromberechnung - CAE-Tools in der Ingenieurausbildung

Darstellung der Betriebsmittel in ATPDesigner



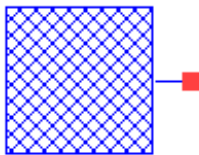
Generator



Transformator



Doppelleitung



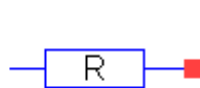
Netzeinspeisung



Leistungsschalter mit
Messgerät



Schalter



Last



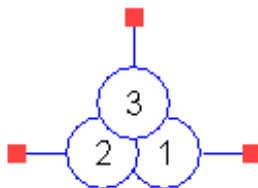
Erde



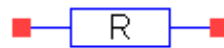
Messgerät



Sammelschiene



Dreiwicklungstransformator



Impedanz

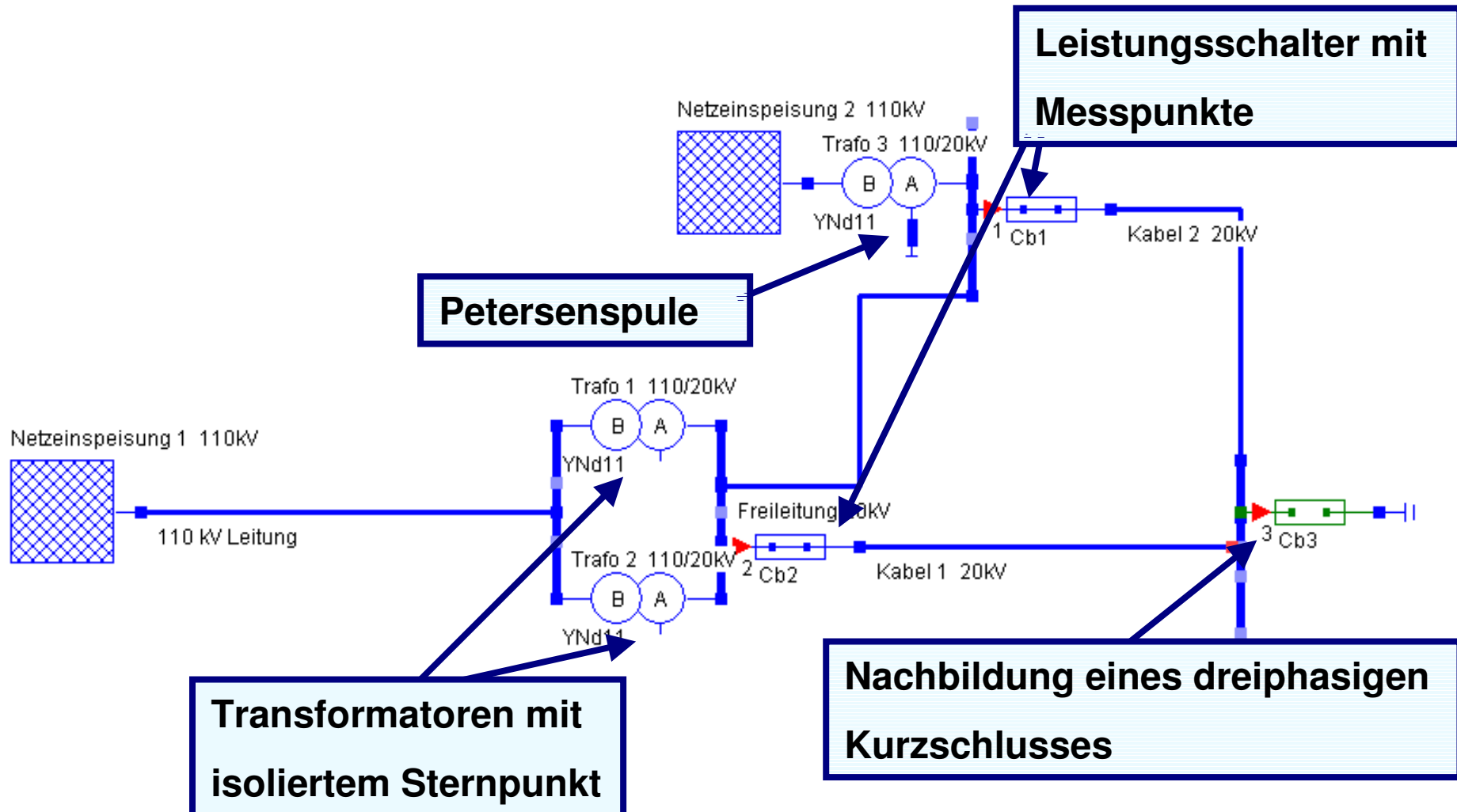


Leitung

Beispiel für eine Netzberechnung

Kurzschlussstromberechnung - CAE-Tools in der Ingenieurausbildung

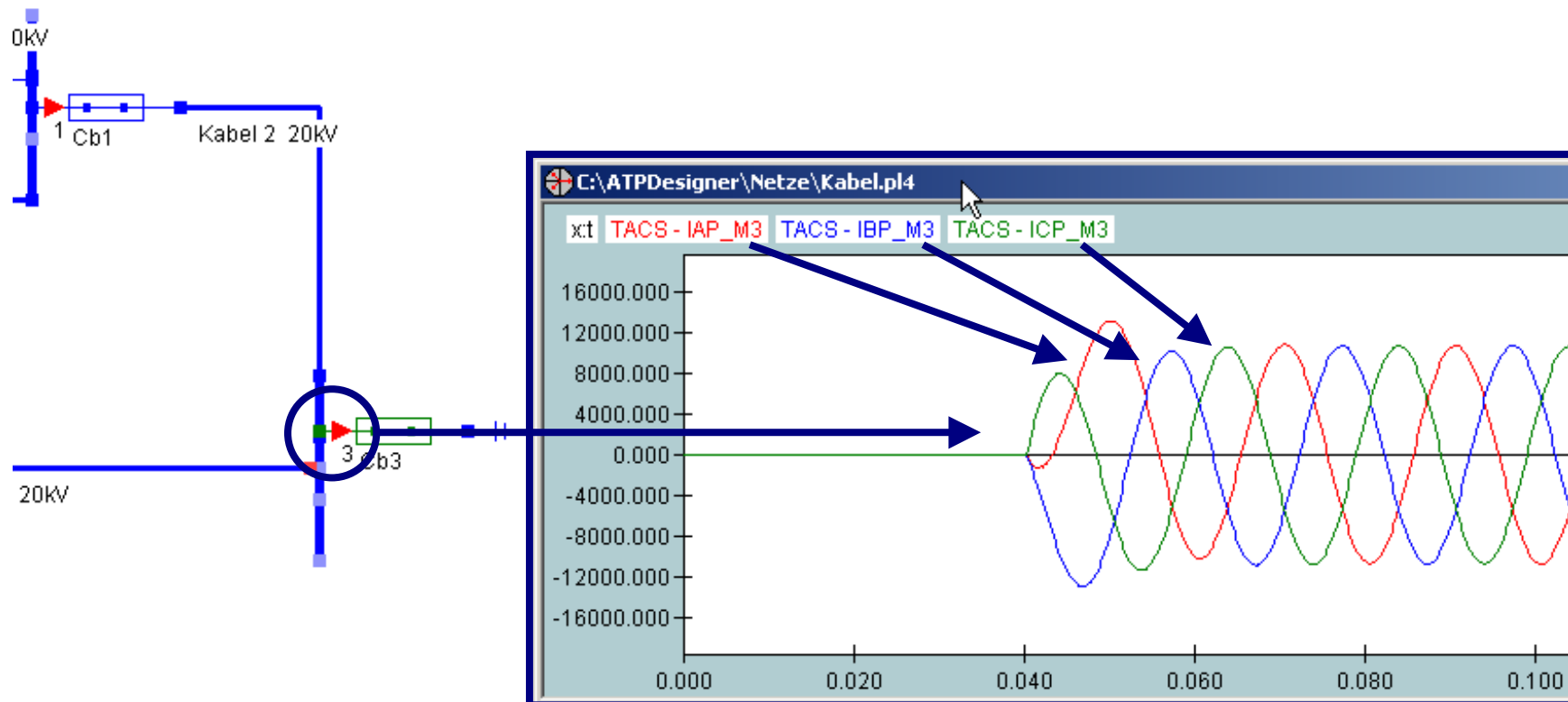
Beispiel: **Kompensiert betriebenes Mittelspannungsnetz**



Darstellung der Zeitverläufe der Signale

Kurzschlussstromberechnung - CAE-Tools in der Ingenieurausbildung

Zeitverläufe 1

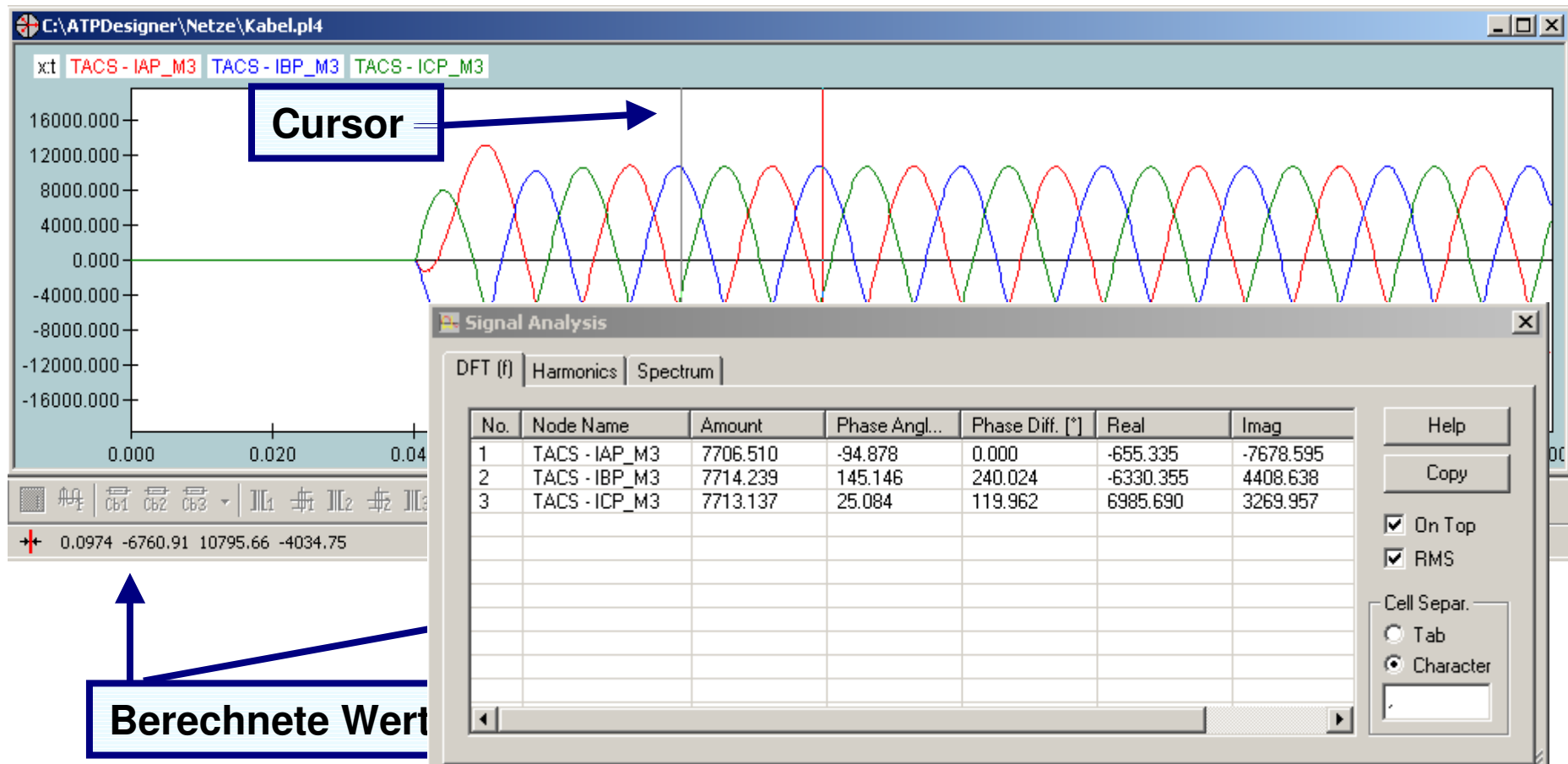


- Spannungs- und Stromsignale werden durch eindeutige Namen identifiziert
- z.B. **IAP_M3**
 - I = Strom, A = Leiter L1, P = Primär, M3 = Messort 3

Signalanalyse : Fourier - Transformation

Kurzschlussstromberechnung - CAE-Tools in der Ingenieurausbildung

Zeitverläufe 2

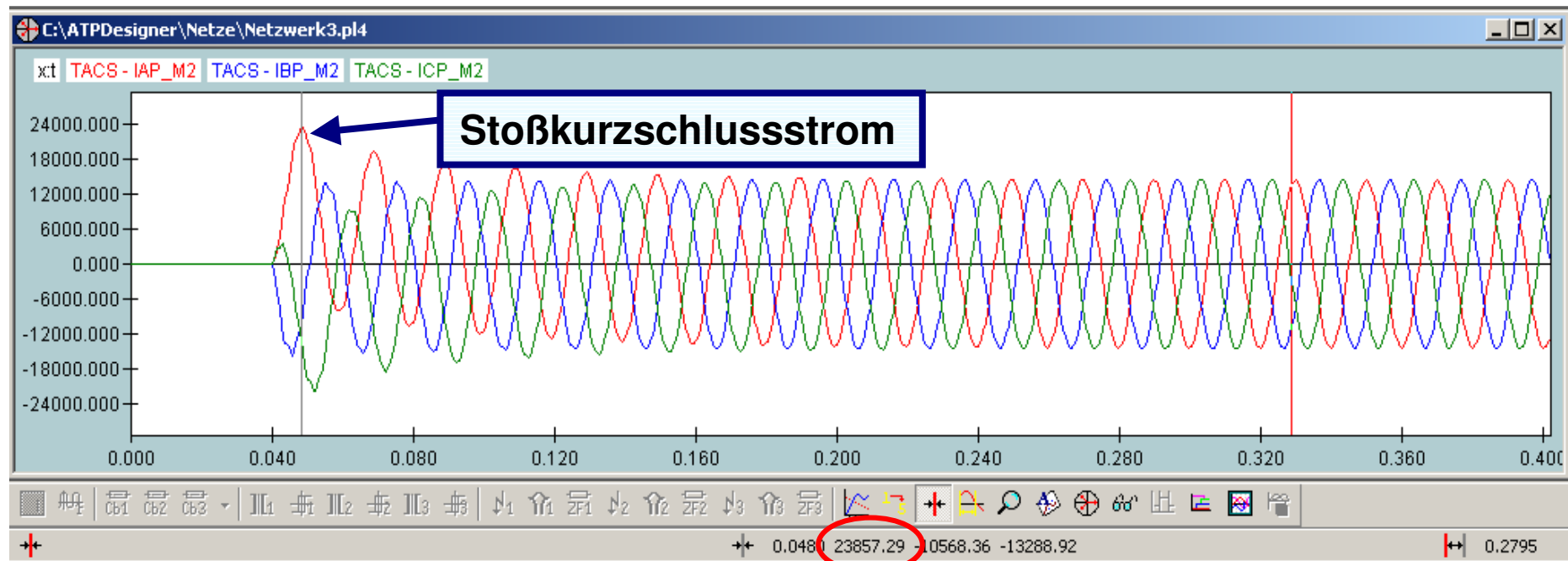


Analyse der Abtastwerte $i_k(t)$

Kurzschlussstromberechnung - CAE-Tools in der Ingenieurausbildung

Stoßkurzschlussstrom

- Der Stoßkurzschlussstrom i_p ist der im Falle eines Kurzschlusses größte, auftretende Augenblickswert, nach dem die mechanische Festigkeit von Betriebsmitteln ausgelegt werden muss.



Vergleich mit der Handrechnung

Hochschule für
Technik und Wirtschaft
des Saarlandes

University of Applied Sciences



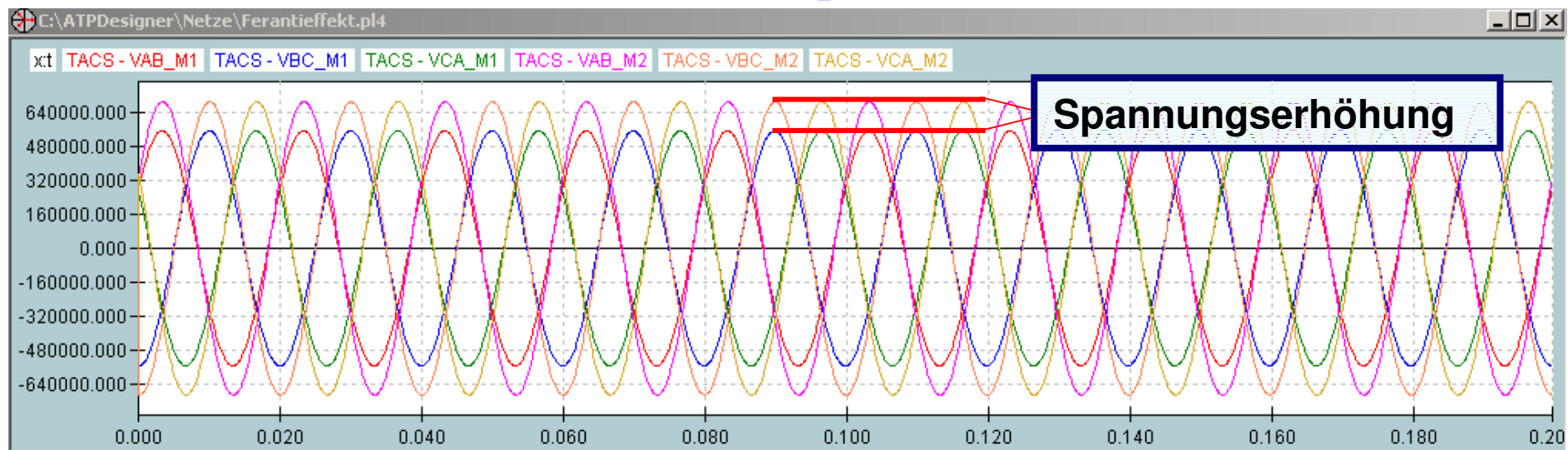
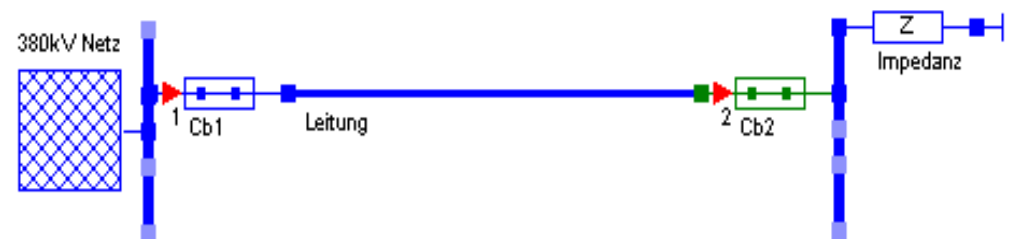
Kurzschlussstromberechnung - CAE-Tools in der Ingenieurausbildung

Kommt noch

Beispiel : Ferrantieffekt

Kurzschlussstromberechnung - CAE-Tools in der Ingenieurausbildung

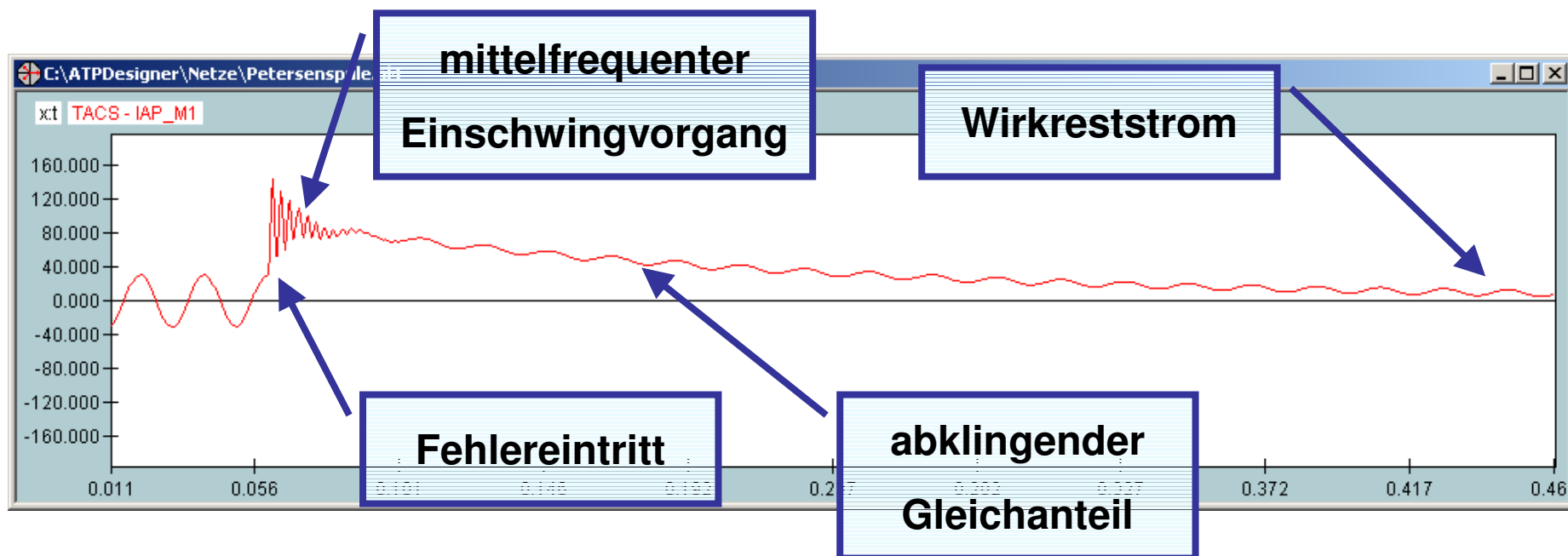
- Tritt auf bei langen leerlaufenden Freileitungen
- Ursache : Ausbreitung der Spannungssignale entlang der Leitung
- in ATP
 - Modell der homogenen Leitung als Grundlage des numerischen Leitungsmodells
- Am Ende der Leitung kommt es zu u.U. unzulässigen Spannungserhöhungen



Beispiel : Kompensierter Netzbetrieb

Kurzschlussstromberechnung - CAE-Tools in der Ingenieurausbildung

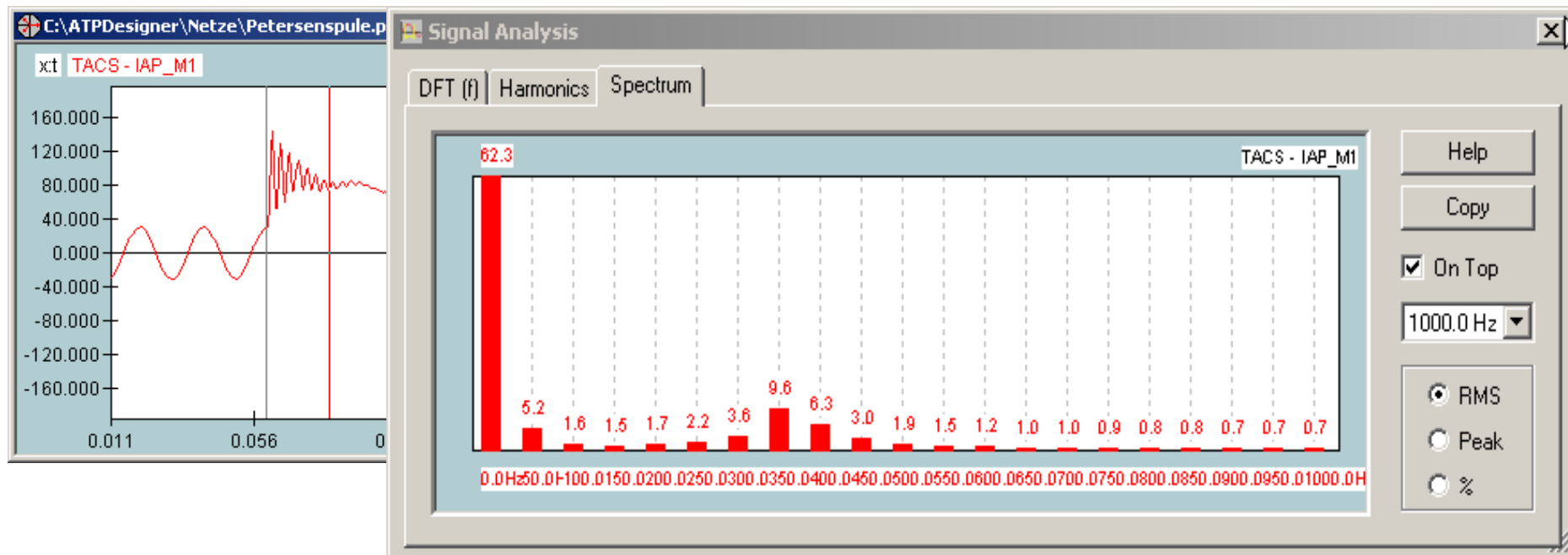
- **Kompensiert betriebenes Mittelspannungsnetz**
- **Kompensation des Fehlerstroms an der Fehlerstelle durch eine Induktivität im Transformatorsternpunkt (sog. Petersenspule)**
- **Durch die Resistanz der Petersenspule fließt immer noch ein Reststrom der sog. Wirkreststrom**
- **Mittelfrequenter Einschwingvorgang mit ATPDesigner simulierbar**



Beispiel : Kompensierter Netzbetrieb

Kurzschlussstromberechnung - CAE-Tools in der Ingenieurausbildung

- Der zeitliche Verlauf des Fehlerstroms enthält mehrere Signalanteile
 - Netzfrequenter Signalanteil $f = 50\text{Hz}$
 - Mittelfrequenter Signalanteil $f = ? \text{Hz}$
- Bestimmung des mittelfrequenten Signalanteils
- **Berechnung des Signalspektrums**



Ausarbeitung eines Laborversuchs

Kurzschlussstromberechnung - CAE-Tools in der Ingenieurausbildung

Inhalte des neuen Versuchs

- Kurze Beschreibung der VDE0102
- Beschreibung des Programms ATPDesigner
- Formelsammlung
- Keine Zuhilfenahme anderer Unterlagen notwendig



Lernziele

- **Kurzschlussstromberechnung nach VDE0102**
 - **Stern-Dreieck Umwandlung**
 - **Darstellung der Betriebsmittel in der VDE0102**
 - Leitungen
 - Transformatoren
 - Generatoren
 - Petersenspule
 - **Berechnung des Stoßkurzschlussstroms von Hand**
 - **Verfahren der Ersatzspannungsquelle an der Fehlerstelle**
- **Beherrschung eines Netzsimulationssystems**
- **Abweichung der Ergebnisse Handrechnung \Leftrightarrow Netzberechnung beurteilen können**
 - **Sind die Abweichung zulässig oder nicht zulässig ?**