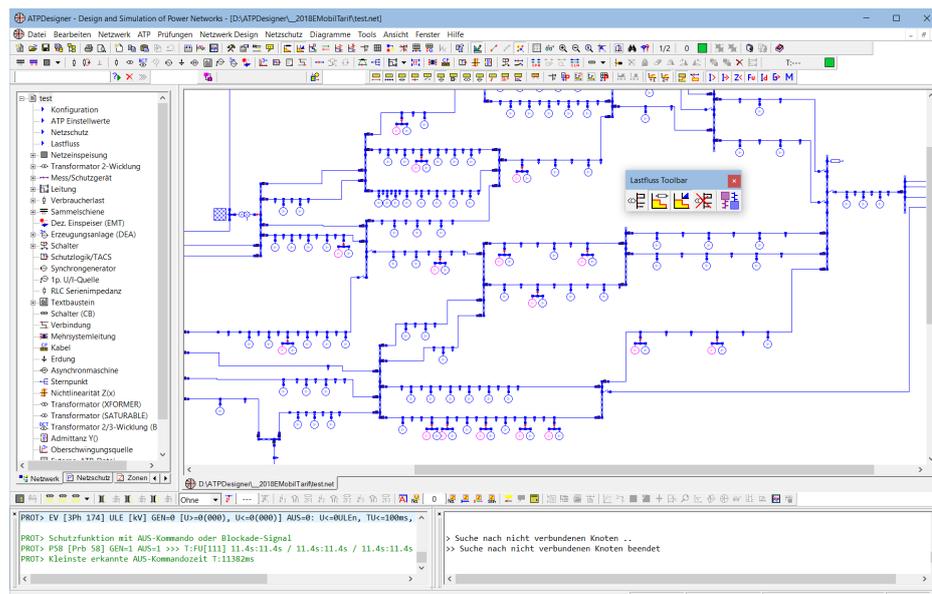


# Einführung in ATPDesigner

## Band 3: Netzberechnung

Anwendung der grafischen Benutzeroberfläche ATPDesigner und des Netzberechnungsprogramms ATP (Alternative Transients Program) zur Berechnung der stationären Zustände und dynamischen Vorgänge in Elektroenergieversorgungsnetzen



## Inhalt Band 3.1

<b>8</b>	<b>Berechnung des stationären Netzzustandes</b> 	<b>8</b>
8.1	Lastflussberechnung in ATPDesigner.....	9
8.2	Ergebnisse der Netzberechnung und MODELS.....	9
8.3	Anzeige der Berechnungsergebnisse in der Netzgrafik.....	10
8.4	Ausgabe der Berechnungsergebnisse in Tabellen  , 	11
8.4.1	Ausgabe der Ergebnisse der Lastflussberechnung als Bericht.....	13
8.5	Anzeige der Berechnungsergebnisse in Tooltips in der Netzgrafik.....	14
8.6	Anzeige der Berechnungsergebnisse in einem Zeigerdiagramm 	16
8.7	Ausgabe der Berechnungsergebnisse in Berichten .....	17
8.8	Darstellung des Spannungsfalls $\Delta U$ an Sammelschienen  ,  , 	19
8.9	Darstellung der Leistungsflussrichtung an Leitungen 	21
8.9.1	Berechnung der Leistungsflussrichtung .....	21
8.10	Umschaltung zwischen Einzeilen-Tooltip und Mehrzeilen-Tooltip .....	22
8.11	Entfernen der Ergebnisse der Netzberechnung 	23
8.12	Ausgabe der Ergebnisse der Netzberechnung (Messergebnisse) 	23
8.12.1	Kopieren - Ausgabe der Ergebnisse in eine .CSV-Datei .....	25
8.12.2	Bericht - Ausgabe der Ergebnisse in eine .XML-Datei.....	26
8.12.3	Bericht - Ausgabe der Ergebnisse in eine .JSON-Datei.....	26
8.12.4	Hinweis: Spannungen des Netzwerkelementes <i>Leitung</i> .....	27
8.13	Ergebnisse der Lastflussberechnung für Betriebsmittel 	30
8.13.1	Ausgabe der Berechnungsergebnisse in einem Bericht.....	31
8.14	Lastfluss- und Kurzschlussberechnung: Berechnungsergebnisse .....	32
8.14.1	Leitung .....	33
8.14.1.1	Ausgabe für eine Doppelleitung .....	35
8.14.1.2	ATP-Option \$WIDTH: Auswirkung auf die Anzeigewerte .....	36
8.14.2	2-Wicklungs-Transformator .....	38
8.14.3	Mess/Schutzgerät.....	41
8.14.3.1	Betriebsart <i>Udiff</i> zur Messung einer Längsspannung .....	42
8.14.3.2	Zusatzinformationen bei aktiver Netzschutzfunktion.....	43
8.14.4	Sammelschiene.....	43
8.14.4.1	Messwerte einer Einfachsammschiene .....	43
8.14.4.2	Messwerte einer Doppelsammelschiene .....	44
8.14.4.3	Bezeichner für die Messwerte der Einfach- und Doppelsammelschienen	44
8.14.5	Netzeinspeisung .....	45
8.14.6	Erzeugungsanlage (DEA) .....	46
8.14.6.1	Betriebsart <i>Un = const.</i> .....	46
8.14.6.2	Betriebsart <i>In = const.</i> .....	46
8.14.6.3	Betriebsart Leistungsquelle .....	47
8.14.7	Verbraucherlast.....	51
8.14.8	Schalter (CB) - Schalter mit Messort .....	52

8.14.9	2- und 3-Wicklungstransformator <i>BCTAN</i> .....	53
8.14.10	Logikfunktion für Schutzgeräte <i>Schutzlogik/TACS</i> .....	55
8.14.11	2- und 3-Wicklungstransformator <i>XFormer</i> .....	55
8.14.12	Synchrongenerator .....	57
8.14.13	Längsimpedanz <i>RLC Serienimpedanz</i> .....	58
8.14.14	Schalter.....	58
8.14.15	Kurzschluss 1pE/2p/2pE/3p/3pE.....	59
8.14.16	Anzeige der Berechnungsergebnisse in der Netzgrafik.....	60
8.14.16.1	Leitung .....	61
8.14.16.2	Verbraucherlast .....	61
8.14.16.3	Erzeugungsanlage (DEA).....	61
8.14.16.4	Sammelschiene .....	62
8.15	Überwachung der Netzspannung .....	62
8.16	Identifikation überlasteter Betriebsmittel mit einer Lastflussberechnung  .....	64
8.16.1	EIN- und AUS-Schalten von Betriebsmitteln .....	64
8.16.2	Überwachung der Stromauslastung .....	64
8.16.3	Überwachung der Netzspannung .....	65
8.16.4	Ergebnisse der Lastflussberechnung in einer Tabelle .....	65
8.16.4.1	Kopieren des Tabelleninhaltes in die Zwischenablage .....	66
8.16.4.2	Markieren eines Betriebsmittels in der Tabelle mit der Maus.....	67
8.17	Funktionstasten F9, Alt + F7, F8, F9 - Anzeige von Impedanzen .....	67
8.17.1	F9: $Z_{1.L1}, Z_{1.L2}, Z_{1.L3}, Z_{1.L2}, Z_{1.23}, Z_{1.32}$ (primäre Impedanzen, $Z_1 = R_1 + jX_1$ ).....	69
8.17.2	Alt + F7: $Z_{1.L1}, Z_{1.L2}, Z_{1.L3}, Z_{1.L2}, Z_{1.23}, Z_{1.31}$ (sekundäre Impedanzen, $ Z_1 , \varphi Z_1$ ) .....	70
8.17.3	Alt + F8: $Z_{1.L1}, Z_{1.L2}, Z_{1.L3}, Z_{1.L2}, Z_{1.23}, Z_{1.31}$ (primäre Impedanzen, $ Z_1 , \varphi Z_1$ ) .....	70
8.17.4	Alt + F9: $Z_{1.L1}, Z_{1.L2}, Z_{1.L3}, Z_{1.L2}, Z_{1.23}, Z_{1.31}$ (sekundäre Impedanzen, $Z_1 = R_1 + jX_1$ ) ....	71
8.18	Berechnung der Netzverlustleistung .....	72
8.19	Kurzschlussstromberechnung mit ATPDesigner und ATP  .....	74
8.20	Kurzschlussstrom $I_k$ an der Kurzschlussstelle berechnen (roter Blitz)  .....	76
8.20.1	Kurzschlussort an einer Leitung.....	77
8.20.2	Ausgabe Ergebnisse der Kurzschlussstromberechnung im Meldungsfenster ...	78
8.20.3	Eingabe des Kurzschlussortes in % der Leitungslänge.....	79
8.20.4	Anzeige der Kurzschlussströme am Kurzschlussort in der Netzgrafik  .....	79
8.21	Berechnung des stationären Lastflusses - <i>Load Adjusting, Phase Adjusting</i> .....	80
8.21.1	Verfahren der Stromiteration in ATPDesigner .....	81
8.21.2	Lastflussberechnung mit ATPDesigner .....	82
8.21.3	Einstelldialog <i>Einstellung Lastflussberechnung</i> .....	84
8.21.3.1	Registerkarte <i>Einstellung Lastflussberechnung</i> .....	85
8.21.3.2	Registerkarte <i>Lastfluss: Lasten</i> .....	86
8.21.3.3	Registerkarte <i>Lastfluss: DEA</i> .....	86
8.21.4	Lastflussberechnung – Meldung der Konvergenz oder Divergenz .....	86
8.21.5	Lastflussberechnung – Abbruch durch den Anwender  .....	87

8.21.6	Lastflussberechnung – Ergebnisse in einer Tabelle anzeigen .....	87
8.21.7	Lastflussberechnung - Export der Messwerte im .CSV-Format .....	88
8.21.8	Lastflussberechnung – Ergebnisse in einer Excel-Datei speichern .....	88
8.21.9	Lastflussberechnung – Ergebnisse in einer JSON-Datei speichern .....	88
8.21.10	Ausgabe der Lastflussergebnisse - <i>Lastfluss: Ergebnisdatei für Lasten</i> .....	90
8.21.11	Ausgabe der Lastflussergebnisse - <i>Lastfluss: Ergebnisdatei für DEA</i> .....	91
8.21.12	Ausgabe der Lastflussinformationen <i>LF&gt;</i> im Meldungsfenster .....	93
8.21.12.1	LF> Transformator ONT [Tra 2]: Stufenschalter Position Wicklung B ... ..	94
8.21.12.2	LF> Genauigkeit $dS=...$ , $dP=...$ , $dU=...$ , $TrStep=1$ .....	94
8.21.12.3	LF> Genauigkeit $dS=...$ , $dP=...$ , $dU=...$ , $TrStep=0$ .....	94
8.21.13	Schrägregler-Transformatoren in der Lastflussberechnung .....	94
8.22	Kurzschlusswerte $S_k$ und $I_k$ für alle Sammelschienen berechnen   .....	95
9	Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 (IEC 60909) .....	98
9.1	Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 und Schutzfunktionen .....	99
9.2	Einstelldialog zur Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 .....	100
9.2.1.1	Einstellwerte der Gruppe <i>Niedersp. (100..1000V)</i> .....	103
9.2.2	Einstellung der Kurzschlussleistung $S_{kmin}$ , $S_{kmax}$ für Netzeinspeisungen .....	103
9.2.3	Thermisch gleichwertiger Kurzschlussstrom $I_{th}$ .....	103
9.2.4	Betriebsarten zur Berechnung des Stoßkurzschlussstromes $i_P$ .....	104
9.2.5	Einstellwert <i>Ausgabewerte – Reduktion der Rechenzeit für KS-Berechnung</i> ...	104
9.2.5.1	Einstellwert <i>Nur Kurzschlussort, Keine Berechnung <math>i_P</math> – Minimale Rechenzeit</i>	104
9.2.5.2	Einstellwert <i>Alle Knoten – Maximale Rechenzeit</i> .....	106
9.3	Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 in ATPDesigner .....	106
9.3.1	Kurzschlussimpedanz $Z_k$ .....	107
9.3.1.1	Kurzschlussimpedanz $Z_k$ und Impedanzen im 012-System .....	107
9.3.2	Genauigkeiten der Kurzschlussstromberechnung in ATPDesigner .....	108
9.3.3	Vorgehensweise für die Kurzschlussstromberechnung in ATPDesigner .....	108
9.3.4	Methode: Verhältnis R/X an der Kurzschlussstelle .....	110
9.3.4.1	Berechnung des $\kappa$ -Faktor und des Stoßkurzschlussstromes $i_P$ .....	111
9.3.5	Methode: Ersatzfrequenz $f_c$ .....	111
9.3.5.1	Berechnung des $\kappa$ -Faktors und des Stoßkurzschlussstromes $i_P$ .....	113
9.3.6	Berechnung des thermisch gleichwertigen Kurzschlussstromes $I_{th}$ .....	114
9.3.6.1	Berechnung der Kurzschlussbelastbarkeit $I_{thz}$ .....	116
9.3.6.2	Kurzschlussbelastbarkeit $I_{thz}$ für Sammelschienen .....	116
9.3.6.3	Thermisch gleichwertiger Kurzschlussstrom $I_{th}$ für Leitungen .....	117
9.3.7	Automatische Erkennung der Nennspannung von Betriebsmitteln .....	118
9.3.8	Berechnung der Ströme beim Erdschluss .....	118
9.3.9	Behandlung von Kapazitäten in ATPDesigner .....	118
9.3.9.1	Berücksichtigung von Kapazitäten in Niederspannungsnetzen .....	118
9.3.9.2	Berücksichtigung von Kapazitäten in Mittel- und Hochspannungsnetzen ..	118
9.4	VDE 0102: Hinweise zu den Betriebsmittelmodellen .....	119
9.4.1	Synchrongenerator .....	119
9.4.2	Verbraucherlast .....	119
9.4.3	Netzeinspeisung .....	119

9.4.3.1	Spannungsfaktor $c_Q$ für Netzeinspeisungen .....	120
9.4.3.2	Kurzschlussleistung $S_{kmin}$ oder $S_{kmax}$ für Netzeinspeisungen .....	120
9.4.4	Asynchronmaschine .....	120
9.4.4.1	Temporäre Deaktivierung von Asynchronmaschinen während KS-Berechnung.....	121
9.4.5	Transformator 2-Wicklungen.....	121
9.4.5.1	Transformator 2-Wicklung als Netzstation.....	121
9.4.5.2	Einfluss der Anschaltung des Nullsystems an Wicklung A oder B .....	122
9.4.5.3	Transformator mit aktivierter interner <i>Verbraucherlast</i> an Wicklung B.....	122
9.4.6	Leitung .....	122
9.4.6.1	Kapazitäten $C_{LE}$ und $C_{LL}$ der Leitung .....	123
9.4.6.2	Temperaturabhängigkeit der Resistanz .....	123
9.4.6.3	Interne <i>Verbraucherlast</i> des Leitungsmodells <i>Lastfluss: Last</i> .....	123
9.4.7	2/3-Wicklungstransformator BCTAN.....	124
9.4.8	Kurzschlussstrom-Begrenzungsdröselspulen.....	124
9.4.9	Synchronphasenschieber und -motoren .....	124
9.4.10	Kraftwerksblöcke mit/ohne Stufenschalter .....	124
9.4.11	Statische Umrichter .....	124
9.4.12	Kondensatoren und nichtrotierende Lasten .....	124
9.4.13	Spannungs- und Stromquellen .....	124
9.4.14	Kraftwerke mit Vollumrichter (DIN EN 60909-0 (VDE 0102):2016-12).....	125
9.4.14.1	Kraftwerk mit Vollumrichter: Betriebsart <i>Stand Dezember 2016</i> .....	127
9.4.14.2	Kraftwerk mit Vollumrichter: Betriebsart <i>Stand Dezember 2016 (mod)</i> ...	128
9.4.15	Allgemeine Hinweise zur VDE 0102 und den Betriebsmittelmodellen .....	130
9.4.15.1	EN 60909-0 (VDE 0102):2016-12: Impedanzkorrekturfaktoren .....	130
9.5	VDE 0102: Beispiel für die Kurzschlussstromberechnung.....	130
10	Berechnung dynamischer Netzvorgänge  .....	135
10.1	Integrationsmethode mit konstanter Rechenschrittweite $\Delta T$ .....	135
10.2	Berechnung eines Leitungskurzschlusses für die Leitungen <i>Line 1..3</i> .....	135
10.3	Berechnung eines Netzkurzschlusses an einem beliebigen Netzknoten  .....	139
10.4	Darstellung der Zeitsignale als Diagramm  .....	141
10.4.1.1	Eingabefeld <i>Signal</i> .....	142
10.4.1.2	Darstellung der Signale in einem Diagramm als Polygonzug.....	142
10.4.2	Schließen eines Diagramms – Diagrammansicht, Netzwerkansicht .....	142
10.4.3	Darstellung von X/Y-Diagrammen mit anwenderspezifischer X-Achse .....	143
10.5	Zeitsignale im Diagramm ändern  .....	144
10.6	Ermittlung der Augenblickswerte von Zeitsignalen  .....	144
10.7	Zoomen von Teilen des Diagramms  .....	145
10.8	Neuzeichnen des Diagramms  .....	145
10.9	Berechnung von Amplitude, Phasenwinkel und Frequenzspektrum  .....	145
10.9.1	Registerkarte <i>DFT(f)</i> .....	146
10.9.2	Registerkarte <i>Oberschwingungen</i> .....	147

10.9.3	Registerkarte <i>Spektrum</i> .....	149
10.9.4	Registerkarte <i>R.M.S.</i> .....	150
10.10	Skalierung der Abtastwerte der Zeitsignale im Diagramm  .....	150
10.11	Einstellungen für Diagramme <i>Einstellwerte Diagramm</i> .....	152
10.11.1	Einstellwert <i>Auto. Skalierung Y-Achse</i> .....	153
10.11.2	Einstellwert <i>Einstellwerte sperren</i> .....	153
10.11.3	Einstellwert <i>DFT f</i> .....	153
10.11.4	Einstelldialog <i>Farben des Diagramms</i> .....	154
10.11.5	Einstellwert <i>Cursor Y-Werte aktivieren</i> .....	154
10.11.6	Einstellwert <i>DFT Fenster</i> .....	155
10.12	Einstellwerte Signalanalyse <i>Signal Analysis</i>  .....	156
10.12.1	Berechnung der Mitimpedanz $Z_{1k} = R_{1k} + jX_{1k}$ .....	157
10.12.2	Spannungen und Ströme: Mit- und Gegensystem (12).....	159
10.12.3	Beispiel: 20kV-Netz mit Signalanalyse.....	159
10.13	Ausgabe der Zeitsignale mit andere Dateiformaten  .....	160
10.13.1	Ausgabegerät <i>CMC Test System</i> .....	161
10.13.2	Ausgabegerät <i>Text</i> .....	161
10.13.3	Ausgabegerät <i>COMTRADE</i> .....	161
10.13.4	Ausgabegerät <i>Text (Excel)</i> .....	162
10.13.5	Ausgabegerät <i>CSV-Format</i> .....	162
10.14	Zeichenfarbe für die Zeitsignale <i>Farben des Diagramms</i>  .....	163
10.15	Erstellen eines Diagramms aus weiteren Dateiformaten .....	164
10.15.1	Dateiformat: <i>.TXT-Datei</i> .....	164
10.15.2	Dateiformat: <i>.CSV-Datei</i> .....	165
10.15.3	Dateiformat: <i>.JSON-Datei</i> .....	166
10.15.4	Dateiformat: <i>.CFG-Datei (COMTRADE)</i> .....	166
11	Lastrflussberechnung mit Dezentralen Erzeugungsanlagen .....	170
11.1	20kV-Netzeinspeisung – vorgelagertes Mittelspannungsnetz .....	174
11.2	Ortsnetztransformator 20/0,4kV, $S_{RT} = 630\text{kVA}$ , $u_k = 4\%$ , $P_k = 5,4\text{kW}$ .....	175
11.3	Mess/Schutzgerät.....	177
11.4	0,4kV-Sammelschiene.....	178
11.5	Erzeugungsanlage (EZA) konstanter Wirkleistung $P_n (IL:3p) = const.$ .....	179
11.5.1	Dezentrale Erzeugungsanlagen im Kurzschlussbetrieb (LVRT-Betrieb).....	182
11.6	Verbraucherlast – Bezugsanlage mit konstanter Leistung .....	182
11.7	Einstellwerte der Lastrflussberechnung .....	184
11.8	Ergebnisse der Lastrflussberechnung in ATPDesigner .....	185
11.9	Ergebnisse der Lastrflussberechnung in einem Bericht.....	187
12	Rechenzeit – Hinweise zur Minimierung und Überprüfung .....	189
12.1	Berechnung stationärer Netzzustände und Lastrflussberechnung .....	189

12.1.1	Rechenzeit: Ausgabe von Meldungen in den Meldungsfenstern.....	189
12.1.2	Meldungsfenster: Ausgabe der Rechenzeiten .....	190
12.1.3	ATP Option \$WIDTH: Kompaktes Format der .LST-Datei des ATP.....	190
12.1.4	Meldungsfenster deaktivieren.....	190
12.1.5	Auswahl der Intel-kompilierten Version des ATP Rechenkerns.....	191
12.1.6	Überprüfungen der Eingangs- und Ausgangsdateien des ATP.....	192
12.1.7	Meldungen und Ausgaben in Berichte deaktivieren .....	193
13	<b>Automatische Durchführung von Netzberechnungen und Prüfungen.....</b>	<b>194</b>
13.1	Prüfung von Netzschutzeinrichtungen mit dem Prüfsystem CMCxxx .....	194
13.2	.LOG-Datei der Kommunikation mit dem CEngine - Interface .....	196
13.3	Zuordnung der Messorte M1..5 der Schalter (CB) Cb1..5.....	198
13.4	Prüfverfahren.....	198
13.5	<b>Zeitkorrektur - Korrektur der gemessenen Zeiten.....</b>	<b>200</b>
13.5.1	Korrektur Flanke KOMMEND.....	200
13.5.2	Korrektur Flanke GEHEND .....	201
13.6	Testfunktion – Automatische Prüfung von Schutzeinrichtungen .....	202
13.7	Testfunktion – Automatisches Erzeugen von COMTRADE – Dateien .....	206
13.8	Testfunktion – Automatisches Erzeugen von Textdateien .....	208
13.9	Testfunktion – Automatische Durchführung von Lastflussberechnungen .....	209
13.10	<b>Testfunktion – Automatische Prüfung von Schutzkonzepten .....</b>	<b>211</b>
13.10.1	Prüfung von Schutzkonzepten über mehrere Folgeleitungen .....	214
13.10.2	Registerkarte <i>Liste der Testfunktionen</i> .....	215
13.10.2.1	Ein-/Ausschalten einer Prüfung in der <i>Liste der Testfunktionen</i> .....	217

**Mängelanzeige:** Der Anwender von ATPDesigner und der dazu gehörenden Dokumentation ist verpflichtet, jegliches Fehlverhalten der Software ATPDesigner oder Fehler oder unzulässige Inhalte in der dazu gehörenden Dokumentation dem Autor der Dokumentation oder dem Lizenzgeber von ATPDesigner unverzüglich schriftlich mitzuteilen.

**Änderungs- und Fehlerdokumentation:** Erweiterungen und Änderungen sowie bekannte Fehler in ATPDesigner werden in dem Dokument **ATPDesigner – Änderungs- und Fehlerdokumentation** dokumentiert. Das Dokument kann in der jeweils aktuellen Fassung vom Autor des vorliegenden Dokumentes oder dem Lizenzgeber von ATPDesigner oder über die Homepage des Instituts für Elektrische Energiesysteme [www.powerengs.de](http://www.powerengs.de) unter **Downloads** oder im **ATPDesigner OneDrive** bezogen werden.

## 8 Berechnung des stationären Netzzustandes

Die Berechnung des stationären Netzzustandes<sup>1</sup> des Elektroenergieversorgungsnetzes kann mit Hilfe der in ATPDesigner implementierten Funktionen als **stationäre Netzbe-  
rechnung** oder **Lastflussberechnungen** erfolgen. ATPDesigner verwendet dazu die im Rechenkern **ATP** [20] enthaltene Funktion der komplexen Wechselstromrechnung basierend auf den Verfahren der Knotenpotentialanalyse. Die Berechnungsfunktionen können über die Hauptmenüs **ATP** oder **Prüfungen** im Falle von Funktionen zum Netzschutz über das Hauptmenü **Netzschutz** gestartet werden. Viele der Menüpunkte können sehr einfach durch einen **Left Mouse Button Click** auf einen Toolbar-Button oder ein kontextsensitives **Right Mouse Button Menu** aufgerufen werden. Nachfolgend ist ein Ausschnitt aus der Haupttoolbar mit wichtigen Toolbar-Buttons zur Lastflussberechnung dargestellt.

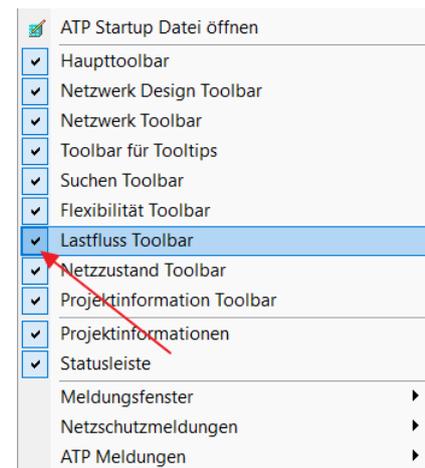
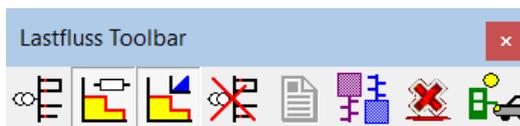


**Abbildung 1: Ausschnitt aus der Haupttoolbar : Toolbar-Buttons zur Lastflussberechnung**

Die Netzberechnung kann auch mit Hilfe der nachfolgend abgebildeten Lastfluss-Toolbar gestartet werden. Die Toolbar kann mit dem Menüpunkt **Lastfluss Toolbar** im Hauptmenü **Ansicht** angezeigt und frei verschoben oder andockt werden. Die Toolbar kann falls deaktiviert wie folgt aktiviert werden,

- Hauptmenü **Ansicht** öffnen
- Mit einem **Left Mouse Button Click** das „Häkchen“ vor dem Menüpunkt **Lastfluss Toolbar** aktivieren.

Toolbars können u.a. durch einen **Left Mouse Button Click** auf das Kreuz in der rechten oberen Ecke der Toolbar deaktiviert, d.h. geschlossen werden.



**Abbildung 2: Lastfluss Toolbar – Die wichtigsten Toolbar-Buttons für die Lastflussberechnung**

Die **Berechnung des stationären Netzzustandes** erfolgt

- durch einen **Left Mouse Button Click** auf den Toolbar-Button  oder
- durch Öffnen des Hauptmenüs **ATP**, Menüpunkt **Netzberechnung starten** oder
- durch die Tastenkombination **STRG + E**.

Die Nachbildung des Stromnetzes erfolgt mit Hilfe 3-phasiger Modelle für die Betriebsmittel wie z.B. das vollständige II-Ersatzschaltbild für Leitungen. Damit können sowohl symmetrische als auch unsymmetrische Netzzustände im fehlerfreien Normalbetrieb und im **Kurzschlussbetrieb** nachgebildet und berechnet werden. Der Rechenkern **ATP**

<sup>1</sup> Im Folgenden auch **stationäre Netzberechnung** genannt

selbst stellt u.a. ein Verfahren zur Berechnung elektrischer Netze auf Basis der Knotenpotentialanalyse zur Verfügung. Diese Fähigkeit wird von ATPDesigner entweder direkt oder im Sinne eines Stromiterationsverfahrens zur Ausführung einer [Lastflussberechnung](#) verwendet.

ATPDesigner erzeugt die zur Nachbildung des Stromnetzes benötigten Modelle der Betriebsmittel und weitere Anweisungen zur Ausführung einer Knotenpotentialanalyse in eine Textdatei die sog. Eingangsdatei (.ATP-Datei) für den Rechenkern **ATP** und startet das **ATP** als Betriebssystemtask im Hintergrund. In der Grundeinstellung ist diese nicht sichtbar, auch nicht als Symbol in der Taskleiste des Desktops. Falls erforderlich kann die Methode des Startes des Rechenkerns ATP im Einstelldialog Programmeinstellungen (Hauptmenü **Tools**) verändert werden

Die Ergebnisse der Knotenpotentialanalyse werden vom ATP in einer Textdatei, der sog. Ergebnisdatei (.LST-Datei) gespeichert, von ATPDesigner eingelesen und ausgewertet. Die Ergebnisdatei des Rechenkerns ATP beinhaltet alle Knotenspannungen und Zweigströme des Stromnetzes. ATPDesigner ordnet diese Ergebnisse den Betriebsmitteln zu und berechnet für die Betriebsmittel weitere von Strömen und Spannungen abgeleitete Größen wie z.B. Leistungen.

Eingangsdatei und Ergebnisdatei werden im temporären Verzeichnis des Betriebssystems gespeichert. Das temporäre Verzeichnis kann im Einstelldialog **Programmeinstellungen** im Hauptmenü **Tools** eingestellt werden. Die Ergebnisse der Stromnetzberechnung werden in Form von Tabellen, Tooltips, Ausgabedateien oder durch direkt in der Netzgrafik angezeigten [Tooltips](#) ausgegeben werden.

Ist die [Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 \(IEC 60909\)](#) eingeschaltet, so werden VDE 0102 spezifische Informationen in den Tooltips ausgegeben.

Da diese Berechnung durch das ATP in einer Background-Task u.U. mehrere Sekunden benötigt, sollte ATPDesigner nicht geschlossen werden. Ein mehrfacher Start des Rechenkerns ATP wird durch ATPDesigner verhindert.

## 8.1 Lastflussberechnung in ATPDesigner

Die Berechnung des stationären Netzzustandes ist keine Lastflussberechnung, da keine iterative Ausgleichsrechnung durchgeführt wird. Die Ausführung einer [Lastflussberechnung](#) ist ebenfalls möglich.

Unter einer Lastflussberechnung wird i.a. die „Bestimmung des stationären Betriebszustandes eines elektrischen Energieübertragungssystems“ [26] verstanden.

## 8.2 Ergebnisse der Netzberechnung und MODELS

Der optional in einer Eingangsdatei des ATP (.ATP-Datei) implementierbare **MODELS<sup>2</sup>** Programmcode wird im Falle der Berechnung des stationären Netzzustandes nicht in die Eingabedatei ausgegeben, da **MODELS** nur für die [Berechnung dynamischer Netzvorgänge](#) von dem Rechenkern ATP ausgeführt wird.

---

<sup>2</sup> **MODELS** ist eine ATP interne Programmiersprache.

### 8.3 Anzeige der Berechnungsergebnisse in der Netzgrafik

ATPDesigner zeigt ausgewählte Ergebnisse der Berechnung des stationären Netzzustandes, d.h. auch der Lastflussberechnung direkt in der Netzgrafik, d.h. in der Zeichenfläche wie in der nachfolgenden Abbildung beispielhaft dargestellt an.

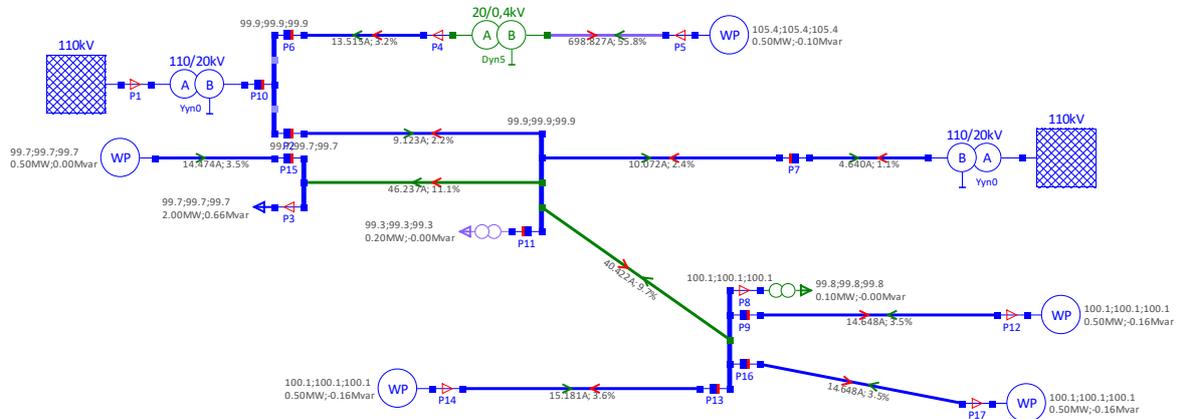


Abbildung 3: Anzeige der Berechnungsergebnisse in der Netzgrafik

Es muss beachtet werden, dass die angezeigte Leistung oder der angezeigte Leiterstrom bei Netzwerkelenten wie z.B. der Erzeugungsanlage (DEA) durch verschiedene Teillastfaktoren wie z.B. von Zonen, Bereiche oder spezifische Teillastfaktoren zu Null berechnet werden kann.

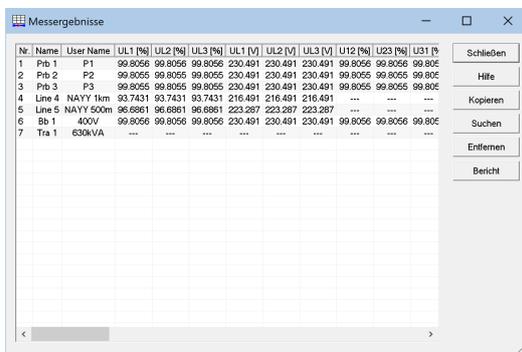
### 8.4 Ausgabe der Berechnungsergebnisse in Tabellen



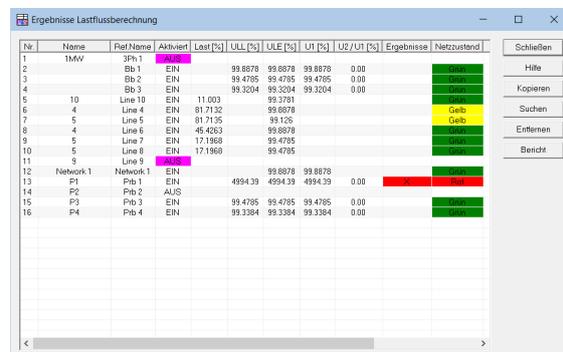
Die Ergebnisse der Netzberechnung können in Tabellenform angezeigt und mit Hilfe verschiedener Datenformate in andere Verarbeitungssysteme wie z.B. eine Textverarbeitung oder eine Tabellenkalkulation exportiert werden. Die nachfolgend dargestellten Dialoge können in ihrer Größe an der rechten unteren Ecke per Maus verkleinert oder vergrößert werden.

ATPDesigner bietet in vielen Dialogen die Möglichkeit die in dem Dialog dargestellten Ergebnisse als **Bericht** auszugeben. Der Bericht wird als **.XML-Datei im Office Open XML Format [21]** gespeichert und kann mit vielen Text- oder Tabellenverarbeitungssystemen eingelesen und weiterverarbeitet werden.

Darüber hinaus ist es möglich, die Ergebnisse im CSV-Format (**C**omma **S**eparated **V**alues) in dr Zwischenablage oder .CSV-Dateien zu speichern.



Anzeige der Messergebnisse der Mess/Schutzgeräte



Anzeige der Ergebnisse der Lastflussberechnung

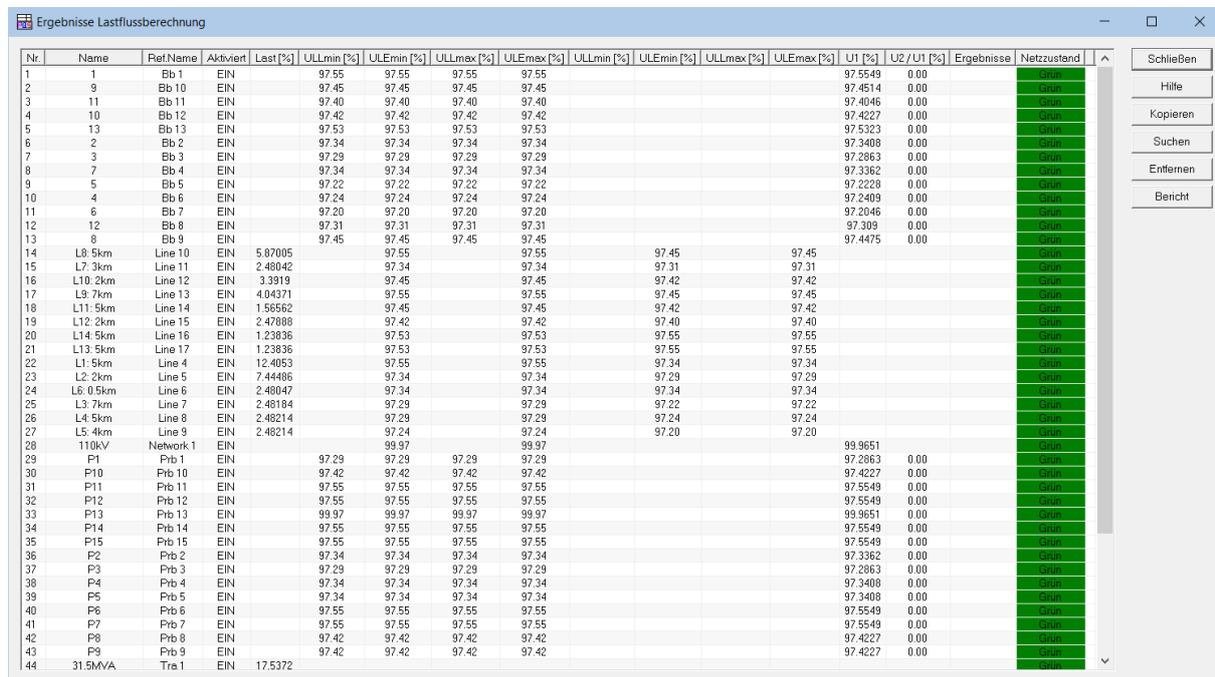
Abbildung 4: Ausgabe der Ergebnisse der Netzberechnung in Tabellen

Der Inhalt der Tabellen kann entweder im .CSV-Format zum Import z.B. in Excel in die Zwischenablage kopiert (**Kopieren**) oder als XML-Datei zum Einlesen z.B. in Word exportiert werden (**Bericht**).

Bedienelement	Bedeutung
Hilfe	Kontextsensitive Hilfe anzeigen
Kopieren	Kopieren der Liste im .CSV-Format in die Zwischenablage zum Import in eine Tabellenkalkulation
Schließen	Dialog schließen
Suchen	Suchen und markieren eines Netzwerkelementes in der Netzgrafik mit einem roten Markierungsrahmen
Entfernen	Entfernung der Markierung in der Netzgrafik
Bericht	Ausgabe der Tabelle als <b>Bericht</b> im XML-Format [21] zum Einlesen z.B. in eine Textverarbeitung

Die Berechnung des stationären Netzstatus berücksichtigt auch unsymmetrische Netzbetriebsmittel und unsymmetrische Netzzustände wie z.B. einen 2p-Kurzschluss. Der **rote Pfeil** an dem Betriebsmittel **Leitung** zeigt die resultierende 3-phasige Blindleistungsflussrichtung, der **grüne Pfeil** die resultierende 3-phasige Wirkleistungsflussrichtung

an. Es muss beachtet werden, dass die Berechnung der Leistungen leiterselektiv erfolgt. Daher ist die resultierende Leistungsflussrichtung nicht in allen Netzzuständen identisch mit den Stromflussrichtungen der Leiterströme.



Nr.	Name	RefName	Aktiviert	Last [%]	ULLmin [%]	ULEmin [%]	ULLmax [%]	ULEmax [%]	ULLmin [%]	ULEmin [%]	ULLmax [%]	ULEmax [%]	U1 [%]	U2 / U1 [%]	Ergebnisse	Netzzustand
1	1	Bb 1	EIN	97.55	97.55	97.55	97.55	97.55					97.5549	0.00	OK	OK
2	9	Bb 10	EIN	97.45	97.45	97.45	97.45	97.45					97.4514	0.00	OK	OK
3	11	Bb 11	EIN	97.40	97.40	97.40	97.40	97.40					97.4046	0.00	OK	OK
4	10	Bb 12	EIN	97.42	97.42	97.42	97.42	97.42					97.4227	0.00	OK	OK
5	13	Bb 13	EIN	97.53	97.53	97.53	97.53	97.53					97.5323	0.00	OK	OK
6	2	Bb 2	EIN	97.34	97.34	97.34	97.34	97.34					97.3408	0.00	OK	OK
7	3	Bb 3	EIN	97.29	97.29	97.29	97.29	97.29					97.2863	0.00	OK	OK
8	7	Bb 4	EIN	97.34	97.34	97.34	97.34	97.34					97.3362	0.00	OK	OK
9	5	Bb 5	EIN	97.22	97.22	97.22	97.22	97.22					97.2228	0.00	OK	OK
10	4	Bb 6	EIN	97.24	97.24	97.24	97.24	97.24					97.2409	0.00	OK	OK
11	6	Bb 7	EIN	97.20	97.20	97.20	97.20	97.20					97.2046	0.00	OK	OK
12	12	Bb 8	EIN	97.31	97.31	97.31	97.31	97.31					97.309	0.00	OK	OK
13	8	Bb 9	EIN	97.45	97.45	97.45	97.45	97.45					97.4475	0.00	OK	OK
14	L8: 5km	Line 10	EIN	5.87005	97.55	97.55	97.55	97.55	97.45				97.45		OK	OK
15	L7: 3km	Line 11	EIN	2.48042	97.34	97.34	97.34	97.34	97.31				97.31		OK	OK
16	L10: 2km	Line 12	EIN	3.9319	97.42	97.42	97.42	97.42	97.42				97.42		OK	OK
17	L9: 7km	Line 13	EIN	4.04371	97.55	97.55	97.55	97.55	97.45				97.45		OK	OK
18	L11: 5km	Line 14	EIN	1.58562	97.45	97.45	97.45	97.45	97.42				97.42		OK	OK
19	L12: 2km	Line 15	EIN	2.47888	97.42	97.42	97.42	97.42	97.40				97.40		OK	OK
20	L14: 5km	Line 16	EIN	1.23836	97.53	97.53	97.53	97.53	97.55				97.55		OK	OK
21	L13: 5km	Line 17	EIN	1.23836	97.53	97.53	97.53	97.53	97.55				97.55		OK	OK
22	L1: 5km	Line 4	EIN	12.4053	97.55	97.55	97.55	97.55	97.34				97.34		OK	OK
23	L2: 2km	Line 5	EIN	7.44486	97.34	97.34	97.34	97.34	97.29				97.29		OK	OK
24	L6: 0.5km	Line 6	EIN	2.48047	97.34	97.34	97.34	97.34	97.34				97.34		OK	OK
25	L3: 7km	Line 7	EIN	2.48184	97.29	97.29	97.29	97.29	97.22				97.22		OK	OK
26	L4: 5km	Line 8	EIN	2.48214	97.29	97.29	97.29	97.29	97.24				97.24		OK	OK
27	L5: 4km	Line 9	EIN	2.48214	97.24	97.24	97.24	97.24	97.20				97.20		OK	OK
28	110kV	Network 1	EIN	99.97	99.97	99.97	99.97	99.97					99.9651	0.00	OK	OK
29	P1	Prb 1	EIN	97.29	97.29	97.29	97.29	97.29					97.2863	0.00	OK	OK
30	P10	Prb 10	EIN	97.42	97.42	97.42	97.42	97.42					97.4227	0.00	OK	OK
31	P11	Prb 11	EIN	97.55	97.55	97.55	97.55	97.55					97.5549	0.00	OK	OK
32	P12	Prb 12	EIN	97.55	97.55	97.55	97.55	97.55					97.5549	0.00	OK	OK
33	P13	Prb 13	EIN	99.97	99.97	99.97	99.97	99.97					99.9651	0.00	OK	OK
34	P14	Prb 14	EIN	97.55	97.55	97.55	97.55	97.55					97.5549	0.00	OK	OK
35	P15	Prb 15	EIN	97.55	97.55	97.55	97.55	97.55					97.5549	0.00	OK	OK
36	P2	Prb 2	EIN	97.34	97.34	97.34	97.34	97.34					97.3362	0.00	OK	OK
37	P3	Prb 3	EIN	97.29	97.29	97.29	97.29	97.29					97.2863	0.00	OK	OK
38	P4	Prb 4	EIN	97.34	97.34	97.34	97.34	97.34					97.3408	0.00	OK	OK
39	P5	Prb 5	EIN	97.34	97.34	97.34	97.34	97.34					97.3408	0.00	OK	OK
40	P6	Prb 6	EIN	97.55	97.55	97.55	97.55	97.55					97.5549	0.00	OK	OK
41	P7	Prb 7	EIN	97.55	97.55	97.55	97.55	97.55					97.5549	0.00	OK	OK
42	P8	Prb 8	EIN	97.42	97.42	97.42	97.42	97.42					97.4227	0.00	OK	OK
43	P9	Prb 9	EIN	97.42	97.42	97.42	97.42	97.42					97.4227	0.00	OK	OK
44	31.5MVA	Tra 1	EIN	17.5372											OK	OK

Abbildung 5: Ergebnisse Lastflussberechnung – Ausgabe des stationären Netzzustandes

```

455 454,, ,A00099,AI1001,I,A,42.2191 A,119.252 °,209.306 °,-20.6306 A,36.8352 A
456 ,,,B00099,BI1001,I,B,42.217 A,-0.7475 °,-150.693 °,42.2134 A,-0.550792 A
457 ,,,C00099,CI1001,I,C,42.2183 A,-120.747 °,-150.693 °,-21.584 A,-36.2839 A
458 457,, ,A00102,AI1002,I,A,28.1382 A,119.23 °,209.284 °,-13.7404 A,24.5553 A
459 ,,,B00102,BI1002,I,B,28.1388 A,-0.7698 °,-150.716 °,28.1362 A,-0.378038 A
460 ,,,C00102,CI1002,I,C,28.1393 A,-120.769 °,-150.715 °,-14.3956 A,-24.1783 A
461 460,, ,A00102,AI1003,I,A,14.0791 A,119.297 °,209.352 °,-6.8895 A,12.2783 A
462 ,,,B00102,BI1003,I,B,14.0785 A,-0.703 °,-150.649 °,14.0775 A,-0.172738 A
463 ,,,C00102,CI1003,I,C,14.078 A,-120.704 °,-150.65 °,-7.18822 A,-12.1045 A
464 463,, ,A00088,AI1004,I,A,14.0696 A,119.238 °,209.293 °,-6.87224 A,12.2771 A
465 ,,,B00088,BI1004,I,B,14.0706 A,-0.7619 °,-150.708 °,14.0693 A,-0.187107 A
466 ,,,C00088,CI1004,I,C,14.0711 A,-120.763 °,-150.708 °,-7.1971 A,-12.0912 A
467 466,, ,A00088,AI1005,I,A,14.0684 A,119.222 °,209.276 °,-6.86809 A,12.278 A
468 ,,,B00088,BI1005,I,B,14.0674 A,-0.7777 °,-150.723 °,14.0661 A,-0.19094 A
469 ,,,C00088,CI1005,I,C,14.0669 A,-120.777 °,-150.723 °,-7.19802 A,-12.0858 A
470 469,, ,A00099,AI1007,I,A,8.9027 A,119.391 °,209.445 °,-4.36917 A,7.75683 A
471 ,,,B00099,BI1007,I,B,8.90254 A,-0.6081 °,-150.554 °,8.90204 A,-0.0944781 A
    
```

Abbildung 6: Ergebnisse Lastflussberechnung – Export als .CSV-Datei per Zwischenablage

Der Inhalt der Zwischenablage kann direkt in eine Tabellenkalkulation wie z.B. Excel eingefügt und dort mit dem Befehl **Daten**, Untermenü **Text in Spalten...** formatiert werden. Die nachfolgende Abbildung zeigt beispielhaft die mit Hilfe des Trennzeichens „,“ formatierte Tabelle.

Nr	Name	RefName	Aktiver	Last [%]	U1 [kV]	U2 [kV]	U3 [kV]	U4 [kV]	U5 [kV]	U6 [kV]	U7 [kV]	U8 [kV]	U9 [kV]	U10 [kV]	U11 [kV]	U12 [kV]	Ergebnisse	Netzstatus
16																		
17	16 Bb 1	Bb 1	EIN	97.55	97.55	97.55	97.55											Grün
18																		
19																		
20	19 Bb 1	Bb 1	EIN	97.45	97.45	97.45	97.45											Grün
21																		
22																		
23																		
24																		
25																		
26	25 L1: 5km	Line 4	EIN	97.40	97.40	97.40	97.40											Grün
27																		
28																		
29	28 L1: 5km	Line 4	EIN	97.20	97.20	97.20	97.20											Grün

Abbildung 7: Ergebnisse Lastflussberechnung – Export nach Excel

### 8.4.1 Ausgabe der Ergebnisse der Lastflussberechnung als Bericht

Mit dem Taster Bericht können die Ergebnisse der Lastflussberechnung in einem Bericht als XML-Datei [21] gespeichert werden. Die nachfolgende Abbildung zeigt ein Beispiel.

The screenshot shows two pages of an XML report. The left page contains a large table with columns for component ID, name, type, status, and various voltage and load parameters. The right page shows a summary table for transformers (Tra 5 to Tra 9) with columns for name, type, status, and a 'Grün' (Green) status indicator.

Abbildung 8: Ausgabe der Ergebnisse der Lastflussberechnung als Bericht (XML-Datei)

## 8.5 Anzeige der Berechnungsergebnisse in Tooltips in der Netzgrafik

Nachdem mit Hilfe des Buttons  oder dem Menüpunkt **Netzberechnung starten** im Hauptmenü **ATP** die [Berechnung eines stationären Netzzustandes](#) durchgeführt wurde, können die Ergebnisse der Netzberechnung sowie ausgewählte Einstellwerte von Netzwerkelementen in einem kontextsensitiven am Mauscursor befindlichen Tooltip (Anzeigefenster) angezeigt werden. Dazu muss der Mauscursor über ein Netzwerkelement bewegt werden. Tooltips können als [einzeilige oder mehrzeilige Tooltips](#) verwendet werden.

Wird an der Mauscursorposition ein Netzwerkelement identifiziert, so werden die zu dem Netzwerkelement zugehörigen Ergebnisse der Netzberechnung in einem Tooltip wie nachfolgend dargestellt angezeigt. Die Angabe „1 of 11“ des einzeiligen Tooltips gibt an, dass mit Mauscursor **Up/Down** (Tastatur  $\uparrow$  und  $\downarrow$ ) bis zu elf Zeilen angezeigt werden können.

■ 1 of 11 [Bct 1] Bct 1 (Einstellwerte: Ur1=110kV; Ur2=20kV; Ur3=10kV; Y-Y-Y)

**Abbildung 9: Einzeiliger kontextsensitiver Tooltip mit Ergebnissen der Netzberechnung**

Nach der Ausführung der Netzberechnung kann das in der nachfolgenden Abbildung dargestellte **Right Mouse Button Menu** geöffnet werden. Verschiedene Optionen können mit dem kontextsensitiven Menü durch einen **Right Mouse Button Click** ausgeführt bzw. aktiviert/deaktiviert werden.



**Abbildung 10: Kontextsensitives Menü Ergebnisse Netzberechnung**

Tooltips zur Anzeige der Ergebnisse der Netzberechnung können auch mehrzeilig angezeigt werden.

Bedienelement	Bedeutung
<b>Mehrzeilen Tooltips</b>	<a href="#">Umschaltung zwischen der 1-zeiligen und der mehrzeiligen Darstellung</a> der Messwerte nach einer stationären Netzberechnung.
<b>Spannungsfall</b>	<a href="#">Ein- bzw. Ausschalten der Anzeige des Spannungsfalls</a> an den Sammelschienen des elektrischen Energieversorgungsnetzes.

<b>Tooltips</b>	Die Anzeige der Ergebnisse der <b>Lastfluss- und Kurzschlussberechnung</b> in Tooltips für die genannten Betriebsmittel kann in einem Untermenü ein- oder ausgeschaltet werden.
<b>Alle Tooltips deaktivieren</b>	Die Anzeige der <b>Lastfluss- und Kurzschlussberechnung</b> - Tooltips für alle Betriebsmittel kann in einem Untermenü ein- oder ausgeschaltet werden. Die Anzeige der Leiterströme und der Wirkleistungsflussrichtung an Leitungen bleibt erhalten.
 <b>Ergebnisse Netzberechnung</b>	<a href="#">Berechnung eines stationären Netzzustandes</a> , Darstellung der Ergebnisse in der Netzgrafik, Tabellen und in Tooltips.
 <b>Ergebnisse der Netzbe- rechnung entfernen</b>	Darstellung der Ergebnisse der Netzberechnung und ggfs. angezeigter Schaltzeiten eines Schalters in der Netzgrafik löschen.
 <b><a href="#">Kurzschlussort</a> definieren</b>	<b>Kurzschlussart und Kurzschlussort</b> können mit Hilfe des Mausursors an einen Netzknoten angebunden werden.
 <b>Kurzschluss entfernen</b>	Der Kurzschluss wird aus dem elektrischen Energieversorgungsnetz entfernt.
<b>Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102</b>	Die <a href="#">Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102</a> wird ein- bzw. ausgeschaltet.

In dem Menüpunkt **Anzeigefenster für Messwerte** kann die Anzeige der Ergebnisse in Tooltips ein- oder ausgeschaltet werden.



**Abbildung 11: Ein- und Ausschalten der Tooltips im Menüpunkt Anzeigefenster für Messwerte**

Alternativ kann die **Toolbar für Tooltips** im Hauptmenü **Ansicht** angezeigt werden.



**Abbildung 12: Toolbar zum Ein- und Ausschalten der Tooltips**

F9: $Z_{1k} = R + jX$ (prim.)
Alt+F7: $ Z_{1k} $ (sek.)
Alt+F8: $ Z_{1k} $ (prim.)
Alt+F9: $Z_{1k} = R + jX$ (sek.)
Messwerte speichern

Abbildung 13: Anzeige der Kurzschlussimpedanzen im Mitsystem

## 8.6 Anzeige der Berechnungsergebnisse in einem Zeigerdiagramm

Die Ergebnisse der **Berechnung des stationären Netzzustandes** bzw. der **Lastflussberechnung** können für das Netzwerkelement **Mess/Schutzgerät** in einem Zeigerdiagramm in der komplexen Ebene dargestellt werden. Die nachfolgende Abbildung zeigt ein Beispiel. Der Dialog kann parallel zum Hauptprogramm ATPDesigner und z.B. einer neuen Lastflussberechnung geöffnet bleiben. Wird eine neue Lastflussberechnung gestartet, werden die Ergebnisse der Lastflussberechnung in dem Dialog automatisch aktualisiert.

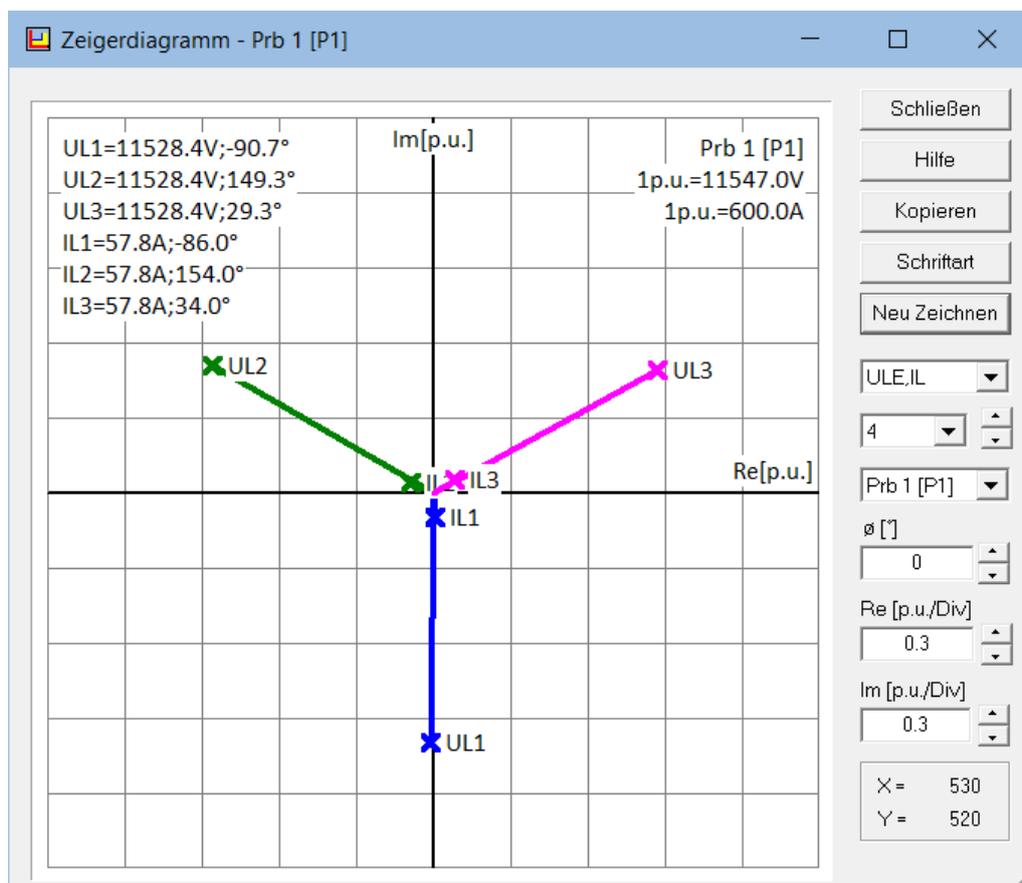


Abbildung 14: Ergebnisse der Lastflussberechnung in einem Zeigerdiagramm

Das Diagramm kann wie folgt geöffnet werden.

- Hauptmenü **Diagramme**
- Menüpunkt **Zeigerdiagramm für Lastflussberechnung**

- Toolbar für Lastflussberechnung 

Einstellwert	Bedeutung
<b>Schließen</b>	Schließen des Dialogs
<b>Kopieren</b>	Das Diagramm wird als Bild (Enhanced Meta File Format (EMF)) in die Zwischenablage kopiert.
<b>Schriftart</b>	Schriftart des Diagramms einstellen
<b>Neu Zeichnen</b>	Diagramm neu zeichnen
<b>Re [p.u./Div]</b>	Skalierungsfaktor der reellen Achse
<b>Im [p.u./Div]</b>	Skalierungsfaktor der imaginären Achse
<b>X=, Y=</b>	Größe des Diagramms in X/Y-Richtung in Pixel
<b>Ø[°]</b>	Das Zeigerdiagramm kann um den Winkel gedreht werden. Damit kann z.B. eine der Spannungen in die horizontale Achse gedreht werden.

Mit Hilfe einer Auswahlliste können die darzustellenden elektrischen Signale ausgewählt werden. Abhängig von der Auswahl werden die p.u.-Skalierungsgrößen automatisch berechnet und im Diagramm angezeigt. Es muss beachtet werden, dass das Netzwerkelement **Mess/Schutzgerät** im Verbraucherzählpfeilsystem (VZS) arbeitet. Die positive Messrichtung wird durch die Richtung des **roten** Pfeilsymbols des Netzwerkelementes angezeigt.

Auswahlliste	Darstellung im Diagramm	1 p.u.
<b>ULE, IL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Leiter-Erd-Spannungen <math>\underline{U}_{L123}</math></li> <li>▪ Leiterströme <math>\underline{I}_{L123}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>U_n / \sqrt{3}</math></li> <li>▪ <math>I_n</math></li> </ul>
<b>P, Q</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Wirkleistung P</li> <li>▪ Blindleistung Q</li> </ul>	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$
<b>012</b>	Spannungen und Ströme des Mitsystems, Gegensystems und Nullsystems (012-System)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>U_n / \sqrt{3}</math></li> <li>▪ <math>I_1</math></li> </ul>
<b>0ab</b>	Spannungen und Ströme des 0αβ-Systems	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>U_n / \sqrt{3}</math></li> <li>▪ <math>I_\alpha</math></li> </ul>
<b>U0, I0</b>	Nullspannung und Nummstrom	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>U_n / \sqrt{3}</math></li> <li>▪ <math>I_1</math></li> </ul>

## 8.7 Ausgabe der Berechnungsergebnisse in Berichten

Die Ergebnisse der Berechnung stationärer Netzzustände, der Lastflussberechnung und insbesondere der Netzschutzprüfung können als **Bericht** im Format einer **.XML-Datei im Office Open XML Format** [21] gespeichert und direkt in Textverarbeitungsprogrammen wie z.B. WORD eingelesen und weiterverarbeitet werden. Die nachfolgende Abbildung zeigt beispielhaft Ausschnitte eines automatisiert erstellten Berichtes, der als XML-Datei [21] direkt in Word eingelesen wurde.

**Bericht: Prüfbericht für alle Schutzgeräte**

02.02.2021, 09:10:13  
 C:\ATPDesigner\00\_12\_Distanzschutz\Netz20kV\DIST\_UnterImpedanz.bnet  
 ATPDesigner Version 4.01.37 - 01.02.2021  
 Version NET File 6.3 - 22.01.2021

**Topologie des Stromnetzes**

Seite 1 von 7 Seiten

**Kurzschluss**

Kurzschluss	L123E 20.0%
Betriebsmittel	[Line 5] L2: 2km
IkL1; phi	0 A; 0°
IkL2; phi	0 A; 0°
IkL3; phi	0 A; 0°

Seite 2 von 7 Seiten

**[Pfb 4] P4**

**Schutzfunktion: Distanzschutz**

Generalanregung	GEN=0	---
General AUS-Kommando	AUS=0	---
General AUS-Kommandozeit	Ts=---	---

**Allgemeine Einstellwerte**

Un	20000 V
In	600 A
Tpr	0ms
Tcb	60ms

**Anregesystem: Allgemeine Einstellwerte**

IF>	0.05 In	Aktiviert=1
I>	1.5 In	Aktiviert=1
IE>	1000 In	Aktiviert=1
UE>	1000 ULE nom	Aktiviert=0
U<	-1 ULE nom	Aktiviert=0
U<<	-1 ULE nom	Aktiviert=0

**Anregesystem: Allgemeine Einstellwerte Überprüfung**

Unschärfbereich	5%
-----------------	----

**Anregesystem: Anreignale**

I>	0 (L1=0; L2=0; L3=0)
IE>	0
U>	0
U<	0
Messpunkt im Unschärfbereich	0
Messpunkt in Anreignfläche	0
Zuverlässigkeit	0 In
Zuverlässigkeit	0 p.u.

**Gerichtete und ungerichtete Endzeitstufen: Einstellwerte**

Nr.	I> [In]	Ti> [ms]	Dir.	Aktiviert
1	1000	2000	Ungerichtet	1
2	1000	300	Ungerichtet	0

**Impedanzen: Einstellwerte**

Un prim; Un sek	100 V; 100 V
In prim; In sek	1 A; 1 A
kE	1.7162; -43.6309°
RE/R1; XE/X1	1, 1
Rl/Bo	3 Ohm

**Impedanzen: Einstellwerte**

Nr.	Re[k] [Ohm]	Xek [Ohm]	α[Z] [°]	t [ms]	Dir.	φ [°]	Aktiviert
1	0.1105	0.187	59.42	100	Vorwärts	45	1
2	0.3453	0.561	59.42	300	Vorwärts	45	1
3	15	24	80	600	Vorwärts	45	0
4	20	32	80	900	Vorwärts	45	0
5	25	40	80	1200	Vorwärts	45	0

Seite 4 von 7 Seiten

**Kurzschluss**

I1 [A]	0.000185995
U1 [V]	11278.2
I2 [A]	1.34758e-05
U2 [V]	0.000261173
I3 [A]	1.79827e-06
U3 [V]	0.000297151
Distanzschutz AUS	0
Rik sek [Ohm]	---
Xik sek [Ohm]	---
Tk [ms]	---
Distanzone Nr.	---
Impedanzmessschleife	---

**Unterimpedanzanregung Z<: Einstellwerte**

Enabled	1
α[Z] [°]	80
X [Ohm]	100
R [Ohm]	100
α[Last] [°]	20
Rlast [Ohm]	85

**Unterimpedanzanregung Z<: Anregung und AUS-Kommando**

ZL1E	-----
ZL2E	-----
ZL3E	-----
ZL2	-----
ZL3	-----
Z23	-----
Z31	-----
Endzeitstufen gestartet	0
GEN=0	-----
AUS=0	-----

**Unterspannungsschutz und Überspannungsschutz: Kurzschluss**

U<	GEN=0	---
U>	GEN=0	---
U<	AUS=0	---
U>	AUS=0	---

**Unterspannungsschutz und Überspannungsschutz: Einstellwerte**

Nr.	U< [Un]	TU< [ms]	Aktiviert	U> [Un]	TU> [ms]	Aktiviert
1	-1	100	0	1000	100	0
2	-1	100	0	1000	100	0
3	-1	100	0	1000	100	0

**Unterspannungsschutz und Überspannungsschutz: Anrege- und Auslösesignale**

Nr.	U<	U<U>	U>
1	0 (L1=0; L2=0; L3=0)	AUS=0	0 (L1=0; L2=0; L3=0)
2	0 (L1=0; L2=0; L3=0)	AUS=0	0 (L1=0; L2=0; L3=0)
3	0 (L1=0; L2=0; L3=0)	AUS=0	0 (L1=0; L2=0; L3=0)

Seite 5 von 7 Seiten

Abbildung 15: Automatisiert erstellter Bericht als XML-Datei [21] in Word eingelesen

### 8.8 Darstellung des Spannungsfalls $\Delta U$ an Sammelschienen



Wurde die Option zur Anzeige des Spannungsfalles

- durch das Einschalten eines Toolbar-Buttons  oder 
- oder im Hauptmenü **ATP**, Menüpunkt **Spannungsfall an Sammelschienen**

aktiviert, wird nach einer [stationären Netzberechnung](#)  der Spannungsfall an den Sammelschienen in Tooltips angegeben. Die Ausgabe des Tooltip direkt an der Sammelschiene erfolgt nur, wenn der Toolbar-Schalter  eingeschaltet ist. Der Tooltip gibt den Spannungsfall für jede Leiter-Erd-Spannung  $\underline{U}_{L123}$  in  $\%U_n / \sqrt{3}$  an. Die nachfolgende Abbildung zeigt ein Stromnetz mit der Darstellung des Spannungsfalls an den Sammelschienen in Tooltips. Das Einschalten der Spannungsfallanzeige kann auch in dem kontextsensitiven Menü nach Abbildung 10 ein- und ausgeschaltet werden.

Zusätzlich zu der Anzeige des Spannungsfalls an den Sammelschienen können die kleinsten oder größten Beträge der Leiter-Erd-Spannungen an den Betriebsmitteln ausgewertet und entsprechend den **definierten Spannungsbändern mit anwenderspezifischen Farben** eingefärbt werden.

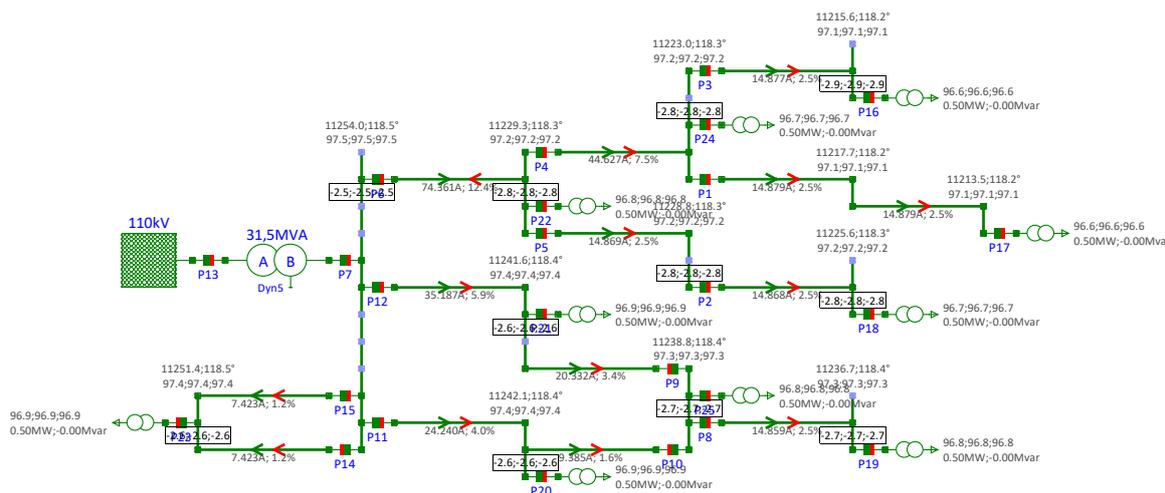


Abbildung 16: Spannungsfall  $\Delta U$  an Sammelschienen (Toolbar-Button  eingeschaltet)

Der Spannungsfall  $\Delta U$  der Leiter-Erd-Spannungen  $\underline{U}_{L123}$  wird bezogen auf im Einstelldialog der **Sammelschiene** eingestellte Nennspannung  $U_n$  berechnet und angezeigt.

$$\Delta U = \frac{U_{LE}}{U_n / \sqrt{3}}$$

Die Anzeige des Spannungsfalls kann mit Hilfe des kontextsensitiven Menüs [Ergebnisse der Netzberechnung](#) ein- oder ausgeschaltet werden. Ist die Option ausgeschaltet, so werden die Beträge der Leiter-Erd-Spannungen  $\underline{U}_{L123}$  in  $\%U_n / \sqrt{3}$  an den Sammelschienen angezeigt.

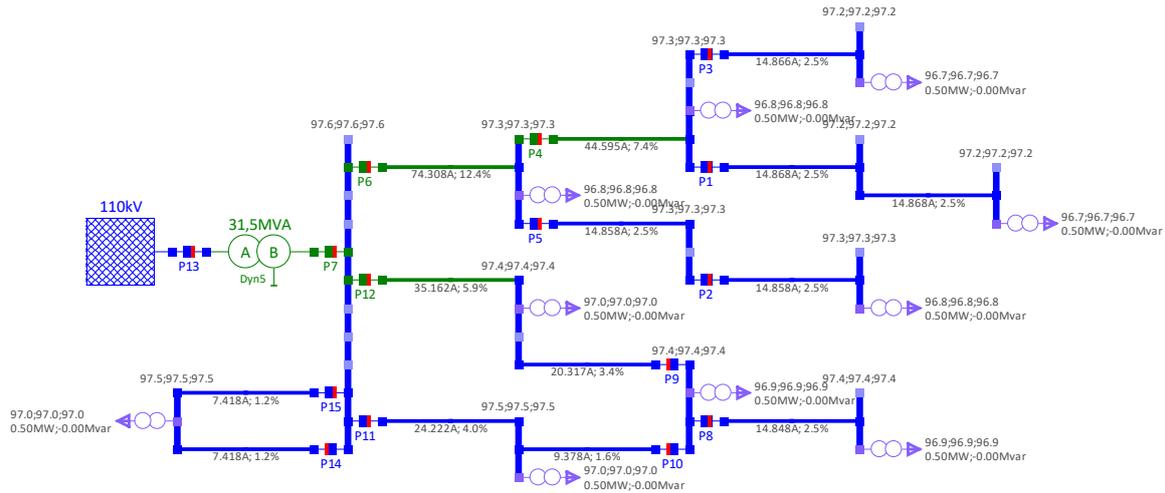
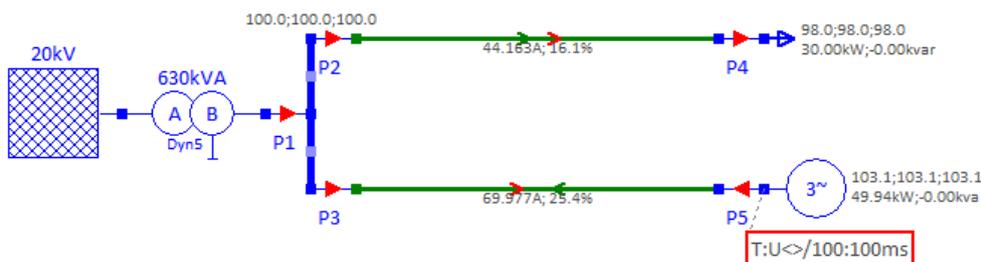


Abbildung 17: Anzeige der Beträge der Leiter-Erd-Spannungen  $\underline{U}_{L123}$  in  $\%U_n/\sqrt{3}$

## 8.9 Darstellung der Leistungsflussrichtung an Leitungen

Die Flussrichtung der resultierenden dreiphasigen Scheinleistung, die über eine Leitung transportiert wird, wird an den Leitungen mit Hilfe von Pfeilen in **grüner (Wirkleistung P)** und **roter (Blindleistung Q)** Zeichenfarbe dargestellt. Im Falle eines symmetrischen Netzzustandes, d.h. ein fehlerfreier symmetrischer Netzzustand als auch ein 3pE/3p-Kurzschluss, ist die Flussrichtung der Leiterströme  $I_{L1}$ ,  $I_{L2}$  und  $I_{L3}$  identisch mit der Flussrichtung der über die Leitung transportierten Scheinleistung. Dies gilt allerdings grundsätzlich nicht im Falle unsymmetrischer Netzzustände insbesondere bei 1pE-, 2p- oder 2pE-Kurzschlüssen.



**Abbildung 18: Anzeige der Leistungsflussrichtung**

Die Leistungswerte können in dem [Tooltip der Leitung](#) optional angezeigt werden. In obiger Abbildung fließt im oberen Leitungsanfang die resultierende Wirkleistung und die resultierende Blindleistung zur Lastimpedanz. Im unteren Leitungsanfang ist zu erkennen, dass die dezentrale Erzeugungsanlage Wirkleistung einspeist und im untererregten Betrieb Blindleistung aufnimmt.

Der linke oder rechte Knoten einer **Leitung** kann durch einen Einstellwert im Einstelldialog der Leitungen direkt in der Netzgrafik angezeigt werden.

Bedienelement	Bedeutung
	<b>Ein- und Aus-Schalten der Leistungsflussrichtung</b> Die roten und grünen Pfeile können mit Hilfe des Toolbar-Buttons ein- und ausgeschaltet werden.

### 8.9.1 Berechnung der Leistungsflussrichtung

Die Leistungsflussrichtungen von Wirkleistung P und Blindleistung Q von **Leitungen** wird mit Hilfe der resultierenden 3-phasigen komplexen Scheinleistung  $\underline{S}$  ermittelt. Dazu wird am linken Knoten „L“ der Leitung mit den netzfrequenten Zeigern der zugehörigen Leiter-Erd-Spannungen  $\underline{U}_{L123}$  und den Leiterströmen  $\underline{I}_{L123}$  die komplexe 3-phasige Scheinleistung  $\underline{S}$  berechnet.

Die Stromflussrichtung (d.h. die Messorientierung der fiktiven Stromwandler) wird ausgehend vom linken Knoten in die Leitung hinein positiv angenommen. Es wird das Verbraucherzählpfeilsystem (VZS) angewendet. Von den äußeren Knoten der Leitung aus gesehen werden Leistungsflüsse in die Leitung hinein mit positiven Zahlwerten dargestellt. In obiger Abbildung ist im oberen Leitungsabgang zu erkennen, dass die Wirkleistung **P** und die Blindleistung **Q** in Pfeilrichtung zu der angeschlossenen Lastimpedanz im Sinne einer Bezugsanlage fließen.

- ⇒ Der linke und rechte Knoten einer Leitung kann durch den Einstellwert **Links/Rechts** im Einstelldialog einer **Leitung** in der Netzgrafik mit den Bezeichnungen „L“ und „R“ angezeigt werden.

Es muss hier darauf hingewiesen werden, dass die zur Darstellung der Leistungsflussrichtung verwendete, resultierende 3-phasige Scheinleistung aus den Spannungen und Strömen der drei Leiter im Sinne der komplexen Wechselstromrechnung berechnet wird. Im Falle eines symmetrischen Netzzustandes, also im 3-phasigen symmetrischen Normalbetrieb, entspricht, bezogen auf das Verbraucherzählpeilsystem (VZS), die Leistungsflussrichtung im natürlichen System der Leistungsflussrichtung im Mitsystem und damit den Stromflussrichtungen der Leiterströme  $\underline{I}_{L123}$ . Diese gilt bei unsymmetrischen Netzzuständen mit und ohne Kurzschluss nicht.

Die Berechnung der komplexen 3-phasigen Scheinleistung  $S$  am linken Knoten der Leitung erfolgt wie nachfolgend dargestellt [13].

$$\underline{S} = \underline{U}_{L1} \cdot \underline{I}_{L1}^* + \underline{U}_{L2} \cdot \underline{I}_{L2}^* + \underline{U}_{L3} \cdot \underline{I}_{L3}^*$$

mit  $\underline{U} = U_{Re} + jU_{Im}$  und  $\underline{I} = I_{Re} + jI_{Im}$

$$\underline{U} \cdot \underline{I}^* = (U_{Re} + jU_{Im}) \cdot (I_{Re} + jI_{Im})^* = (U_{Re} + jU_{Im}) \cdot (I_{Re} - jI_{Im})$$

$$\underline{U} \cdot \underline{I}^* = (U_{Re} \cdot I_{Re} + U_{Im} \cdot I_{Im}) + j(U_{Im} \cdot I_{Re} - U_{Re} \cdot I_{Im})$$

$$P = \text{Re}(\underline{S}) \text{ und } Q = \text{Im}(\underline{S})$$

- $\underline{U}_{L1}, \underline{U}_{L2}, \underline{U}_{L3}$  : netzfrequenter Zeiger der Leiter-Erd-Spannungen am linken Knoten der **Leitung**
- $\underline{I}_{L1}, \underline{I}_{L2}, \underline{I}_{L3}$  : netzfrequenter Zeiger der Leiterströme am linken Knoten der Leitung, gemessen mit dem Verbraucherzählpeilsystem (VZS)

Mit der Definition in obiger Gleichung werden die vom linken oder rechten Knoten in die Leitung hineinfließende Wirkleistung sowie induktive Blindleistung mit gegenüber der Leiter-Erd-Spannung nacheilendem Leiterstrom einen positiven Zahlwert.

## 8.10 Umschaltung zwischen Einzeilen-Tooltip und Mehrzeilen-Tooltip

Die Darstellung der Ergebnisse der Netzberechnung kann in einem einzeiligen oder mehrzeiligen Tooltip erfolgen. Als Grundeinstellung wird immer der mehrzeilige Tooltip angezeigt, der beispielhaft in der nachfolgenden Abbildung dargestellt ist.

```
[3Ph 1] 500kW
Einstellwerte: Pn (IL:3p) = const.; Betriebsart S/P: Begrenzung IL = Imax deaktiviert
Einstellwerte: P=500.00kW; Un=0.400kV fn=50.00Hz; Phi=18.2°; E=0kWh
Einstellwerte: CP=0.950 untererregt; ILmax=911.6A; Sr=1000000000000000.000kVA
Einstellwerte: LVRT=VDE-AR-N 4110; s=100.0%; s(DEA)=100.0%; s(Zone)=100.0%; s(Bereich)=100.0%
Einstellwerte: s(Zone E-Mobile)=100.0%; s(Bereich E-Mobile)=100.0%
Einstellwerte: U>=1e+15p.u.; U<=0p.u.; NAP=Prb 4; NAP(LVRT)=Prb 5
U12=420.506V, 152.8°, 105.1%; U23=420.506V, 32.8°, 105.1%; U31=420.506V, -87.2°, 105.1%
UL1=242.779V, 122.8°, 105.1%; UL2=242.779V, 2.8°, 105.1%; UL3=242.779V, -117.2°, 105.1%
Um=0.242748kV
IL1=700.401A, 134.1°, [11.3°]; IL2=700.401A, 14.1°, [11.3°]; IL3=700.401A, -105.9°, [11.3°]
IL1=92.2%In; IL2=92.2%In; IL3=92.2%In [In=759.671A]
S=510.128710kVA, P=500.239691kW, Q=-99.957754kvar, 0.981
NAP: U1=11516.4V, -90.1°; I1=14.2A, -71.8°, [18.3°]
LVRT OFF: IL1=0.000A;0.00°; IL2=0.000A;0.00°; IL3=0.000A;0.00°
```

### Abbildung 19: Mehrzeiliger Tooltip zur Anzeige von Berechnungsergebnissen

Die Umschaltung zwischen dem einzeiligen und mehrzeiligen Tooltip erfolgt mit Hilfe des kontextsensitiven Menüs in Abbildung 10, das mit einem **Right Mouse Button Click** geöffnet werden kann, wenn vorher eine [Berechnung eines stationären Netzzustandes](#) durchgeführt wurde.

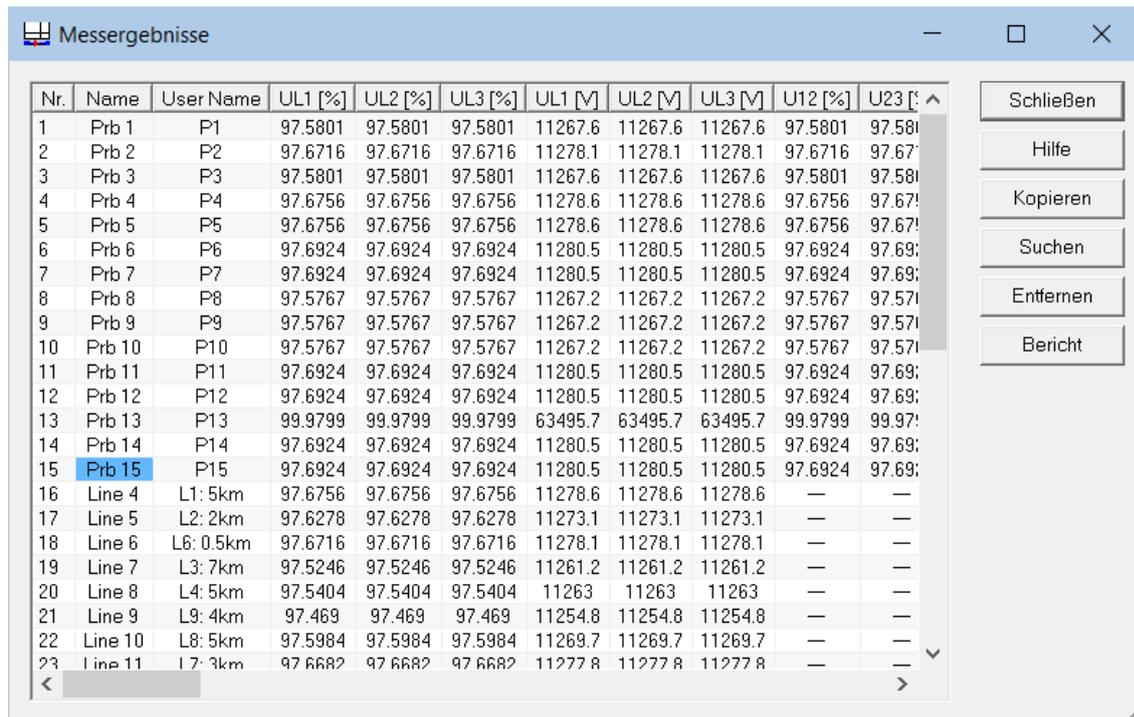
### 8.11 Entfernen der Ergebnisse der Netzberechnung

Die in Messwert-Frames oder in Tooltips angezeigte Ergebnisse der Netzberechnung können mit einem **Left Mouse Button Click** auf den Toolbar-Button  oder dem Menüpunkt **Netzberechnung entfernen** im Hauptmenü **ATP** aus der Netzgrafik entfernt werden. Die angezeigten Tooltips oder Messwert-Frames werden darüber hinaus immer dann gelöscht, wenn eine wesentliche Änderung des Netzwerks z.B. eines Einstellwertes erfolgt ist. Die Messwerte können ebenfalls mit dem kontextsensitiven Menü [Ergebnisse der Netzberechnung](#) entfernt werden.

### 8.12 Ausgabe der Ergebnisse der Netzberechnung (Messergebnisse)

Die Ergebnisse der Netzberechnung (**Messergebnisse**) für im Netz verwendete Netzwerkelemente wie z.B. **Mess/Schutzgeräte** oder **Leitungen** können auch in einer Tabelle angezeigt oder in einem **Bericht** [21] ausgegeben werden. Die Tabelle kann auch im Falle eines Kurzschlusses verwendet werden. Wird ein Betriebsmittel in der Netzgrafik mit einem **Left Mouse Button Click** ausgewählt und markiert, so wird das Betriebsmittel in der Liste farblich **blau** hinterlegt. Die Tabelle mit den Ergebnissen der Netzberechnung kann wie nachfolgend erläutert geöffnet werden.

- Toolbar-Button  oder
- Hauptmenü **ATP**, Menüpunkt **Messergebnisse**



Nr.	Name	User Name	UL1 [%]	UL2 [%]	UL3 [%]	UL1 [V]	UL2 [V]	UL3 [V]	U12 [%]	U23 [%]
1	Prb 1	P1	97.5801	97.5801	97.5801	11267.6	11267.6	11267.6	97.5801	97.5801
2	Prb 2	P2	97.6716	97.6716	97.6716	11278.1	11278.1	11278.1	97.6716	97.6716
3	Prb 3	P3	97.5801	97.5801	97.5801	11267.6	11267.6	11267.6	97.5801	97.5801
4	Prb 4	P4	97.6756	97.6756	97.6756	11278.6	11278.6	11278.6	97.6756	97.6756
5	Prb 5	P5	97.6756	97.6756	97.6756	11278.6	11278.6	11278.6	97.6756	97.6756
6	Prb 6	P6	97.6924	97.6924	97.6924	11280.5	11280.5	11280.5	97.6924	97.6924
7	Prb 7	P7	97.6924	97.6924	97.6924	11280.5	11280.5	11280.5	97.6924	97.6924
8	Prb 8	P8	97.5767	97.5767	97.5767	11267.2	11267.2	11267.2	97.5767	97.5767
9	Prb 9	P9	97.5767	97.5767	97.5767	11267.2	11267.2	11267.2	97.5767	97.5767
10	Prb 10	P10	97.5767	97.5767	97.5767	11267.2	11267.2	11267.2	97.5767	97.5767
11	Prb 11	P11	97.6924	97.6924	97.6924	11280.5	11280.5	11280.5	97.6924	97.6924
12	Prb 12	P12	97.6924	97.6924	97.6924	11280.5	11280.5	11280.5	97.6924	97.6924
13	Prb 13	P13	99.9799	99.9799	99.9799	63495.7	63495.7	63495.7	99.9799	99.9799
14	Prb 14	P14	97.6924	97.6924	97.6924	11280.5	11280.5	11280.5	97.6924	97.6924
15	Prb 15	P15	97.6924	97.6924	97.6924	11280.5	11280.5	11280.5	97.6924	97.6924
16	Line 4	L1: 5km	97.6756	97.6756	97.6756	11278.6	11278.6	11278.6	—	—
17	Line 5	L2: 2km	97.6278	97.6278	97.6278	11273.1	11273.1	11273.1	—	—
18	Line 6	L6: 0.5km	97.6716	97.6716	97.6716	11278.1	11278.1	11278.1	—	—
19	Line 7	L3: 7km	97.5246	97.5246	97.5246	11261.2	11261.2	11261.2	—	—
20	Line 8	L4: 5km	97.5404	97.5404	97.5404	11263	11263	11263	—	—
21	Line 9	L9: 4km	97.469	97.469	97.469	11254.8	11254.8	11254.8	—	—
22	Line 10	L8: 5km	97.5984	97.5984	97.5984	11269.7	11269.7	11269.7	—	—
23	Line 11	L7: 3km	97.6682	97.6682	97.6682	11277.8	11277.8	11277.8	—	—

Abbildung 20: Anzeige der Messwerte Probe, Leitungen, Sammelschienen

Bezeichner	Bedeutung
<b>Name</b>	Referenzname des Netzwerkelementes
<b>User Name</b>	Anwenderspezifischer Name des Netzwerkelementes
<b>UL1 [V] , [%]</b>	Betrag der Leiter-Erd-Spannungen in V
<b>UL2 [V] , [%]</b>	Betrag der Leiter-Erd-Spannungen in % bezogen auf die dem jeweiligen Netzwerkelement zugeordneten Nennspannung $U_n/\sqrt{3}$
<b>UL3 [V] , [%]</b>	Betrag der Leiter-Erd-Spannungen in % bezogen auf die dem jeweiligen Netzwerkelement zugeordneten Nennspannung $U_n$
<b>U12 [V] , [%]</b>	Betrag der Leiter-Leiter-Spannungen in V
<b>U23 [V] , [%]</b>	Betrag der Leiter-Leiter-Spannungen in % bezogen auf die dem jeweiligen Netzwerkelement zugeordneten Nennspannung $U_n$
<b>U31 [V] , [%]</b>	Betrag der Leiter-Leiter-Spannungen in % bezogen auf die dem jeweiligen Netzwerkelement zugeordneten Nennspannung $U_n$
<b>IL1 [A] , [%]</b>	Betrag der Leiterströme in A
<b>IL2 [A] , [%]</b>	Betrag der Leiterströme in % bezogen auf den dem jeweiligen Netzwerkelement zugeordneten Nennstrom $I_n$
<b>IL3 [A] , [%]</b>	Betrag der Leiterströme in % bezogen auf den dem jeweiligen Netzwerkelement zugeordneten Nennstrom $I_n$
<b>U1 [V] , [%]</b>	Betrag der Mit- (1), Gegen- (2) und Nullsystemspannung (0) in V
<b>U2 [V] , [%]</b>	Betrag der Mit- (1), Gegen- (2) und Nullsystemspannung (0) in % bezogen auf die dem jeweiligen Netzwerkelement zugeordneten Nennspannung $U_n/\sqrt{3}$
<b>U0 [V] , [%]</b>	Betrag der Mit- (1), Gegen- (2) und Nullsystemspannung (0) in % bezogen auf die dem jeweiligen Netzwerkelement zugeordneten Nennspannung $U_n/\sqrt{3}$
<b>I1 [V] , [%]</b>	Betrag des Mit- (1), Gegen- (2) und Nullsystemstroms (0) in A
<b>I2 [V] , [%]</b>	Betrag des Mit- (1), Gegen- (2) und Nullsystemstroms (0) in % bezogen auf den dem jeweiligen Netzwerkelement zugeordneten Nennstrom $I_n$
<b>I0 [V] , [%]</b>	Betrag des Mit- (1), Gegen- (2) und Nullsystemstroms (0) in % bezogen auf den dem jeweiligen Netzwerkelement zugeordneten Nennstrom $I_n$
<b>ILmax [A] , [%]</b>	Betrag des größten der drei Leiterströme in A Betrag des größten der drei Leiterströme in % bezogen auf den dem jeweiligen Netzwerkelement zugeordneten Nennstrom $I_n$
<b>Zone</b>	Dem Netzbetriebsmittel zugeordnete Zone
<b>S [VA]</b>	Dreiphasige Scheinleistung in VA
<b>P [W]</b>	Dreiphasige Wirkleistung in W
<b>Q [var]</b>	Dreiphasige Blindleistung in var
<b>CosPhi</b>	Verschiebungsfaktor des Netzwerkelementes $\cos \varphi = P / S$
<b>SL1 [VA]</b>	



Die Reihenfolge der Messwerte in der Liste wird durch einen eigenen alphabetischen Algorithmus sichergestellt. Solange kein Netzwerkelement gelöscht oder hinzugefügt wird, ist die Reihenfolge immer gleich. Daher kann die Liste zum einfachen Aufbau von Diagrammen z.B. mit Excel verwendet werden.

### 8.12.2 Bericht - Ausgabe der Ergebnisse in eine .XML-Datei

Die Ergebnisse der Netzberechnung können als **Bericht** im Format einer **.XML-Datei im Office Open XML Format [21]** gespeichert und direkt in einer Tabellenkalkulation wie z.B. Excel eingelesen werden, nicht aber in ein Textverarbeitungssystem wie z.B. Word. Inhalt und Aufbau sind identisch zu der [Liste für die .CSV-Datei](#). In der nachfolgenden Abbildung ist ein Beispiel dargestellt.

- **Left Mouse Button Click** auf den Taster **Bericht**
- Auswahl des Dateifilters **XML-Bericht (\*.XML)** im Dialog **Speichern unter**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
1	Nr.	Name	User Name	UL1 [%]	UL2 [%]	UL3 [%]	UL1 [V]	UL2 [V]	UL3 [V]	U12 [%]	U23 [%]	U31 [%]	U1
2	1	Prb 1	P1	99,1744	99,1744	99,1744	229,034	229,034	229,034	99,1744	99,1744	99,1744	39€
3	2	Prb 2	P2	98,462	98,4621	98,462	227,388	227,388	227,388	98,462	98,462	98,462	39€
4	3	Prb 3	P3	97,4892	97,4892	97,4892	225,142	225,142	225,142	97,4892	97,4892	97,4892	38€
5	4	Line 4	4x150 0.4kV	99,1745	99,1745	99,1745	229,034	229,034	229,034	---	---	---	.
6	5	Line 5	4x150 0.4kV	98,462	98,4621	98,462	227,388	227,388	227,388	---	---	---	.
7	6	Line 6	4x150 0.4kV	97,4892	97,4892	97,4891	225,142	225,142	225,142	---	---	---	.
8	7	Bb 1	Bb 1	99,1745	99,1745	99,1745	229,034	229,034	229,034	99,1745	99,1745	99,1745	39€
9	8	Bb 2		98,462	98,4621	98,462	227,388	227,388	227,388	98,462	98,462	98,462	39€
10	9	Bb 3	Bb 3	97,4892	97,4892	97,4891	225,142	225,142	225,142	97,4892	97,4892	97,4892	38€
11	10	Tra 1	Tra 1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	.
12													

Abbildung 22: Ergebnisse der Netzberechnung als Excel-kompatible XML-Datei

### 8.12.3 Bericht - Ausgabe der Ergebnisse in eine .JSON-Datei

Die Ergebnisse der Netzberechnung können als **Bericht** im **.JSON-Format [28]** gespeichert werden. In der nachfolgenden Abbildung ist ein Beispiel dargestellt.

- **Left Mouse Button Click** auf den Taster **Bericht**
- Auswahl des Dateifilters **XML-Bericht (\*.XML)** im Dialog **Speichern unter**

```
[
  {
    "Name Software": "ATPDesigner",
    "Version Software": "Version 4.01.91 - 27.12.2023",
    "Version Net File": "Version NET File 6.3 - 22.01.2021",
    "File Name": "C:\\ATPDesigner\\Netzschutz2023\\Netz20kVSchutzTemplateV4.bnet",
    "timestamp": "28.12.2023 21:10:07",
    "fn [Hz]": 50
  },
  {
    "Name": "Prb 1",
    "User Name": "P1",
    "UL1 [%]": 97.1939,
    "UL2 [%]": 97.1939,
    "UL3 [%]": 97.1939,
    "UL1 [V]": 11223,
    "UL2 [V]": 11223,
    "UL3 [V]": 11223,
    "U12 [%]": 97.1939,
    "U23 [%]": 97.1939,
    "U31 [%]": 97.1939,
    "U12 [V]": 19438.8,
  }
]
```

```

"U23 [V]": 19438.8,
"U31 [V]": 19438.8,
"IL1 [%]": 2.47983,
"IL2 [%]": 2.47983,
"IL3 [%]": 2.47985,
"IL1 [A]": 14.879,
"IL2 [A]": 14.879,
"IL3 [A]": 14.8791,
"U1 [%]": 97.1939,
"U2 [%]": 2.50037e-06,
"U0 [%]": 2.92918e-06,
"U1 [V]": 11223,
"U2 [V]": 0.000288717,
"U0 [V]": 0.000338233,
"I1 [%]": 2.47984,
"I2 [%]": 8.06956e-06,
"I0 [%]": 1.0457e-05,
"I1 [A]": 14.879,
"I2 [A]": 4.84174e-05,
"I0 [A]": 6.27417e-05,
"ILmax [%]": 2.47985,
"ILmax [A]": 14.8791,
"Zone": 0,
"S [VA]": 500961,
"P [W]": 500298,
"Q [var]": 25772.8,
"CosPhi": 0.998676,
"SL1 [VA]": 166987,
"SL2 [VA]": 166986,
"SL3 [VA]": 166988,
"PL1 [W]": 166766,
"PL2 [W]": 166765,
"PL3 [W]": 166767,
"QL1 [var]": 8590.83,
"QL2 [var]": 8591.38,
"QL3 [var]": 8590.62,
"Sv [VA]": "---",
"Pv [W]": "---",
"Qv [var]": "---",
"CosPhi": "---"
},

```

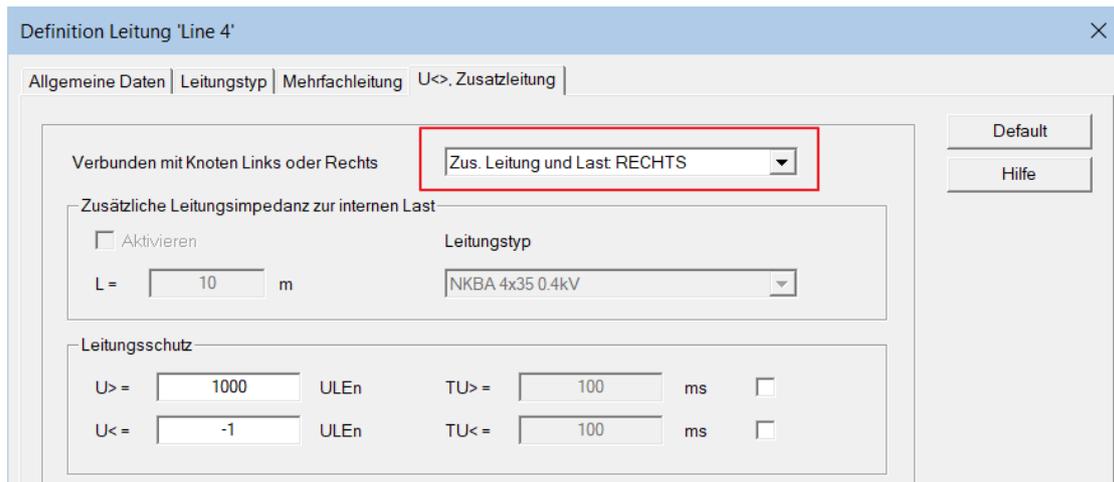
...

**Abbildung 23: Ergebnisse der Netzberechnung als .JSON-Datei**

#### 8.12.4 Hinweis: Spannungen des Netzwerkelementes *Leitung*

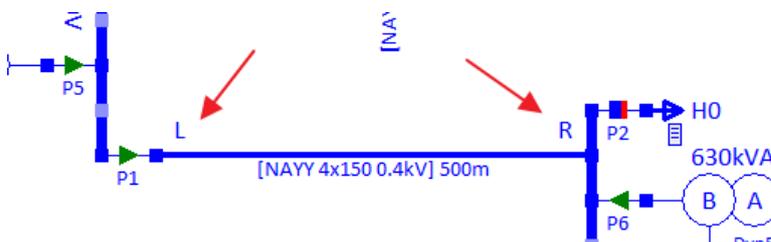
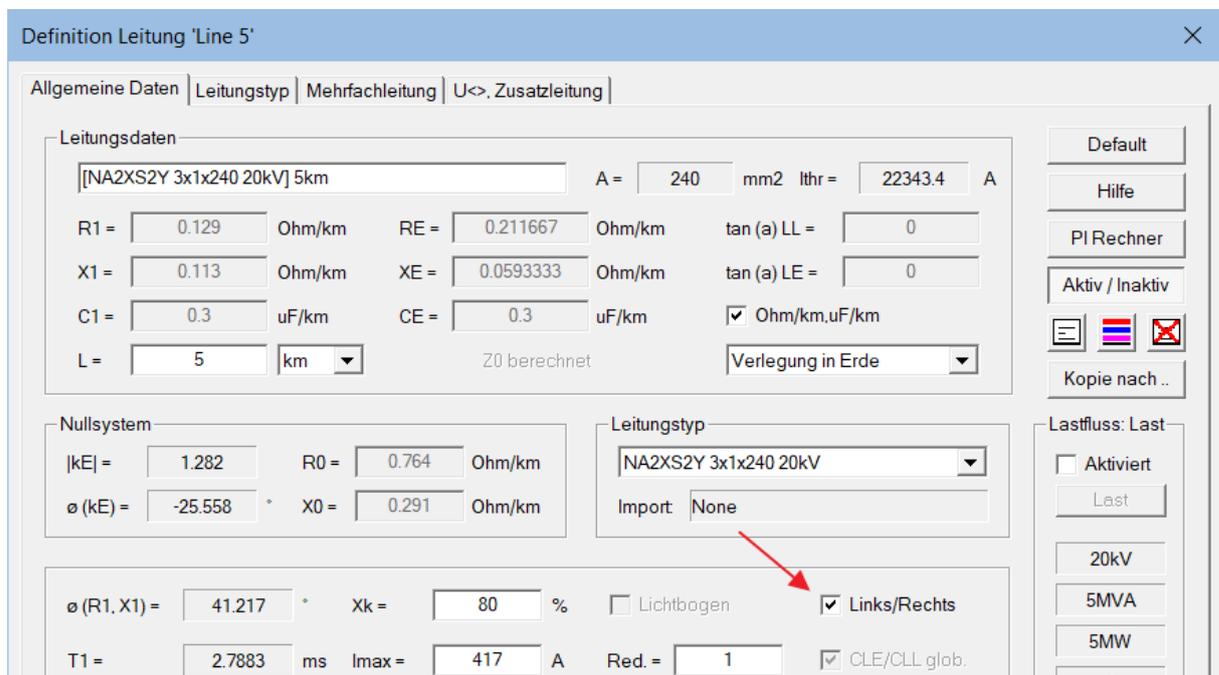
Das Netzwerkelement **Leitung** besteht bei einer Einfachleitung aus zwei Knoten je einer am Ende der Einfachleitung, bei Doppelleitungen aus vier Knoten. Um den Umfang der Spannungswerte in der Tabelle auch für das Netzwerkelement **Leitung** auf einen Knoten zu begrenzen, werden folgende Regeln angewendet.

1. Für eine **Einfachleitung** werden die Spannungen von nur einem der beiden Leitungsknoten verwendet. Die Auswahl des Leitungsknotens erfolgt mit dem Einstellwert **Verbunden mit Knoten Links oder Rechts** in der Registerkarte **U<>, Zusatzleitung** des Einstelldialogs der **Leitung**. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Einstellwert beispielhaft für den Leitungsknoten rechts.



Mit dem Einstellwert kann der Leitungsknoten ausgewählt werden, an dem die **Über-/Unterspannungsüberwachung U<>** ausgeführt wird. Zusätzlich kann die interne Verbraucherlast für diesen Leitungsknoten aktiviert werden. Unabhängig davon werden die Leiter-Erd-Spannungen an dem ausgewählten Leitungsknoten immer berechnet.

Die Lage des linken oder rechten Leitungsknoten kann einfach überprüft werden. Durch Aktivierung des Einstellwertes **Links/Rechts** in der Registerkarte **Allgemeine Daten** des Einstelldialogs der Leitung werden nach Schließen des Einstelldialogs die Leitungsknoten mit **R** = rechts bzw. **L** = links gekennzeichnet.



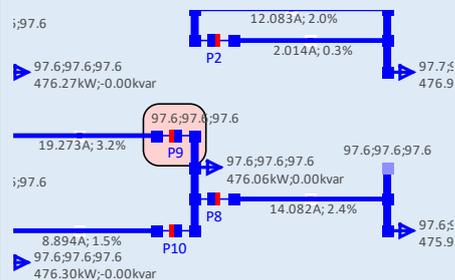
- ⇒ Es wird empfohlen zu überprüfen, ob an welchem der beiden Leitungsknoten die Spannungsmessung ausgeführt werden soll.
2. Ist eine Leitung als **Doppelleitung** eingestellt, so erfolgt keine Ausgabe der Spannungsmesswerte in der Tabelle.

### 8.13 Ergebnisse der Lastflussberechnung für Betriebsmittel

Die Messergebnisse für ausgewählte Betriebsmittel wie z.B. Sammelschienen, Leitungen und Transformatoren werden nach einer Lastflussberechnung in einem Dialog wie nachfolgend dargestellt angezeigt. Überlastungen oder unzulässige Netzspannungen werden farblich **rot** markiert. Die Ergebnisliste kann auch im Falle eines Kurzschlusses verwendet werden.

- ⇒ Wird ein Betriebsmittel in der Netzgrafik mit einem **Left Mouse Button Click** ausgewählt und markiert, so wird das Betriebsmittel in der Liste farblich **blau** hinterlegt. Es muss allerdings darauf geachtet werden, dass nur ein einziges Netzwerkelement markiert ist.

Bezeichner	Bedeutung
<b>Name</b>	Referenzname des Netzwerkelementes
<b>User Name</b>	Anwenderspezifischer Name des Netzwerkelementes
<b>Ena.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ EIN = Betriebsmittel ist aktiviert.</li> <li>▪ AUS = Betriebsmittel ist deaktiviert.</li> </ul>
<b>Last [%]</b>	Stromauslastung in %
<b>ULLmin [%]</b>	Minimaler Betrag der Leiter-Leiter-Spannungen
<b>ULEmin [%]</b>	Minimaler Betrag der Leiter-Erd-Spannung
<b>ULLmax [%]</b>	Maximaler Betrag der Leiter-Leiter-Spannungen
<b>ULEmax [%]</b>	Maximaler Betrag der Leiter-Erd-Spannung
<b>Ergebnisse</b>	Ergebnis der Analyse Bei einer <b>roten</b> Markierung ist das Betriebsmittel überlastet oder der Betrag der Spannung liegt außerhalb des zulässigen Bereiches.
<b>Kopieren</b>	Die in der Liste angezeigten Messwerte inklusive der Spaltenüberschriften können in die Zwischenablage kopiert und weiterverarbeitet werden. Die Messwerte sind durch Semikolon „;“ im Sinne einer .CSV-Datei getrennt.
<b>Suchen</b>	Ist eine Zeile der Tabelle mit einem <b>Left Mouse Button Click</b> markiert, so wird das Netzwerkelement in der Netzgrafik mit einer <b>roten Markierungsfläche</b> markiert. Die nachfolgende Abbildung zeigt ein Beispiel.
<b>Entfernen</b>	Die <b>rote Markierungsfläche</b> wird in der Netzgrafik entfernt.
<b>Bericht</b>	Die in der Liste angezeigten Messwerte inklusive der Spaltenüberschriften können in einer XML-Datei [21] gespeichert und direkt z.B. in Word eingelesen und als Tabelle dargestellt werden.
<b>Schließen</b>	Der Dialog wird geschlossen.



Nr.	Name	RefName	Aktiviert	Last [%]	ULLmin [%]	ULEmin [%]	ULLmax [%]	ULEmax [%]	ULLmin [%]	ULEmin [%]	ULLmax [%]	ULEmax [%]	U1 [%]	U2 / U1 [%]	Ergebnisse	Netzstatus
1	Bb 1	EIN		97,55	97,55	97,55	97,55						97,5549	0,00		OK
2	Bb 10	EIN		97,45	97,45	97,45	97,45						97,4514	0,00		OK
3	Bb 11	EIN		97,40	97,40	97,40	97,40						97,4046	0,00		OK
4	Bb 12	EIN		97,42	97,42	97,42	97,42						97,4227	0,00		OK
5	Bb 13	EIN		97,53	97,53	97,53	97,53						97,5323	0,00		OK
6	Bb 2	EIN		97,34	97,34	97,34	97,34						97,3408	0,00		OK
7	Bb 3	EIN		97,29	97,29	97,29	97,29						97,2863	0,00		OK
8	Bb 4	EIN		97,34	97,34	97,34	97,34						97,3362	0,00		OK
9	Bb 5	EIN		97,22	97,22	97,22	97,22						97,2228	0,00		OK
10	Bb 6	EIN		97,24	97,24	97,24	97,24						97,2409	0,00		OK
11	Bb 7	EIN		97,20	97,20	97,20	97,20						97,2046	0,00		OK
12	Bb 8	EIN		97,31	97,31	97,31	97,31						97,309	0,00		OK
13	Bb 9	EIN		97,45	97,45	97,45	97,45						97,4475	0,00		OK
14	L8: 5km	Line 10	EIN	5,87005		97,55	97,55									OK
15	L7: 3km	Line 11	EIN	2,48042		97,34	97,34		97,45			97,45				OK
16	L10: 2km	Line 12	EIN	3,3919		97,45	97,45		97,31			97,31				OK
17	L9: 7km	Line 13	EIN	4,04371		97,55	97,55		97,42			97,42				OK
18	L11: 5km	Line 14	EIN	1,58562		97,45	97,45		97,45			97,45				OK
19	L12: 2km	Line 15	EIN	2,47888		97,42	97,42		97,40			97,40				OK
20	L14: 5km	Line 16	EIN	1,23836		97,53	97,53		97,55			97,55				OK
21	L13: 5km	Line 17	EIN	1,23836		97,53	97,53		97,55			97,55				OK
22	L1: 5km	Line 4	EIN	12,4053		97,55	97,55		97,34			97,34				OK
23	L2: 2km	Line 5	EIN	7,44486		97,34	97,34		97,29			97,29				OK
24	L5: 0,5km	Line 6	EIN	2,48047		97,34	97,34		97,34			97,34				OK
25	L3: 7km	Line 7	EIN	2,48184		97,29	97,29		97,22			97,22				OK
26	L4: 5km	Line 8	EIN	2,48214		97,29	97,29		97,24			97,24				OK
27	L5: 4km	Line 9	EIN	2,48214		97,24	97,24		97,20			97,20				OK
28	110kV	Network 1	EIN			99,97	99,97						99,9651			OK
29	P1	Prb 1	EIN		97,29	97,29	97,29	97,29					97,2863	0,00		OK
30	P10	Prb 10	EIN		97,42	97,42	97,42	97,42					97,4227	0,00		OK
31	P11	Prb 11	EIN		97,55	97,55	97,55	97,55					97,5549	0,00		OK
32	P12	Prb 12	EIN		97,55	97,55	97,55	97,55					97,5549	0,00		OK
33	P13	Prb 13	EIN		99,97	99,97	99,97	99,97					99,9651	0,00		OK
34	P14	Prb 14	EIN		97,55	97,55	97,55	97,55					97,5549	0,00		OK
35	P15	Prb 15	EIN		97,55	97,55	97,55	97,55					97,5549	0,00		OK
36	P2	Prb 2	EIN		97,34	97,34	97,34	97,34					97,3362	0,00		OK
37	P3	Prb 3	EIN		97,29	97,29	97,29	97,29					97,2863	0,00		OK
38	P4	Prb 4	EIN		97,34	97,34	97,34	97,34					97,3408	0,00		OK
39	P5	Prb 5	EIN		97,34	97,34	97,34	97,34					97,3408	0,00		OK
40	P6	Prb 6	EIN		97,55	97,55	97,55	97,55					97,5549	0,00		OK
41	P7	Prb 7	EIN		97,55	97,55	97,55	97,55					97,5549	0,00		OK
42	P8	Prb 8	EIN		97,42	97,42	97,42	97,42					97,4227	0,00		OK
43	P9	Prb 9	EIN		97,42	97,42	97,42	97,42					97,4227	0,00		OK

Abbildung 24: Ergebnisse Lastflussberechnung – Anzeige der Messwerte für Betriebsmittel

```

1 Nr;Name;RefName;Aktiviert;Last [%];ULL [%];ULE [%];Ergebnisse
2 1;0,4kV;Bb 1;EIN;;99,9226;99,9226;
3 2;[NAYY 4x150 0,4kV] 500m;Line 4;EIN;15,4152;;;
4 3;[NAYY 4x150 0,4kV] 500m;Line 5;EIN;15,4651;;;
5 4;20kV;Network 1;EIN;;;99,998;
6 5;Prb 1;Prb 1;EIN;;99,9226;99,9226;
7 6;Prb 2;Prb 2;EIN;;99,9226;99,9226;
8 7;Prb 3;Prb 3;EIN;;99,9226;99,9226;
9 8;Prb 4;Prb 4;EIN;;97,9;97,9;
10 9;Prb 5;Prb 5;EIN;;101,817;101,817;
11 10;630kVA;Tra 1;EIN;2,11453;;;
12

```

Abbildung 25: Ergebnisse Lastflussberechnung – Export als .CSV-Datei per Zwischenablage

Wie in der obigen Abbildung zu erkennen ist, sind die Tabellenzellen teilweise nicht mit Werten beschrieben. Ursache ist hier die unterschiedliche Ausstattung der Netzwerkelemente mit von außen anschaltbaren Netzknoten. So hat nur das Netzwerkelement **Leitung** zwei Netzknoten mit zugehörigen Spannungen, allerdings ist hier keine eindeutige Zuordnung z.B. nur einer Mitsystemspannung möglich.

### 8.13.1 Ausgabe der Berechnungsergebnisse in einem Bericht

Der Inhalt der Tabelle **Ergebnisse Lastflussberechnung** kann durch einen **Left Mouse Button Click** auf den Button **Bericht** im XML-Format [21] zum Einlesen z.B. in eine Textverarbeitung in einer Datei gespeichert werden. Die XML-Datei kann direkt in eine Textverarbeitung wie z.B. Word eingelesen und weiterverarbeitet werden. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Tabelle in einem Textverarbeitungssystem.

Nr.	Name	Ref.Name	Aktiviert	Last [%]	ULL [%]	ULE [%]	U1 [%]	U2 / U1 [%]	Ergebnisse	Netzzustand
1	400V	Bb 1	EIN		99.8056	99.8056	99.8056	0.00		Grün
2	NAYY 1km	Line 4	EIN	24.6012		99.8055				Grün
3	NAYY 500m	Line 5	EIN	25.3735		99.8055				Grün
4	50kW	Load 1	EIN	0	93.7431					Grün
5	Load 2	Load 2	EIN	0	96.6861					Grün
6	20kV, 200MVA	Network 1	EIN			99.992	99.992			Grün
7	P1	Prb 1	EIN		99.8056	99.8056	99.8056	0.00		Grün
8	P2	Prb 2	EIN		99.8055	99.8055	99.8055	0.00		Grün
9	P3	Prb 3	EIN		99.8055	99.8055	99.8055	0.00		Grün
10	630kVA	Tra 1	EIN	15.9875						Grün

Abbildung 26: Ergebnisse Lastflussberechnung – Export als Bericht (XML-Datei)

### 8.14 Lastfluss- und Kurzschlussberechnung: Berechnungsergebnisse

Die Berechnungsergebnisse können wie erläutert entweder mit Hilfe von **Tooltips** spezifisch für ein Betriebsmittel oder gemeinsam für ausgewählte Betriebsmittel in der Netzgrafik angezeigt werden. Die Tooltips können mit Hilfe der nachfolgend abgebildeten Toolbar ein- oder ausgeschaltet werden.



Abbildung 27: Ein- und Ausschalten der Lastflussberechnung - Tooltips als Toolbar

Die in der nachfolgenden Aufzählung verwendeten Nummern 1...N entsprechen den in den Einzeilen-Tooltips verwendeten Zeilennummern. Mit Hilfe der **Cursor Up** und **Cursor Down** – Tasten kann beim Einzeilen-Tooltip einer der Zeilen ausgewählt werden. Der anwenderspezifische Name wird im Mehrzeilen-Tooltip als Startzeile zusätzlich ausgegeben und erscheint im Einzeilen-Tooltip nicht als eigene Zeile.

Um den Tooltip eines Netzobjektes anzuzeigen, muss der Cursor über das grafische Symbol des Netzobjektes in der Netzgrafik positioniert und der zugehörige Toolbar-Button aktiviert werden.

Schalter	Bedeutung
	Tooltip für Netzwerkelement <b>Leitung</b>
	Tooltip für Netzwerkelement <b>Sammelschien</b>
	Tooltip für Netzwerkelement <b>Verbraucherlast</b>
	Tooltip für Netzwerkelement <b>Mess/Schutzgerät</b>
	Tooltip für Leistungsschalter <b>Schalter</b> und <b>Schalter (CB)</b>
	Tooltip für Netzwerkelement <b>Erzeugungsanlage (DEA)</b>
	Tooltip für Netzwerkelement <b>Netzeinspeisung</b>
	Tooltip für Netzwerkelemente <b>2-Wicklungs-Transformer</b> und <b>2/3-Wicklungs-Transformator BCTRAN</b>

	Tooltip für Netzwerkelement <b>Generatoren</b>
	Tooltip für Netzwerkelement <b>Kurzschluss</b>
	Tooltip für <b>Kurzschlussleistung S<sub>k</sub></b> und <b>Kurzschlussstrom I<sub>k</sub></b>
	Tooltip für <b>Spannungsfall an Sammelschienen</b>
	Mit dem Toolbar-Button können die oben genannten Tooltips gemeinsam ein- oder ausgeschaltet werden.

**Mess-/Schutzgerät** und Schalter mit integriertem Messort **Schalter (CB)** zeigen auch die Spannungen und Ströme im 012-System (**Symmetrische Komponenten**) an. Dazu wird die nachfolgend für die Leiter-Erd-Spannungen verwendete komplexe Transformationsmatrix von ATPDesigner eingesetzt.

$$\begin{pmatrix} \underline{U}_0 \\ \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \underline{U}_{L1} \\ \underline{U}_{L2} \\ \underline{U}_{L3} \end{pmatrix}$$

Mit den Drehoperatoren

$$\underline{a} = e^{j120^\circ} = -\frac{1}{2} + j \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}, \quad \underline{a}^2 = e^{-j120^\circ} = -\frac{1}{2} - j \cdot \frac{\sqrt{3}}{2},$$

$$\underline{a}^2 = \underline{a} \cdot \underline{a} = e^{j120^\circ} \cdot e^{j120^\circ} = e^{j240^\circ} = e^{-j120^\circ} \quad \text{und} \quad 1 + \underline{a} + \underline{a}^2 = 0$$

Die dargestellte Transformation der Leiter-Erd-Spannungen aus dem natürlichen System (L123) in das System der Symmetrischen Komponenten (012-System) kann identisch auf die Transformation der Leiterströme  $\underline{I}_{L123}$  angewendet werden. Dazu sind die Leiter-Erd-Spannungen durch die Leiterströme zu ersetzen. Es ergeben sich die Ströme in Mit-, Gegen- und Nullsystem.

### 8.14.1 Leitung

Der Inhalt des Tooltip ist davon abhängig, ob die leitungsinterne Last mit der Option **Aktiviert** in der Gruppe **Lastfluss: Last** (Einstelldialog **Leitung**, Registerkarte **Allgemeine Daten**) aktiviert ist oder nicht. Ist die Option aktiviert, so wird zusätzlich die nachfolgende Zeile angezeigt.

**Einstellwerte: S=...; cosφ=...; LF: S=...; cosφ=... (R) oder (L)**

Bezeichner	Bedeutung
<b>S, cosφ</b>	Einstellwerte der 3-phasigen symmetrischen leitungsinternen Last
<b>LF: S, cosφ</b>	Durch die Lastflussberechnung iterativ berechneter Wert
<b>(R) oder (L)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>(R)</b> = Lastimpedanz ist mit dem <b>rechten</b> Knoten der Leitung verbunden.</li> <li>▪ <b>(L)</b> = Lastimpedanz ist mit dem <b>linken</b> Knoten der Leitung verbunden</li> </ul>

Im Weiteren ist der Inhalt des Tooltip davon abhängig, ob eine **Mehrfachleitung** oder **Doppelleitung** verwendet wird. In den nachfolgenden Erläuterungen sind entsprechende Hinweise enthalten.

```
[Line 5] [NA2XS2Y 3x1x240 20kV] 5km
Einstellwerte: Imax=417A; Imax res=417A; Red.=1; Par.=1; L=5km; A=240mm2(Al); Ithr=22343.4A
Einstellwerte: NA2XS2Y 3x1x240 20kV; U<=-1.000p.u.; U>=1000.000p.u.; Un=20kV
L: IL1=152.828A, 89.4°, 36.6%; IL2=152.828A, -30.6°, 36.6%; IL3=152.828A, -150.6°, 36.6%
R: IL1=152.749A, -88.6°, 36.6%; IL2=152.749A, 151.4°, 36.6%; IL3=152.749A, 31.4°, 36.6%
L-R: dUL1=130.99868V, 131.623°, 1.134%; dUL2=130.99896V, 11.622°, 1.1%; dUL3=130.99893V, -108.377°, 1.1%
L: UL1=11553.6V, -89.0°, 100.1%; UL2=11553.6V, 151.0°, 100.1%; UL3=11553.6V, 31.0°, 100.1%
R: UL1=11653.3V, -88.6°, 100.9%; UL2=11653.3V, 151.4°, 100.9%; UL3=11653.3V, 31.4°, 100.9%
PVerl: Sv=157.404kVA; Pv=45.163kW; Qv=-150.785kvar; 0.287
L: S=5.297MVA; P=-5.295MW; Q=-0.151Mvar; -1.000
R: S=5.340MVA; P=5.340MW; Q=0.000Mvar; 1.000
```

**Abbildung 28: Tooltip für eine Leitung**

Die Berechnung der Leistungen erfolgt unter Annahme des **Verbraucherzählpeilsystems (VZS)** für beide Leitungsenden. So wird eine in die Leitung hineinfließende Wirk- oder Blindleistung als positiver Wert dargestellt, eine aus der Leitung herausfließende Wirk- oder Blindleistung als negativer Wert. Eine über die Leitung transportierte Leistung wird an einem Leitungsende als positiver Wert am anderen Leitungsende als negativer Wert angegeben.

Einstellwerte	Bedeutung
<b>I<sub>max</sub></b>	Maximal zulässiger Leiterstrom <b>Mehrfachleitung:</b> Kleinster zulässiger Leiterstrom der Teilleitungen
<b>I<sub>max res</sub></b>	resultierender maximal zulässiger Leiterstrom <b>I<sub>max res</sub></b> unter Berücksichtigung des Reduktionsfaktors <b>Red.</b> und der Anzahl parallel verlegter Leitungen <b>Par.</b> <b>Mehrfachleitung:</b> Kleinster resultierender Leiterstrom <b>I<sub>max res</sub></b> der Teilleitungen
<b>Red.</b>	Reduktionsfaktor <b>Mehrfachleitung:</b> Mittelwert der Reduktionsfaktoren der Teilleitungen
<b>Par.</b>	Anzahl parallel verlegter Leitungen <b>Mehrfachleitung:</b> Maximale Anzahl parallel verlegter Leitungen der Teilleitungen
<b>A</b>	Querschnitt eines Leiters mit Material: Al = Aluminium, Cu = Kupfer
<b>I<sub>thr</sub></b>	Bemessungswert des thermisch wirksamen Kurzschlussstromes
<b>U&lt;</b>	Anregeschwelle für die U<-Anregung <b>Mehrfachleitung:</b> Kleinster Einstellwert U< der Teilleitungen
<b>U&gt;</b>	Anregeschwelle für die U>-Anregung <b>Mehrfachleitung:</b> Größter Einstellwert der Teilleitungen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Netzberechnung erläutert.

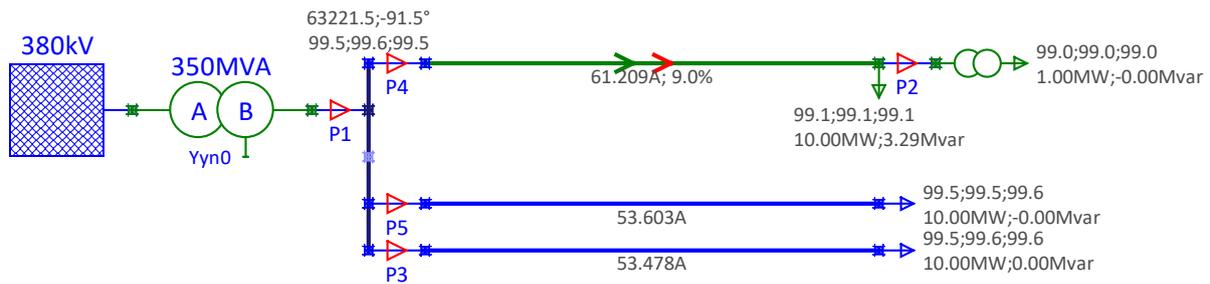
Bezeichner	Bedeutung
<b>L: IL1 ...</b>	Leiterströme $I_{L1}$ , $I_{L2}$ und $I_{L3}$ am <b>linken Knoten:</b> Betrag in A, absoluter Phasenwinkel in Grad, Betrag in % des resultierenden maximal zulässigen Leiterstroms <b>I<sub>max res</sub></b> <b>Mehrfachleitung:</b> Leiterströme der ersten Teilleitung der Leitung
<b>R: IL1 ...</b>	Leiterströme $I_{L1}$ , $I_{L2}$ und $I_{L3}$ am <b>rechten Knoten:</b> Betrag in A, absoluter Phasenwinkel in Grad, Betrag in % des resultierenden maximal zulässigen Leiterstroms <b>I<sub>max res</sub></b> <b>Mehrfachleitung:</b> Leiterströme der letzten Teilleitung

<b>L-R: dUL1 ...</b>	<p>Differenzspannung <b>L-R</b> <math>dU_{L1}</math>, <math>dU_{L2}</math> und <math>dU_{T3}</math>: Differenzspannung berechnet als geometrische Differenz der Leiter-Erd-Spannungen des linken Knotens (L:) - der Leiter-Erd-Spannungen des rechten Knotens (R:) in V und in % der im Einstelldialog definierten Nennspannung <math>U_n</math>, absoluter Phasenwinkel in Grad</p> $\underline{dU}_{L123} = \underline{U}_{L123 L} - \underline{U}_{L123 R}$ <p>Es muss hier beachtet werden, dass die Berechnung der Differenzspannung eine Subtraktion von Zeigern ist d.h. als Subtraktion zweier komplexer Zahlen durchgeführt werden muss. Selbst geringe Winkeldifferenzen zwischen den beiden Leiter-Erd-Spannungen an beiden Leitungsenden können zu erheblichen Beträgen der Differenzspannung führen.</p> <p><u>Beispiel:</u></p> $\underline{U}_{L1L} = 11547V \cdot e^{-j90^\circ}$ $\underline{U}_{L1R} = 11544,1V \cdot e^{-j90,143^\circ}$ $\underline{dU}_{L1} = 28,96V \cdot e^{-j5,82^\circ}$
<b>L: UL1 ...</b>	<p>Leiter-Erd-Spannungen am <b>linken Knoten</b>: Betrag in V, absoluter Phasenwinkel in Grad, Betrag in <math>\%U_n/\sqrt{3}</math>  <b>Mehrfachleitung</b>: Leiter-Erd-Spannungen der ersten Teilleitung</p>
<b>R: UL1 ...</b>	<p>Leiter-Erd-Spannungen am <b>rechten Knoten</b>: Betrag in V, absoluter Phasenwinkel in Grad, Betrag in <math>\%U_n/\sqrt{3}</math>  <b>Mehrfachleitung</b>: Leiter-Erd-Spannung der letzten Teilleitung</p>
<b>PVerl: ...</b>	<p>Verlustleistungen Scheinleistung <math>S_v</math> in kVA; Wirkleistung <math>P_v</math> in kW; Blindleistung <math>Q_v</math> in kvar; Verschiebungsfaktor <math>\cos \varphi</math>  <b>Mehrfachleitung</b>: Verlustleistungen aller Teilleitungen berechnet aus den Leiter-Erd-Spannungen und den Leiterströmen <math>I_m</math> Anfang und am Ende der Mehrfachleitung</p>
<b>L: S ...</b>	<p>Transportleistung bezogen auf den linken Knoten <b>L</b>: Scheinleistung <math>S</math> in MVA, Wirkleistung <math>P</math> in MW, Blindleistung <math>Q</math> in Mvar, Verschiebungsfaktor <math>\cos \varphi</math>  <b>Mehrfachleitung</b>: bezogen auf die erste Teilleitung</p>
<b>R: S ...</b>	<p>Transportleistung bezogen auf den rechten Knoten <b>R</b>: Scheinleistung <math>S</math> in MVA, Wirkleistung <math>P</math> in MW, Blindleistung <math>Q</math> in Mvar, Verschiebungsfaktor <math>\cos \varphi</math>  <b>Mehrfachleitung</b>: bezogen auf die letzte Teilleitung</p>

Die Leistungen werden in die Leitung hineinfließend gemessen (Verbraucherzählpeilsystem VZS) und in dieser Zählpeilrichtung als positive Werte dargestellt.

#### 8.14.1.1 Ausgabe für eine Doppelleitung

Wird eine **Doppelleitung** als Leitung verwendet, so werden in dem Tooltip nur die berechneten Werte von **Leitung 1** der Doppelleitung angezeigt.



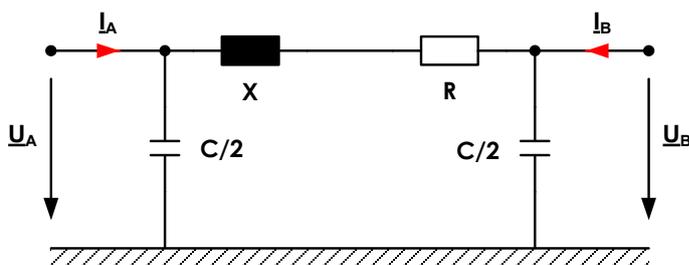
**Abbildung 29: Doppelleitung – Maximale Leiterströme der beiden Leitungen 1 und 2**

Wie in der Abbildung dargestellt werden in der Netzgrafik die maximalen Leiterströme der beiden Leitungen 1 und 2 der Doppelleitung angegeben.

### 8.14.1.2 ATP-Option \$WIDTH: Auswirkung auf die Anzeigewerte

Wie in Band 2<sup>3</sup> des Handbuches erläutert kann mit der Option **\$WIDTH aktiv** im Einstell-dialog **Einstellungen Elektrisches Netz**, Registerkarte **Einstellungen ATP** zwischen dem Standardformat und dem Kompaktformat der .LST-Datei gewählt werden. Durch die Auswahl des Kompaktformates werden Ergebnisse der **Berechnung eines stationären Netzzustandes** mit geringerer Genauigkeit angezeigt. Der in der Netzgrafik an der **Leitung** angezeigte maximale Leiterstrom in A und in % wird bei aktivem Kompaktformat mit geringerer Genauigkeit angezeigt. Die Unterschiede können einfach durch Umschalten der Option und wiederholter Netzberechnung überprüft werden.

Die Ursache der geringeren Anzeigegenauigkeit ist in der Darstellung der Ergebnisse in der .LST-Datei begründet. Die vermutete Ursache sowie deren Auswirkung werden mit Hilfe des nachfolgend dargestellten II-Ersatzschaltbildes einer 1-phasigen Leitung und der weiteren Abbildungen näher erläutert.



**Abbildung 30: II-Ersatzschaltbild einer 1-phasigen Leitung**

Die nachfolgende Abbildung zeigt das Format für das Standardformat der .LST-Datei. In diesem Format gibt das ATP die Ströme  $I_A$  (Knoten A00030) und  $I_B$  (Knoten A00029) für beide Leitungsenden getrennt unter Berücksichtigung des Verbraucherzählpeilsystems (VZS) für beide Leitungsenden aus. Es ist an den Ergebnissen in Polarkoordinaten zu erkennen, dass durch die physikalische Wirkung der Leitungskapazitäten in diesem Beispiel der Strom  $I_B$  am Knoten A00029 größer ist.

<sup>3</sup> Handbuch Einführung in ATPDesigner; Band 2: Konfiguration und Betriebsmittel

```
Sinusoidal steady-state phasor solution, branch by branch. All flows are away from a bus, and the real part, magnitude, or "P"
is printed above the imaginary part, the angle, or "Q". The first solution frequency = 5.00000000E+01 Hertz.
```

Bus K	Bus M	Phasor node voltage		Phasor branch current		Power flow		Power loss	
		Rectangular	Polar	Rectangular	Polar	P and Q	P and Q	P and Q	
A00030		-.5388010976E-5	16329.929857916	2.6940039880138	71.093213926572	580056.6823163	16760.202893246		
		-16329.92985792	-90.0000000	-71.04215233875	-87.8283156	-21996.44827199	-294813.4072840		
A00029		-155.7855621664	15822.579308149	35.183874961313	79.112889843458	-563296.4794231			
		-15821.81237473	-90.5641305	70.858621790787	63.5939349	-272816.959012			

**Abbildung 31: Standardformat der .LST-Datei: Ströme, Spannungen mit Leitungskapazitäten**

Ist das Kompaktformat der .LST-Datei aktiviert so werden die Leiterströme nur für ein Leitungsende ausgegeben. Die Auswahl des Leitungsendes kann nicht vorgegeben werden. Es ist zu vermuten, dass die Auswahl des Leitungsendes durch das ATP abhängig von dem aktuellen Aufbau und Inhalt der .ATP-Datei für das betrachtete Stromnetz ist. So kann weiter vermutet werden, dass ein Drehen des Symbols der Leitung ggfs. die Auswahl des anderen Leitungsendes zur Folge hat. Einfache Tests haben diese Vermutung untermauert. Im Beispiel ist zu erkennen, dass das Leitungsende mit geringerem Strom ausgewählt wurde.

```
80-column phasor branch flows. No reverse flows. 1st freq = 5.00000000E+01
```

Node-K name	Node-M name	V <sub>k</sub> -magnitude V <sub>k</sub> -degrees	V <sub>m</sub> -magnitude V <sub>m</sub> -degrees	I <sub>km</sub> -magnitude I <sub>km</sub> -degrees	P <sub>k</sub> (watts) Q <sub>k</sub> (vars)
A00030		16329.929857916	15822.579308149	71.093213926572	580056.6823163
	A00029	-90.0000000	-90.5641305	-87.8283156	-21996.44827199

**Abbildung 32: Kompaktformat der .LST-Datei: Ströme, Spannungen mit Leitungskapazitäten**

Aus den Betrachtungen lässt sich weiter folgern, dass mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit das Ergebnis der Netzberechnung für das Leitungsende mit dem geringeren Strom durch das ATP in die .LST-Datei geschrieben und von ATPDesigner in der Netzgrafik aber auch in allen anderen Ausgabeformaten angezeigt wird. Dadurch wären eine Erhöhung oder Verringerung des Strombetrages durch die elektrischen Felder der Leitung, d.h. durch die Leitungskapazitäten ggfs. nicht berücksichtigt. Diese Vermutung lässt sich weiter untermauern, wenn eine Netzberechnung mit Leitungen ohne Leitungskapazitäten durchgeführt wird. In diesem Fall sind für beide Formate der .LST-Datei die Ergebnisse der Ströme identisch. Die beiden nachfolgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse der Netzberechnung bei deaktivierten Leitungskapazitäten.

```
Sinusoidal steady-state phasor solution, branch by branch. All flows are away from a bus, and the real part, magnitude, or "P"
is printed above the imaginary part, the angle, or "Q". The first solution frequency = 5.00000000E+01 Hertz.
```

Bus K	Bus M	Phasor node voltage		Phasor branch current		Power flow		Power loss	
		Rectangular	Polar	Rectangular	Polar	P and Q	P and Q	P and Q	
A00030		.6905979339E-4	16329.929858365	-34.52989819535	78.787269149706	578222.49517253	19553.416407184		
		-16329.92985836	-89.9999998	-70.81751132797	-115.9933919	281935.41021862	11359.6038175		
A00029		-41.65366377012	15757.455163886	34.529898195353	78.787269149706	-558669.0787653			
		-15757.4001096	-90.1514573	70.817511327968	64.0066081	-270575.8064011			

**Abbildung 33: Standardformat der .LST-Datei: Ströme, Spannungen ohne Leitungskapazitäten**

```
80-column phasor branch flows. No reverse flows. 1st freq = 5.00000000E+01
```

Node-K name	Node-M name	V <sub>k</sub> -magnitude V <sub>k</sub> -degrees	V <sub>m</sub> -magnitude V <sub>m</sub> -degrees	I <sub>km</sub> -magnitude I <sub>km</sub> -degrees	P <sub>k</sub> (watts) Q <sub>k</sub> (vars)
A00030		16329.929858365	15757.455163886	78.787269149706	578222.49517253
	A00029	-89.9999998	-90.1514573	-115.9933919	281935.41021862

**Abbildung 34: Kompaktformat der .LST-Datei: Ströme, Spannungen ohne Leitungskapazitäten**

### 8.14.2 2-Wicklungs-Transformator

Die Berechnung der Leistungen erfolgt unter Annahme des **Verbraucherzählpeilsystems (VZS)** für beide Wicklungen. Ein in den Transformator hineinfließender Leiterstrom wird als positiver Wert dargestellt.

```
[Tra 2] 800kVA
Einstellwerte: Srt=800kVA; UrA=20kV; UrB=0.4kV; UnA=20kV; UnB=0.4kV
Einstellwerte: IrA=23.094A; IrB=1154.7A
Einstellwerte: uk=6%; Pk=7kW; Schaltgruppe Dyn5; starr geerdet
Einstellwerte: IL=7.5A; PL=0.65kW; Magnetisierung an Wicklung B
Einstellwerte: Last: S=100.000kVA; P=100.000kW; Q=0.000kvar
A: Iw(max)=1.67A=12.5%IrA; B: Iw(max)=144.55A=12.5%IrB
A: Iw(21)=1.67A; Iw(32)=1.67A; Iw(13)=1.67A
B: Iw(1N)=144.55A; Iw(2N)=144.55A; Iw(3N)=144.55A
B: Stufenschalter=3(Mitte=3)
A: Zk=(4.3750+j29.6793)Ohm
B: Zk=(1.7500+j11.8717)mOhm
A: Sv=5.91kVA; Pv=0.76kW; Qv=5.87kvar (Wicklung B)
A: S=99.97kVA=12.5%; P=99.80kW; Q=5.87kvar
AB: Umin=99.7%; Umax=99.8%
AB: U1WA=11.527kV=99.8%; U1WB=0.230kV=99.7%
AB: U1WA=11.527kV=99.8%; U1WB=0.230kV=99.7%
Last: S=99.0463kVA; P=99.0463kW; Q=-0kvar; 1
```

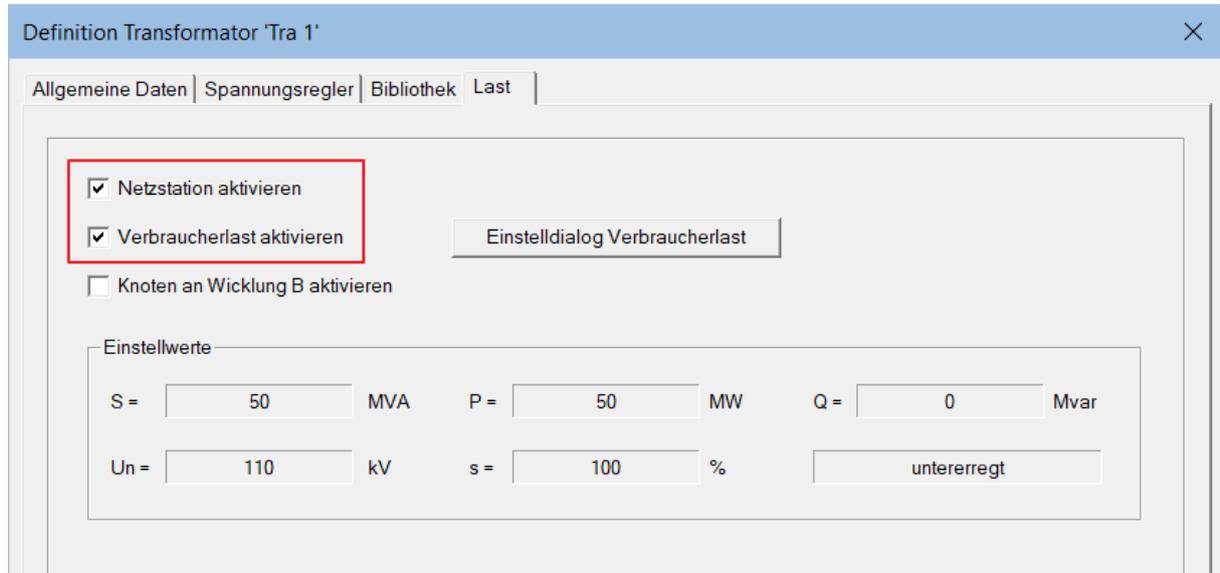
Abbildung 35: Tooltip für einen Transformator *Transformtor 2-Wicklung* ohne Stufenschalter

```
[Tra 1] 400kVA
Einstellwerte: Srt=400kVA; UrA=20kV; UrB=0.4kV; UnA=20kV; UnB=0.4kV
Einstellwerte: IrA=11.547A; IrB=563.269A
Einstellwerte: uk=4.1%; Pk=3.791kW; Schaltgruppe Dyn5; starr geerdet
Einstellwerte: IL=5.7735A; PL=0.405kW; Magnetisierung an Wicklung B
Einstellwerte: Stufenspannung dU=2.5%; dUmess=0.14026%
A: Iw(max)=2.06A=30.9%IrA; B: Iw(max)=174.12A=30.9%IrB
A: Iw(21)=2.06A; Iw(32)=2.06A; Iw(13)=2.06A
B: Iw(1N)=174.12A; Iw(2N)=174.12A; Iw(3N)=174.12A
B: Stufenschalter=4(Mitte=3)
A: Zk=(9.4775+j39.8896)Ohm
B: Zk=(3.9829+j16.7636)mOhm
A: Sv=5.63kVA; Pv=0.76kW; Qv=5.58kvar (Wicklung B)
A: S=123.64kVA=30.9%; P=123.52kW; Q=5.43kvar
AB: Umin=100.0%; Umax=102.1%
AB: U1WA=11.546kV=100.0%; U1WB=0.236kV=102.1%
```

Abbildung 36: Tooltip für einen Transformator *Transformtor 2-Wicklung* ohne Last

Einstellwerte	Bedeutung
<b>Srt</b>	Bemessungs-Scheinleistung
<b>UrA</b>	Bemessungsspannung Wicklung A
<b>UrB</b>	Bemessungsspannung Wicklung B
<b>UnA</b>	Nennspannung Wicklung A
<b>UnB</b>	Nennspannung Wicklung B
<b>uk</b>	Kurzschlussspannung
<b>Pk</b>	Kurzschlussverlustleistung
<b>Schaltgruppe</b>	Schaltgruppe und Sternpunktbehandlung

Ist die interne Last des Transformators in der Registerkarte **Last** wie nachfolgende Abbildung zeigt aktiviert, so werden weitere Einstellwerte angezeigt.



Einstellwerte	Bedeutung
<b>Last: S, P, Q</b>	Scheinleistung $S_v$ in kVA; Wirkleistung $P_v$ in kW; Blindleistung $Q_v$ in kvar; Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$

Folgende Berechnungsergebnisse werden bezogen auf die Wicklungen A und B angezeigt.

Bezeichner	Bedeutung
<b>A: <math>I_w(\max)</math> %<math>I_rA</math> B: <math>I_w(\max)</math> %<math>I_rB</math></b>	Maximaler Strombetrag der Wicklungsströme in A und in % des Bemessungsstromes $I_r$ der jeweiligen Wicklung
<b>A: <math>I_w(xy)</math>, <math>I_w(xy)</math>, <math>I_w(xy)</math> B: <math>I_w(xy)</math>, <math>I_w(xy)</math>, <math>I_w(xy)</math></b>	Betrag der Wicklungsströme $I_{L123}$ in A Der Bezeichner xy kennzeichnet die Leiter 1,2,3, zwischen denen die Wicklung angeschlossen ist. Der Sternpunkt wird mit dem Buchstaben <b>N</b> gekennzeichnet. <ul style="list-style-type: none"> <li><b><math>I_w(1N)</math></b>: Wicklungsstrom der Wicklung L1-Sternpunkt</li> <li><b><math>I_w(12)</math></b>: Wicklungsstrom der Wicklung L1-L2</li> </ul>
<b>A: <math>Z_k</math>, B: <math>Z_k</math></b>	Kurzschlussimpedanz $Z_k$ in Ohm entsprechend VDE 0102 [10] (Mitimpedanz des Transformators)  Wird eine <a href="#">Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102</a> durchgeführt, so erfolgt die Berechnung der Kurzschlussimpedanz $Z_{kOS}$ unter Berücksichtigung des <b>Impedanzkorrekturfaktor <math>K_T</math></b>
<b><math>S_v</math>, <math>P_v</math>, <math>Q_v</math></b>	Transformatorverluste: Scheinleistung $S_v$ in kVA; Wirkverlustleistung $P_v$ in kW; Blindleistungsbedarf $Q_v$ in kvar
<b>A: S, P, Q</b>	Übertragene Scheinleistung und Auslastung in %, Wirkleistung und Blindleistung bezogen auf Wicklung A
<b>AB: <math>U_{min}</math>, <math>U_{max}</math></b>	Minimale und maximale Spannung an den Anschlussknoten der Wicklungen A und B
<b>AB: <math>U_{1WA}</math>, <math>U_{1WB}</math></b>	Betrag der Mitsystemspannung in V und % $U_n/\sqrt{3}$ an den Anschlussknoten der Wicklungen A und B

Ist der **Stufenschalter** mit Spannungsregler des Transformators eingeschaltet, so werden weitere Werte angezeigt.

Einstellwerte	Bedeutung
<b>Stufenschalter</b>	Wicklung A oder B mit Stufenstellung
<b>Mitte</b>	Mittenstellung des Stufenschalters
<b>Stufenspannung</b>	Einstellwert des Stufenschalters <b>Stufung dU</b>
<b>dU<sub>mess</sub></b>	Abweichung der Spannung

Ist die **Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102** eingeschaltet, so werden zusätzliche Werte angezeigt.

Einstellwerte	Bedeutung
<b>KT</b>	Impedanzkorrekturfaktor $K_T$
<b>xT</b>	relative Kurzschlussreaktanzen $x_T$
<b>c<sub>max</sub></b>	Spannungsfaktor $c_{max}$ bezogen auf die Nennspannung $U_{nB}$ von Wicklung B

### 8.14.3 Mess/Schutzgerät

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Messwerte für ein **Mess/Schutzgerät** in einem Mehrzeilen-Tooltip.

```
[Prb 5] P5
Einstellwerte: Un=20kV, In=600A, Imess=Standard
UL1=11.509kV, -89.64°, 99.67%
UL2=11.509kV, 150.36°, 99.67%
UL3=11.509kV, 30.36°, 99.67%
IL1=28.925A, -89.64°, [0.00°], 4.82%, Iw=28.925A, Ib=0.000A
IL2=28.925A, 150.36°, [0.00°], 4.82%, Iw=28.925A, Ib=0.000A
IL3=28.925A, 30.36°, [0.00°], 4.82%, Iw=28.925A, Ib=0.000A
U12=19.935kV, -59.64°, 99.67%
U23=19.935kV, -179.64°, 99.67%
U31=19.935kV, 60.36°, 99.67%
U0=0.002kV, 118.13°, 0.00%
IE=0.000A, 116.84°, [-1.30°]
S=998.720607kVA
P=998.720607kW, Q=-0.000327kvar, 1.000
PL1=332.907kW, PL2=332.907kW, PL3=332.907kW
QL1=-0.140029var, QL2=-0.149906var, QL3=-0.0371861var
U1=11.509kV, 99.7%, -89.64°, I1=28.925A, -89.64°, [-0.00°]
U2=0.101mV, 0.0%, -34.93°, I2=0.001mA, 67.28°, [102.21°]
U0=2.473mV, 0.0%, 118.13°, I0=0.007mA, 116.84°, [-1.30°]
Ua=11.509kV, 99.7%, -89.64°, Ia=28.925A, 4.82°, -89.64°
Ub=11.509kV, 99.7%, -179.64°, Ib=28.925A, 4.82°, -179.64°
```

Abbildung 37: Tooltip für ein Mess/Schutzgerät

Die Berechnung der Leistungen erfolgt unter Annahme des **Verbraucherzählpfeilsystems (VZS)**. Die Richtung des roten Pfeils gibt die positive Strommessrichtung an.

Bezeichner	Bedeutung
<b>Einstellwert: Un</b>	Einstellwert der Nennspannung
<b>UL1, UL2, UL3</b>	Leiter-Erd-Spannungen $\underline{U}_{L1}$ , $\underline{U}_{L2}$ , $\underline{U}_{L3}$ absoluter Betrag, absoluter Phasenwinkel, Betrag in $\%U_n/\sqrt{3}$
<b>IL1, IL2, IL3</b>	Leiterströme $\underline{I}_{L1}$ , $\underline{I}_{L2}$ , $\underline{I}_{L3}$ absoluter Betrag, absoluter Phasenwinkel, Betrag in $\%I_n$ , [Phasenverschiebung zur Leiter-Erd-Spannung]
<b>Iw</b>	Wirkstrom
<b>Ib</b>	Blindstrom
<b>U12, U23, U31</b>	Leiter-Leiter-Spannungen $\underline{U}_{L12}$ , $\underline{U}_{L23}$ , $\underline{U}_{L31}$ absoluter Betrag, absoluter Phasenwinkel, Betrag in $\%U_n$
<b>U0</b>	Nullspannung $\underline{U}_0$ absoluter Betrag, absoluter Phasenwinkel, Betrag in $\%U_n/\sqrt{3}$
<b>IE</b>	Summenstrom $\underline{I}_E$ absoluter Betrag, absoluter Phasenwinkel, Betrag in $\%I_n$ $\underline{I}_E = \underline{I}_{L1} + \underline{I}_{L2} + \underline{I}_{L3}$
<b>S, P, Q, cos φ</b>	Scheinleistung, Wirkleistung, Blindleistung, Verschiebungsfaktor
<b>PL1, PL2, PL3</b>	Leiterspezifische Wirkleistung der Leiter L1, L2, und L3
<b>QL1, QL2, QL3</b>	Leiterspezifische Blindleistung der Leiter L1, L2, und L3
<b>U1, U2</b>	Mitsystem- und Gegensystemspannung absoluter Betrag, Betrag in $\%U_n/\sqrt{3}$ , absoluter Phasenwinkel $\underline{U}_1 = \frac{\underline{U}_{L1} + \underline{a} \cdot \underline{U}_{L2} + \underline{a}^2 \cdot \underline{U}_{L3}}{3}$

	$\underline{U}_2 = \frac{\underline{U}_{L1} + \underline{a}^2 \cdot \underline{U}_{L2} + \underline{a} \cdot \underline{U}_{L3}}{3}$
<b>U0</b>	Nullsystemspannung absoluter Betrag, Betrag in %Un/√3, absoluter Phasenwinkel $\underline{U}_0 = \frac{\underline{U}_{L1} + \underline{U}_{L2} + \underline{U}_{L3}}{3}$
<b>I1, I2, I0</b>	Mitsystem-, Gegensystem- und Nullsystemstrom absoluter Betrag, [Phasenverschiebung zur Mitsystem-, Gegensystem bzw. Nullsystemspannung]
<b>Uα, Iα</b>	0αβ-Transformation: Spannung und Strom des α-Systems
<b>Uβ, Iβ</b>	0αβ-Transformation: Spannung und Strom des β-Systems

Die Transformation vom natürlichen System in das 0αβ-System erfolgt für Leiter-Erd-Spannungen und Leiterströme mit Hilfe der nachfolgenden Gleichung.

$$\begin{pmatrix} \underline{U}_0 \\ \underline{U}_\alpha \\ \underline{U}_\beta \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & -1 & 1 \\ 0 & \sqrt{3} & \sqrt{3} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \underline{U}_{L1} \\ \underline{U}_{L2} \\ \underline{U}_{L3} \end{pmatrix}$$

### 8.14.3.1 Betriebsart Udiff zur Messung einer Längsspannung

Wird das **Mess/Schutzgerät** zur Messung einer Längsspannung verwendet, so werden in dem Tooltip die Differenzspannungen der drei Leiter nach Betrag und Phasenwinkel angezeigt. Die Berechnung der Differenzspannungen erfolgt mit Hilfe der komplexen Zeiger der Leiter-Erd-Spannungen, die an den beiden Messorten **P1** und **P2** gemessen werden. Die beiden **grünen Linien** sind die **Messleitungen**, welche das **Mess/Schutzgerät P3** mit den Messorten verbindet.

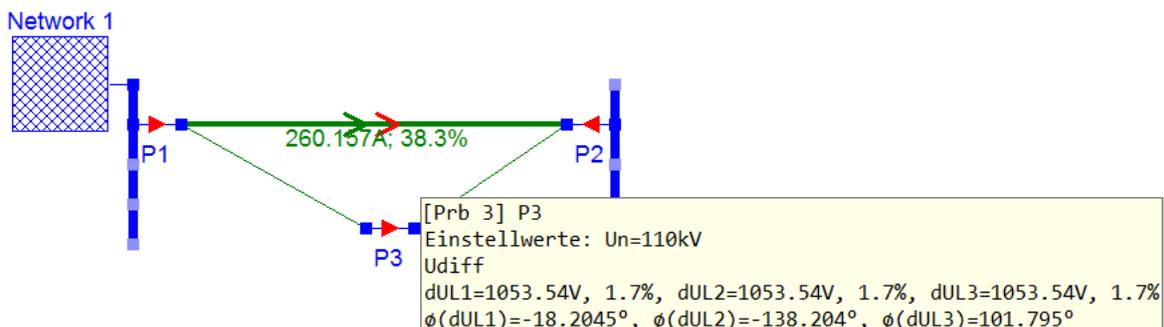


Abbildung 38: Anzeige der Differenzspannungen in einem Tooltip

Bezeichner	Bedeutung
<b>Einstellwert: Un</b>	Einstellwert der Nennspannung
<b>Udiff</b>	Messung der Längsspannung
<b>dUL1</b>	Differenzspannung Leiter L1 Betrag in V, Betrag in %Un/√3
<b>dUL2</b>	Differenzspannung Leiter L2 Betrag in V, Betrag in %Un/√3
<b>dUL3</b>	Differenzspannung Leiter L3 Betrag in V, Betrag in %Un/√3
<b>phi (dUL1)</b>	Absoluter Phasenwinkel der Differenz-Spannung Leiter L1 in Grad
<b>phi (dUL2)</b>	Absoluter Phasenwinkel der Differenz-Spannung Leiter L2 in Grad
<b>phi (dUL3)</b>	Absoluter Phasenwinkel der Differenz-Spannung Leiter L3 in Grad

### 8.14.3.2 Zusatzinformationen bei aktiver Netzschutzfunktion

Ist für ein **Mess/Schutzgerät** eine **Netzschutzfunktion** aktiv und steht eine Generalanregerung an, werden ggfs. weitere Ergebnisse angezeigt.

```
P=3.433889MW, Q=-5.232330Mvar, 0.995
U1=955.776V, 8.3%, I1=3.740kA, [-59.42°]
U2=0.000mV, 0.0%, I2=0.004mA, [-135.71°]
U0=0.002mV, 0.0%, I0=0.005mA, [-6.30°]
Z1p=(0.130001+j0.22)Ohm
Z1s=(0.390003+j0.66)Ohm
```

Abbildung 39: Anzeige der primären und sekundären Kurzschlussimpedanz

Bezeichner	Bedeutung
<b>Z1p</b>	Primäre Kurzschlussimpedanz im Mitsystem
<b>Z1s</b>	Sekundäre Kurzschlussimpedanz im Mitsystem

Falls die Kurzschlussimpedanzen ungültig sind, wird der Text „???“ angezeigt.

```
P=2.391973MW, Q=-0.271181Mvar, 0.994
U1=10.457kV, 90.6%, I1=353.838A, [-71.67°]
U2=2.046kV, 17.7%, I2=395.279A, [-262.00°]
U0=7.059kV, 61.1%, I0=398.592A, [-264.80°]
Char.Winkel: Ik=0A, [0°], φ=0°
```

Abbildung 40: Überstromzeitschutz – Anzeige von Zusatzinformationen

Bezeichner	Bedeutung
<b>Ik</b>	Kurzschlussstrom
<b>[...]</b>	Gedrehter Winkel des Kurzschlussstromes
<b>φ</b>	Charakteristischer Winkel zur Bestimmung der Kurzschlussrichtung

### 8.14.4 Sammelschiene

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Messwerte in einem Mehrzeilen-Tooltip. Der Inhalt des Tooltip ist abhängig von der Betriebsart als Einfach- oder Doppelsammelschiene. Es muss hier beachtet werden, dass die Messwerte in p.u. oder Prozent immer auf die eingestellte Nennspannung  $U_n$  bezogen werden.

#### 8.14.4.1 Messwerte einer Einfach sammelschiene

```
[Bb 1]
Einstellwerte: Un=20kV
U12=19.988kV, 99.942%; U23=19.988kV, 99.942%; U31=19.988kV, 99.942%
UL1=11.540kV, 99.942%; UL2=11.540kV, 99.942%; UL3=11.540kV, 99.942%
U1=99.94%; U2=0.00%; U0=0.00%; U2/U1=0.00%; U0/U1=0.00%
φ(U1)=-90.35°; φ(U2)=-173.63°; φ(U0)=-177.53°
```

Abbildung 41: Tooltip für eine Einfach sammelschiene

#### 8.14.4.2 Messwerte einer Doppelsammelschiene

Für die Doppelsammelschiene werden die Messwerte der beiden internen Sammelschienen getrennt ausgegeben. Es muss beachtet werden, dass die Messwerte vom Schaltzustand der internen Trennschalter abhängig sind.

```
[Bb 5]
Einstellwerte: Un=20kV
1: U12=19.598kV, 97.989%; U23=19.598kV, 97.989%; U31=19.598kV, 97.989%
1: UL1=11.315kV, 97.989%; UL2=11.315kV, 97.989%; UL3=11.315kV, 97.989%
2: U12=19.598kV, 97.989%; U23=19.598kV, 97.989%; U31=19.598kV, 97.989%
2: UL1=11.315kV, 97.989%; UL2=11.315kV, 97.989%; UL3=11.315kV, 97.989%
Ithr=25.0000kA; Tkr=1.000s; Ithz=79.0569kA; Tk=0.100s
1: U1=97.99%; U2=0.00%; U0=0.00%; U2/U1=0.00%; U0/U1=0.00%
2: U1=97.99%; U2=0.00%; U0=0.00%; U2/U1=0.00%; U0/U1=0.00%
```

Abbildung 42: Tooltip für eine Doppelsammelschiene

#### 8.14.4.3 Bezeichner für die Messwerte der Einfach- und Doppelsammelschienen

In der nachfolgenden Tabelle sind die Bezeichner der Tooltips erläutert. Im Falle einer Einfachsammschiene entfallen die Nummern der Sammelschienen wie z.B. „1:“.

Bezeichner	Bedeutung
<b>Einstellwert: Un</b>	Nennspannung $U_n$
<b>1: U12, U23, U31</b>	Leiter-Leiter-Spannungen $U_{12}$ , $U_{23}$ und $U_{31}$ in kV und in %Un an Sammelschiene 1
<b>1: UL1, UL2, UL3</b>	Leiter-Erd-Spannungen $U_{L1}$ , $U_{L2}$ und $U_{L3}$ in kV und in %Un an Sammelschiene 1
<b>2: U12, U23, U31</b>	Leiter-Leiter-Spannungen $U_{12}$ , $U_{23}$ und $U_{31}$ in kV und in %Un an Sammelschiene 2
<b>2: UL1, UL2, UL3</b>	Leiter-Erd-Spannungen $U_{L1}$ , $U_{L2}$ und $U_{L3}$ in kV und in %Un an Sammelschiene 2
<b>U1, U2, U0</b>	Betrag der Spannung im Mitsystem, Gegensystem und Nullsystem
<b>U2 / U1</b>	Relative Spannungsunsymmetrie im Gegensystem
<b>U0 / U1</b>	Relative Spannungsunsymmetrie im Nullsystem
<b><math>\phi(U1)</math>, <math>\phi(U2)</math>, <math>\phi(U0)</math></b>	Absolute Phasenwinkel der Spannungen im Mitsystem, Gegensystem und Nullsystem
<b>Ithr</b>	Bemessungswert des <b>thermisch gleichwertigen Kurzschlussstroms</b> Thermisch gleichwertiger Kurzschlussstrom nach <b>VDE 0102 (IEC 60909)</b> [2] zur Beurteilung der thermischen Beanspruchung von Sammelschienen
<b>Tkr</b>	Bemessungs-Zeitdauer des Kurzschlusses
<b>Ithk</b>	Maximal zulässiger thermisch gleichwertiger Kurzschlussstrom unter Berücksichtigung der tatsächlichen Kurzschlussdauer $T_k$  $I_{thk} = I_{thr} \cdot \sqrt{\frac{T_{kr}}{T_k}}$ <p>Die Einstellwerte <math>I_{thr}</math> und <math>T_{kr}</math> werden im Einstelldialog der Sammelschiene eingestellt.</p>

<b>T<sub>k</sub></b>	Kurzschlussdauer Der Einstellwert T <sub>k</sub> wird im Einstelldialog <b>VDE 0102 (IEC 60909)</b> eingestellt. Der <b>Einstellparameter T<sub>k</sub></b> sollte die prognostizierte Kurzschlussdauer vom Kurzschlusseintritt bis zum Unterbrechen des Kurzschlussstroms durch eine Schutzeinrichtung mit Leistungsschalter oder eine Sicherung angeben.
----------------------	---

Falls ein 3-poliger Erdkurzschluss an einer Sammelschiene angeschlossen wurde, so wird zusätzlich die Kurzschlussleistung S<sub>k</sub>'' berechnet und der 3-polige Kurzschlussstrom I<sub>k</sub>'' = I<sub>k3</sub>'' ausgegeben.

$$S_k'' = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_k''$$

### 8.14.5 Netzeinspeisung

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Messwerte in einem Mehrzeilen-Tooltip. Die Berechnung der Leistungen erfolgt unter Annahme des **Erzeugerzählpeilsystems (EZS)** am Netzknoten. Eine in das Stromversorgungsnetz eingespeiste Leistung wird als positiver Wert angegeben.

```
[Network 1] Network 1
Einstellwerte: Un=20.00kV; fn=50.00Hz; 0.00°; Sk/max/min=Sk
Einstellwerte: Sk=1500.00MVA; Sk max=1500.00MVA; Sk min=1500.00MVA
U12=19.978kV, 99.9%; U23=19.978kV, 99.9%; U31=19.978kV, 99.9%
UL1=11.534kV, 99.9%; UL2=11.534kV, 99.9%; UL3=11.534kV, 99.9%
Zk1=(0.0265+j0.2653)Ohm; Zk0=(0.0531+j0.5307)Ohm
IL1=530.068A, [0.80°]; IL2=530.068A, [0.80°]; IL3=530.068A, [0.80°]
S=18.341MVA; P=18.340MW; Q=-0.256Mvar; 1.000
Umin=99.9%; Umax=99.9%
```

**Abbildung 43: Tooltip für eine Netzeinspeisung**

Das in obiger Abbildung dargestellte Beispiel zeigt, dass die Netzeinspeisung Wirkleistung einspeist und Blindleistung aufnimmt.

Bezeichner	Bedeutung
<b>Einstellwert: Un</b>	Nennspannung U <sub>n</sub> in kV
<b>Einstellwert: fn</b>	Netznennfrequenz f <sub>n</sub> in Hz
<b>Einstellwert: Sk</b>	Kurzschlussleistung S <sub>k</sub> '' (S <sub>k</sub> ) in MVA
<b>U12, U23, U31</b>	Leiter-Leiter-Spannungen U <sub>12</sub> , U <sub>23</sub> und U <sub>31</sub> am Einspeiseknoten in kV und in %U <sub>n</sub>
<b>UL1, UL2, UL3</b>	Leiter-Erd-Spannungen U <sub>L1</sub> , U <sub>L2</sub> und U <sub>L3</sub> in kV und in %U <sub>n</sub> /√3
<b>Zk1, Zk0</b>	Kurzschlussimpedanz im Mitsystem $\underline{Z}_{k1}$ und Nullsystem $\underline{Z}_{k0}$ Es wird vorausgesetzt, dass Mit- und Gegenimpedanz identisch sind: $\underline{Z}_{k2} = \underline{Z}_{k1}$
<b>IL1, IL2, IL3</b>	Betrag der Leiterströme I <sub>L1</sub> , I <sub>L2</sub> und I <sub>L3</sub> in A, [Phasenverschiebung φ <sub>rel</sub> zur zugehörigen Leiter-Erd-Spannung in Grad]
<b>S, P, Q, ...</b>	Scheinleistung S in MVA, Wirkleistung P in MW, Blindleistung Q in Mvar, Verschiebungsfaktor cos φ

<b>Umin</b>	Betrag der kleinsten Leiter-Erd- und Leiter-Leiter-Spannung
<b>Umax</b>	Betrag der größten Leiter-Erd- und Leiter-Leiter-Spannung

### 8.14.6 Erzeugungsanlage (DEA)

Abhängig von der Betriebsart als Spannungsquelle, Stromquelle oder Leistungsquelle werden verschiedene Informationen in dem Tooltip angezeigt. Auch der Betrieb als Dezentrale Erzeugungsanlage im LVRT-Betrieb in Anlehnung an VDE-AR-N 4110/4120 [18],[29] bzw. MSR2008 [4] wird mit weiteren Ausgaben „LVRT“ angezeigt. Der nachfolgend benannte Einspeiseknoten entspricht dem Netzanschlusspunkt (NAP). Die Berechnung der Leistungen erfolgt unter Annahme des **Erzeugerzählpeilsystems (EZS)**. Bei der Interpretation der ein- bzw. ausgespeisten Leistungen und der Leiterströme ist zu beachten, dass der Einstellwert **Winkel** des Einstelldialogs **Erzeugungsanlage (DEA)** im Sinne des **Erzeugerzählpeilsystems (EZS)** zu verstehen ist. Eine positive Wirkleistung wird demnach für die Einstellung **Winkel = 0°** aus der Quelle ausgespeist.

#### 8.14.6.1 Betriebsart $U_n = \text{const.}$

Ist die Betriebsart **Lastfluss DEA** aktiv, so wird folgender Tooltip angezeigt.

```
[3Ph 2] 3Ph 2
Einstellwerte: Un=110.00kV; fn=50.00Hz; Phi=0.0°
U12=110.000kV, 100.0%; U23=110.000kV, 100.0%; U31=110.000kV, 100.0%
UL1=63.509kV, 100.0%; UL2=63.509kV, 100.0%; UL3=63.509kV, 100.0%
Betriebsart S/P: Begrenzung IL = Imax deaktiviert
```

Abbildung 44: Tooltip für eine 3-phasige symmetrische Spannungsquelle

Einstellwerte	Bedeutung
<b>Un</b>	Nennspannung
<b>fn</b>	Nennfrequenz
<b>Phi</b>	Absoluter Phasenwinkel der Spannungsquelle

Bezeichner	Bedeutung
<b>U12, U23, U31</b>	Betrag der Leiter-Leiter-Spannungen $\underline{U}_{12}$ , $\underline{U}_{23}$ und $\underline{U}_{31}$ in V und % $U_n$
<b>UL1, UL2, UL3</b>	Betrag der Leiter-Erd-Spannungen $\underline{U}_{L1}$ , $\underline{U}_{L2}$ und $\underline{U}_{L3}$ in V und in % $U_n/\sqrt{3}$

#### 8.14.6.2 Betriebsart $I_n = \text{const.}$

Ist die Betriebsart **Lastfluss DEA** (Einstelldialog **ATP Einstellwerte**, Registerkarte **Allgemeine Daten**) aktiv, so wird folgender Tooltip angezeigt.

```
[3Ph 2] 3Ph 2
Einstellwerte: In=100.00A; fn=50.00Hz; Phi=0.0°
U12=20.050kV, 5012.5%; U23=20.050kV, 5012.5%; U31=20.050kV, 5012.5%
UL1=11.576kV, 5012.5%; UL2=11.576kV, 5012.5%; UL3=11.576kV, 5012.5%
UL1=-89.0°; UL2=151.0°; UL3=31.0°
IL1=100.000A; -90.00°; [-1.00°]; IL2=100.000A; 150.00°; [-1.00°]; IL3=100.000A; 30.00°; [-1.00°]
IL1=100.000; IL2=100.000; IL3=100.000%In[=100.000A]
S=3.472770MVA, P=3.472241MW, Q=0.060608Mvar, 1.000
Betriebsart S/P: Begrenzung IL = Imax deaktiviert
```

Abbildung 45: Tooltip für eine 3-phasige symmetrische Stromquelle

Einstellwerte	Bedeutung
<b>In</b>	Nennstrom
<b>fn</b>	Nennfrequenz
<b>Phi</b>	Absoluter Phasenwinkel der Stromquelle

Bezeichner	Bedeutung
<b>U12, U23, U31</b>	Betrag der Leiter-Leiter-Spannungen $\underline{U}_{12}$ , $\underline{U}_{23}$ und $\underline{U}_{31}$ in V und % $U_n$
<b>UL1, UL2, UL3</b>	Betrag der Leiter-Erd-Spannungen $\underline{U}_{L1}$ , $\underline{U}_{L2}$ und $\underline{U}_{L3}$ in V und in % $U_n/\sqrt{3}$
<b>IL1, IL2, IL3</b>	Betrag der Leiterströme $\underline{I}_{L1}$ , $\underline{I}_{L2}$ und $\underline{I}_{L3}$ in A; Absoluter Phasenwinkel der Leiterströme in Grad; [Phasenverschiebung zwischen dem Leiterstrom und der zugehörigen Leiter-Erd-Spannung in Grad]
<b>S</b>	Scheinleistung S in MVA
<b>P, Q, ...</b>	Wirkleistung P in MW, Blindleistung Q in Mvar Verschiebungsfaktor $\cos \varphi = \frac{P}{S}$

### 8.14.6.3 Betriebsart Leistungsquelle

Ist die Option **Lastfluss: DEA** in der Registerkarte **ATP Einstellwerte**  aktiviert, so werden zusätzliche Informationen im Tooltip für die Betriebsarten **Sn (IL:1/2/3p) = const.**, **Pn (IL:1/2/3p) = const.**, **Sn (IL:3p) = const.** und **Pn (IL:3p) = const.** angezeigt. Zusätzlich wird zwischen den **Normalbetrieb** (= **LVRT OFF**) und dem **LVRT-Betrieb** (= **LVRT ON**) in Anlehnung an **VDE-AR-N 4110/4120** [18],[29] bzw. **MSR2008** [4] unterschieden.

In der nachfolgenden Abbildung ist zu erkennen, dass der LVRT-Betrieb in der Registerkarte **LVRT** mit dem Einstellwert **LVRT EIN/AUS** ausgeschaltet war: **LVRT=AUS**. Am Ende des Tooltip wird der ausgeschaltete LVRT-Betrieb durch **LVRT OFF** angegeben.

```
[3Ph 1] 5MW
Einstellwerte: Pn (IL:3p) = const.; Betriebsart S/P: Begrenzung IL = Imax deaktiviert
Einstellwerte: P=5.00kW; Un=20.000kV fn=50.00Hz; Phi=0.0°; E=0kWh; LVRT=AUS
Einstellwerte: CP=1.000 untererregt; ILmax=0.2A; Sr=1000000000000000.000kVA
Einstellwerte: LVRT=VDE-AR-N 4110; s=100.0%; s(DEA)=100.0%; s(Zone)=100.0%; s(Bereich)=100.0%
Einstellwerte: s(Zone E-Mobile)=100.0%; s(Bereich E-Mobile)=100.0%
Einstellwerte: U>=1.1p.u.; U<=0.45p.u.; NAP=3Ph.; NAP(LVRT)=3Ph.
U12=19.8557kV, -61.1°, 99.3%; U23=19.8557kV, 178.9°, 99.3%; U31=19.8557kV, 58.9°, 99.3%
UL1=11.4637kV, -91.1°, 99.3%; UL2=11.4637kV, 148.9°, 99.3%; UL3=11.4637kV, 28.9°, 99.3%
Um=11.4637kV
IL1=0.145386A, -91.1°, [-0.0°]; IL2=0.145386A, 148.9°, [-0.0°]; IL3=0.145386A, 28.9°, [-0.0°]
IL1=100.7%In; IL2=100.7%In; IL3=100.7%In [In=0.144338A]
S=5.000000kVA, P=5.000000kW, Q=0.000000kvar, 1.000
NAP: U1=11463.7V, -91.1°; I1=0.1A, -91.1°, [0.0°]
LVRT OFF: IL1=0.000A;0.00°; IL2=0.000A;0.00°; IL3=0.000A;0.00°; Lim=100.0%
```

**Abbildung 46: LVRT=AUS - Leistungsquelle im Normalbetrieb mit deaktiviertem LVRT-Betrieb**

Ist der LVRT-Betrieb mit **LVRT=EIN** aktiviert, werden im Normalbetrieb des Stromnetzes, d.h. ohne Kurzschluss die in der nachfolgenden Abbildung dargestellten Werte angezeigt.

```
[3Ph 1] 5MW
Einstellwerte: Pn (IL:3p) = const.; Betriebsart S/P: Begrenzung IL = Imax deaktiviert
Einstellwerte: P=5000.00kW; Un=20.000kV fn=50.00Hz; Phi=18.2°; E=0kWh; LVRT=EIN
Einstellwerte: CP=0.950 untererregt; ILmax=182.3A; Sr=1000000000000000.000kVA
Einstellwerte: LVRT=VDE-AR-N 4110; s=100.0%; s(DEA)=100.0%; s(Zone)=100.0%; s(Bereich)=100.0%
Einstellwerte: s(Zone E-Mobile)=100.0%; s(Bereich E-Mobile)=100.0%
Einstellwerte: U>=1e+15p.u.; U<=0p.u.; NAP=3Ph.; NAP(LVRT)=3Ph.
U12=19.8283kV, -56.5°, 99.1%; U23=19.8283kV, -176.5°, 99.1%; U31=19.8283kV, 63.5°, 99.1%
UL1=11.4479kV, -86.5°, 99.1%; UL2=11.4479kV, 153.5°, 99.1%; UL3=11.4479kV, 33.5°, 99.1%
Um=11.4472kV
IL1=153.259A, -68.3°, [18.2°]; IL2=153.259A, 171.7°, [18.2°]; IL3=153.259A, 51.7°, [18.2°]
IL1=100.9%In; IL2=100.9%In; IL3=100.9%In [In=151.934A]
S=5.263476kVA, P=5.000155kW, Q=-1.643967kvar, 0.950
NAP: U1=11447.2V, -86.5°; I1=153.2A, -68.3°, [18.3°]
LVRT OFF: Un=20.000kV; U<=88.0%; U>=92.0%; Messort[NAP(LVRT)]=DEA
LVRT OFF: ULLmin=19827.084V=99.1%; U1(0)=11447.864V=99.1%; U2(0)=0.000V=0.0%
LVRT OFF: U1=0.000V=0.000p.u.; 0.000°; U2=0.000V=0.000p.u.; 0.000°
LVRT OFF: dU1=0.000p.u.; dU2=0.000p.u.
LVRT OFF: I1b(0)=47.852A untererregt; CP1(0)=0.950; I2b(0)=0.000A
LVRT OFF: I1w(0)=145.597A; I1(0)=153.259A; I2w(0)=0.000A; I2(0)=0.000A
LVRT OFF: IL1=0.000A;0.00°; IL2=0.000A;0.00°; IL3=0.000A;0.00°; Lim=100.0%
```

**Abbildung 47: LVRT EIN - Leistungsquelle mit deaktiviertem LVRT-Betrieb**

Ist mit dem Einstellwert **LVRT=EIN** der LVRT-Betrieb **LVRT ON** aktiv, werden abhängig von der LVRT-Betriebsart **MSR2008** oder **VDE-AR-N 4110/4120** bei anstehendem Kurzschluss im Stromnetz weitere Informationen angezeigt.

```
[3Ph 1] 5MW
Einstellwerte: Pn (IL:3p) = const.; Betriebsart S/P: Begrenzung IL = Imax deaktiviert
Einstellwerte: P=5000.00kW; Un=20.000kV fn=50.00Hz; Phi=18.2°; E=0kWh; LVRT=EIN
Einstellwerte: CP=0.950 untererregt; ILmax=182.3A; Sr=1000000000000000.000kVA
Einstellwerte: LVRT=VDE-AR-N 4110; s=100.0%; s(DEA)=100.0%; s(Zone)=100.0%; s(Bereich)=100.0%
Einstellwerte: s(Zone E-Mobile)=100.0%; s(Bereich E-Mobile)=100.0%
Einstellwerte: U>=1e+15p.u.; U<=0p.u.; NAP=3Ph.; NAP(LVRT)=3Ph.
U12=2.21157kV, -109.6°, 11.1%; U23=2.21157kV, 130.4°, 11.1%; U31=2.21157kV, 10.4°, 11.1%
UL1=1.27685kV, -139.6°, 11.1%; UL2=1.27685kV, 100.4°, 11.1%; UL3=1.27685kV, -19.6°, 11.1%
Um=1.27634kV
IL1=182.321A, 130.4°, [270.0°]; IL2=182.321A, 10.4°, [-90.0°]; IL3=182.321A, -109.6°, [270.0°]
IL1=120.0%In; IL2=120.0%In; IL3=120.0%In [In=151.934A]
S=698.390343kVA, P=-0.000000kW, Q=698.390343kvar, -0.000
NAP(LVRT): U1=1276.3V, -139.6°; I1=182.3A, 130.2°, [269.8°]
LVRT ON: Un=20.000kV; U<=88.0%; U>=92.0%; k1=2; CP1=0.000; Messort[NAP(LVRT)]=DEA
LVRT ON: ULLmin=2210.686V=11.1%; dULL=0.881p.u.; U1(0)=11447.864V=99.1%; U2(0)=0.000V=0.0%
LVRT ON: Betriebsart |IL|=0A deaktiviert
LVRT ON: U1=1276.340V=0.111p.u.; -139.620°; U2=0.000V=0.000p.u.; -158.055°
LVRT ON: dU1=0.881p.u.; dU2=0.000p.u.
LVRT(DEA) ON: dI1b=267.672A; dI2b=0.000A; ILmax=182.3A
LVRT(DEA) ON: I1b(0)=47.852A untererregt; CP1(0)=0.950; I2b(0)=0.000A
LVRT(DEA) ON: I1w(0)=145.597A; I1(0)=153.259A; CP1(0)=0.950; I2w(0)=0.000A; I2(0)=0.000A
LVRT(DEA) ON: I1=219.820A; I1w=0.000A; I1b=219.820A
LVRT(DEA) ON: I2=0.000A; I2w=0.000A; I2b=0.000A
LVRT ON: IL1=182.321A;-90.00°; IL2=182.321A;150.00°; IL3=182.321A;30.00°; Lim=82.9%
```

**Abbildung 48: LVRT EIN - Leistungsquelle im aktiven LVRT-Betrieb nach VDE-AR-N 4110**

Der aktive LVRT-Betrieb der **Dezentralen Erzeugungsanlage (DEA)** wird in der Netzgrafik dadurch angezeigt, dass das grafische Symbol mit **hellblauer** Farbe ausgefüllt und mit einem **roten Signal** versehen ist. Die nachfolgende Abbildung zeigt ein Beispiel.



Abbildung 49: Erzeugungsanlage (DEA) im LVRT-Betrieb

Einstellwerte	Bedeutung
<b>P</b>	Wirkleistung
<b>S</b>	Scheinleistung
<b>Un</b>	Nennspannung
<b>fn</b>	Nennfrequenz
<b>Phi</b>	Winkel
<b>CP</b>	Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ übererregt oder untererregt
<b>NAP</b>	Netzanschlusspunkt (NAP)
<b>ILmax</b>	Maximaler Einspeisestrom
<b>s</b>	Spezifischer Teillastfaktor
<b>s(DEA)</b>	Globaler Teillastfaktor für alle <b>Dezentralen Erzeugungsanlagen (DEA)</b>
<b>s(Zone)</b>	Teillastfaktor der zugeordneten <b>Zone</b>
<b>LVRT</b>	Betriebsart des LVRT-Modus z.B. <b>VDE-AR-N 4110</b>

In der nachfolgenden Tabelle sind Messwerte, die im fehlerfreien Normalbetrieb der Dezentralen Erzeugungsanlage vor dem LVRT-Betrieb, d.h. vor dem Kurzschlusseintritt berechnet wurden, mit dem Präfix **Normabtrieb**: gekennzeichnet. Das Verhalten der Erzeugungsanlage wird in Anlehnung an **VDE-AR-N 4110/4120** [18],[29] bzw. **MSR2008** [4] z.B. durch den Blindstrom  $I_b$  unmittelbar vor dem LVRT-Betrieb definiert.

⇒ Die Messwerte des Normalbetriebes werden durch die Kennung **(0)** gekennzeichnet.

Bezeichner	Bedeutung
<b>U12, U23, U31</b>	Betrag der Leiter-Leiter-Spannungen $\underline{U}_{12}$ , $\underline{U}_{23}$ und $\underline{U}_{31}$ in V und $\%U_n$
<b>UL1, UL2, UL3</b>	Betrag der Leiter-Erd-Spannungen $\underline{U}_{L1}$ , $\underline{U}_{L2}$ und $\underline{U}_{L3}$ in V und in $\%U_n/\sqrt{3}$ ; Absoluter Phasenwinkel in Grad
<b>IL1, IL2, IL3</b>	Betrag der Leiterströme $\underline{I}_{L1}$ , $\underline{I}_{L2}$ und $\underline{I}_{L3}$ in A; Absoluter Phasenwinkel der Leiterströme in Grad; [Phasenverschiebung zwischen dem Leiterstrom und der zugehörigen Leiter-Erd-Spannung in Grad]
<b>IL1, IL2, IL3</b>	Betrag der Leiterströme in $\%I_n$
<b>S</b>	Scheinleistung S in MVA
<b>P, Q, ...</b>	Wirkleistung P in MW, Blindleistung Q in Mvar Verschiebungsfaktor $\cos \varphi = \frac{P}{S}$
<b>U1(0)</b>	<b>Normalbetrieb</b> : Betrag der Spannung im Mitsystem in V

<b>U1</b>	Betrag der Spannung im Mitsystem in V und p.u.; Absoluter Phasenwinkel in Grad
<b>U2</b>	Betrag der Spannung im Gegensystem in V und p.u.; Absoluter Phasenwinkel in Grad
<b>dU1</b>	Änderung des Betrages der Spannung im Mitsystem
<b>dU2</b>	Änderung des Betrages der Spannung im Gegensystem
<b>dI1b</b>	Änderung des Betrages des Blindstromes im Mitsystem
<b>dI2b</b>	Änderung des Betrages des Blindstromes im Gegensystem
<b>ILmax</b>	Maximal zulässiger Betrag des Scheinstromes
<b>I1b(0)</b>	<b>Normalbetrieb:</b> Betrag des Blindstromes im Mitsystem
<b>Ib2(0)</b>	<b>Normalbetrieb:</b> Betrag des Blindstromes im Gegensystem
<b>CP1(0)</b>	<b>Normalbetrieb:</b> Verschiebungsfaktor
<b>I1w(0)</b>	<b>Normalbetrieb:</b> Betrag des Wirkstromes im Mitsystem
<b>I1(0)</b>	<b>Normalbetrieb:</b> Betrag des Scheinstromes im Mitsystem
<b>I2w(0)</b>	<b>Normalbetrieb:</b> Betrag des Wirkstromes im Gegensystem
<b>I2(0)</b>	<b>Normalbetrieb:</b> Betrag des Scheinstromes im Gegensystem
<b>I1</b>	Betrag des Scheinstromes im Mitsystem
<b>I2</b>	Betrag des Scheinstromes im Gegensystem
<b>I1w</b>	Betrag des Wirkstromes im Mitsystem
<b>I2w</b>	Betrag des Wirkstromes im Gegensystem
<b>I1b</b>	Betrag des Blindstromes im Mitsystem
<b>I1b</b>	Betrag des Blindstromes im Gegensystem
<b>NAP(LVRT)</b>	Netzanschlusspunkt (NAP) im <b>LVRT-Betrieb</b> Einstellwert <b>LVRT Messort</b> , Registerkarte <b>Allgemeine Daten</b>
<b>NAP</b>	Netzanschlusspunkt (NAP) im <b>Normalbetrieb</b> Einstellwert <b>NAP Messort</b> , Registerkarte <b>Allgemeine Daten</b>
<b>Um</b>	3-phasige symmetrische Stromquelle: Spannung im Mitsystem $U_1$ 1/2/3-phasige Stromquelle: Mittelwert der Leiter-Erd-Spannungen $U_{L123}$
<b>Lim</b>	Um den maximal zulässigen Betrag der Leiterströme nicht zu übersteigen, müssen die nach Anwendungsrichtlinie berechneten Leiterströme auf <b>Lim</b> begrenzt werden.

In der nachfolgenden Abbildung ist der Tooltip angezeigt, wenn ein Kurzschluss im Netz vorhanden ist, der LVRT-Betrieb für die dezentrale Erzeugungsanlage mit dem in der nachfolgenden Abbildung dargestellten Einstellwert **LVRT EIN/AUS** deaktiviert wurde.

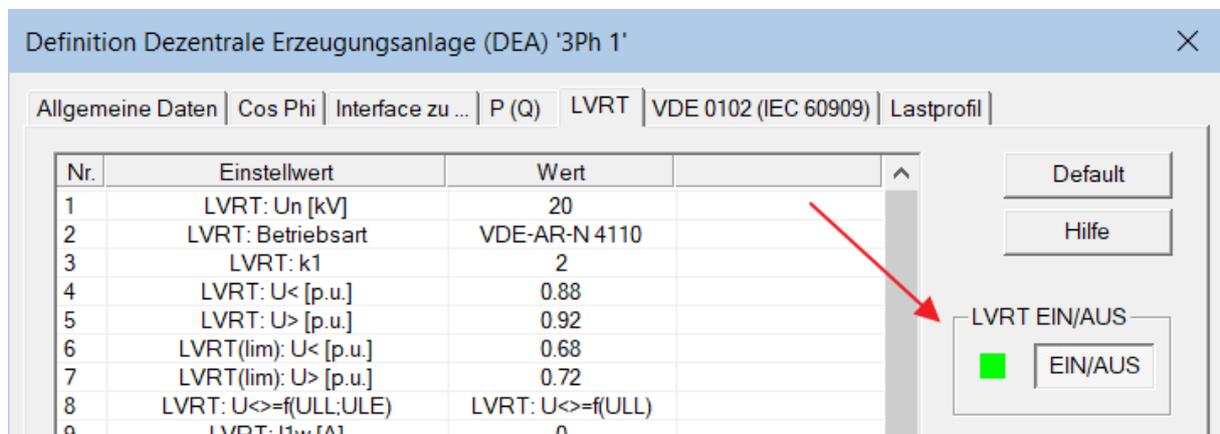


Abbildung 50: Dezentrale Erzeugungsanlagen – LVRT EIN/AUS

```
[3Ph 1] 5MW
Einstellwerte: Pn (IL:3p) = const.; Betriebsart S/P: Begrenzung IL = Imax aktiviert
Einstellwerte: P=5000.00kW; Un=20.000kV fn=50.00Hz; Phi=18.2°; E=0kWh; LVRT=AUS
Einstellwerte: CP=0.950 untererregt; ILmax=182.3A; Sr=1000000000000000.000kVA
Einstellwerte: LVRT=VDE-AR-N 4110; s=100.0%; s(DEA)=100.0%; s(Zone)=100.0%; s(Bereich)=100.0%
Einstellwerte: s(Zone E-Mobile)=100.0%; s(Bereich E-Mobile)=100.0%
Einstellwerte: U>=1e+15p.u.; U<=0p.u.; NAP=3Ph.; NAP(LVRT)=3Ph.
U12=6.64366kV, -86.4°, 33.2%; U23=6.64366kV, 153.6°, 33.2%; U31=6.64366kV, 33.6°, 33.2%
UL1=3.83572kV, -116.4°, 33.2%; UL2=3.83572kV, 123.6°, 33.2%; UL3=3.83572kV, 3.6°, 33.2%
Um=3.84126kV
IL1=182.321A, -98.3°, [18.2°]; IL2=182.321A, 141.7°, [18.2°]; IL3=182.321A, 21.7°, [18.2°]
IL1=120.0%In; IL2=120.0%In; IL3=120.0%In [In=151.934A]
S=2.097996kVA, P=1.993038kW, Q=-0.655278kvar, 0.950
NAP(LVRT): U1=3841.3V, -116.5°; I1=182.3A, -99.2°, [17.3°]
LVRT OFF: IL1=147.196A; -90.00°; IL2=147.196A;150.00°; IL3=147.196A;30.00°; Lim=100.0%
```

Abbildung 51: LVRT AUS - Leistungsquelle mit deaktiviertem LVRT-Betrieb beim Kurzschluss

### 8.14.7 Verbraucherlast

Die nachfolgende Abbildung zeigt ausgewählte Einstellwerte und die Messwerte in einem Mehrzeilen-Tooltip.

```
[Load 2] 2MW
Einstellwerte: S=2.04082MVA; P=2.00000MW; Q=0.40612Mvar; 0.980000; Un=20000.00V
Einstellwerte: s=100.000%; s(Last)=100.000%; s(Zone)=100.000%; s(Bereich)=100.000%
Einstellwerte: Serienimpedanz (Y)
Einstellwerte: R=192.080hm; X=39.00340hm; C=0uF
S=2.039715MVA; P=1.998921MW; Q=0.405898Mvar; 0.980
UL1=11445.99V, -91.2°, 99.13%; UL2=11445.99V, 148.8°, 99.13%; UL3=11445.99V, 28.8°, 99.13%
IL1=59.401A, -102.7°, [-11.5°]; IL2=59.401A, 137.3°, [-11.5°]; IL3=59.401A, 17.3°, [-11.5°]
dS=-0.00110479kVA; dP=-0.00107909kW; dQ=-0.000219798kvar; dCosPhi=5.9619e-14
LF: R=188.8360hm; X=38.34480hm; C=0uF; Skorr=2.07588MVA
```

Abbildung 52: Tooltip für eine Verbraucherlast

Ist die Lastflussberechnung **Lastfluss: PQ, PU-Knoten** deaktiviert, so werden weniger Werte in dem Tooltip angezeigt.

```
[Load 2] 2MW
Einstellwerte: S=2.04082MVA; P=2.00000MW; Q=0.40612Mvar; 0.980000; Un=20000.00V
Einstellwerte: s=100.000%; s(Last)=100.000%; s(Zone)=100.000%; s(Bereich)=100.000%
Einstellwerte: Serienimpedanz (Y)
Einstellwerte: R=192.080hm; X=39.00340hm; C=0uF
S=2.005764MVA; P=1.965648MW; Q=0.399141Mvar; 0.980
UL1=11447.41V, -91.2°, 99.14%; UL2=11447.41V, 148.8°, 99.14%; UL3=11447.41V, 28.8°, 99.14%
IL1=58.405A, -102.6°, [-11.5°]; IL2=58.405A, 137.4°, [-11.5°]; IL3=58.405A, 17.4°, [-11.5°]
```

Abbildung 53: Tooltip für eine Verbraucherlast

Einstellwerte	Bedeutung
<b>S</b>	Betrag der Scheinleistung S in MVA
<b>P</b>	Wirkleistung P in MW
<b>Q</b>	Blindleistung Q in Mvar
	Verschiebungsfaktor $\cos \varphi = \frac{P}{S}$
<b>Un</b>	Nennspannung
<b>s</b>	Globaler Teillastfaktor Einstelldialog <b>ATP Einstellwerte</b> , Registerkarte <b>Lastfluss: Lasten</b>

<b>s(Last)</b>	Teillastfaktor des Netzwerkelementes Einstelldialog der <b>Verbraucherlast</b>
<b>s(Zone)</b>	Zonenspezifischer Teillastfaktor
<b>R, X, C</b>	Werte der 3-phasigen symmetrischen Lastimpedanz

Bezeichner	Bedeutung
<b>UL1, UL2, UL3</b>	Betrag der Leiter-Erd-Spannungen $\underline{U}_{L1}$ , $\underline{U}_{L2}$ , $\underline{U}_{L3}$ in V und $\%U_n/\sqrt{3}$
<b>IL1, IL2, IL3</b>	Betrag der Leiterströme $\underline{I}_{L1}$ , $\underline{I}_{L2}$ und $\underline{I}_{L3}$ in A; Absoluter Phasenwinkel der Leiterströme in Grad; [Phasenverschiebung zwischen dem Leiterstrom und der zugehörigen Leiter-Erd-Spannung in Grad]
<b>S, P, Q, ...</b>	Wirkleistung P in MW, Blindleistung Q in Mvar, Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ $\cos \varphi = \frac{P}{S}$
<b>dS, dP, dQ</b>	Abweichung des Betrages der Scheinleistung dS, der Wirkleistung dP und Blindleistung dQ vom eingestellten Wert
<b>LF: R, X, C, SKorr</b>	Ergebnisse der Lastflussiteration: tatsächliche verwendete Werte der Lastimpedanz, korrigierte Scheinleistung

### 8.14.8 Schalter (CB) - Schalter mit Messort

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Messwerte in einem Mehrzeilen-Tooltip.

<pre> [Cb1] Cb1 UL1=63.196kV, -91.81° UL2=63.196kV, 148.19° UL3=63.196kV, 28.19° IL1=251.576A, -94.09°, [-2.28°] IL2=251.578A, 145.91°, [-2.28°] IL3=251.578A, 25.91°, [-2.28°] U12=109.458kV, -61.81° U23=109.458kV, 178.19° U31=109.458kV, 58.19° U0=0.00V, -10.93° IE=0.001A, 97.12°, [108.00°] S=47.695817MVA P=47.658010MW, Q=1.898679Mvar, 0.999 U1=63.196kV, I1=251.577A, [-2.28°] U2=2.511mV, I2=0.595mA, [94.95°] U0=4.960mV, I0=0.464mA, [108.00°] </pre>
---

Abbildung 54: Tooltip für einen Schalter mit Messort *Circuit-Breaker*

Die Berechnung der Leistungen erfolgt unter Annahme des **Verbraucherzählpeilsystems (VZS)** für beide Wicklungen.

Bezeichner	Bedeutung
<b>UL1, UL2, UL3</b>	Leiter-Erd-Spannungen $\underline{U}_{L1}$ , $\underline{U}_{L2}$ , $\underline{U}_{L3}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>absoluter Betrag, absoluter Phasenwinkel</li> </ul>
<b>IL1, IL2, IL3</b>	Leiterströme $\underline{I}_{L1}$ , $\underline{I}_{L2}$ , $\underline{I}_{L3}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>absoluter Betrag, absoluter Phasenwinkel, [Phasenverschiebung zur Leiter-Erd-Spannung]</li> </ul>
<b>U12, U23, U31</b>	Leiter-Leiter-Spannungen $\underline{U}_{L12}$ , $\underline{U}_{L23}$ , $\underline{U}_{L31}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>absoluter Betrag, absoluter Phasenwinkel</li> </ul>

<b>U0</b>	Nullspannung $\underline{U}_0$ ▪ absoluter Betrag, absoluter Phasenwinkel
<b>IE</b>	Summenstrom $\underline{I}_E$ ▪ absoluter Betrag, absoluter Phasenwinkel $\underline{I}_E = \underline{I}_{L1} + \underline{I}_{L2} + \underline{I}_{L3}$
<b>S, P, Q, cos φ</b>	Scheinleistung, Wirkleistung, Blindleistung, Verschiebungsfaktor
<b>U1, U2</b>	Mitsystem- und Gegensystemspannung $\underline{U}_1 = \frac{\underline{U}_{L1} + \underline{a} \cdot \underline{U}_{L2} + \underline{a}^2 \cdot \underline{U}_{L3}}{3}$ $\underline{U}_2 = \frac{\underline{U}_{L1} + \underline{a}^2 \cdot \underline{U}_{L2} + \underline{a} \cdot \underline{U}_{L3}}{3}$
<b>U0</b>	Nullsystemspannung $\underline{U}_0 = \frac{\underline{U}_{L1} + \underline{U}_{L2} + \underline{U}_{L3}}{3}$
<b>I1, I2, I0</b>	Mitsystem-, Gegensystem- und Nullsystemstrom ▪ absoluter Betrag, [Phasenverschiebung zur Mitsystem-, Gegensystem bzw. Nullsystemspannung]

### 8.14.9 2- und 3-Wicklungstransformator BCTRAN

Die Berechnung der Leistungen erfolgt unter Annahme des **Verbraucherzählpeilsystems (VZS)** für alle Wicklungen. Ein in den Transformator hineinfließender Leiterstrom wird als positiver Wert dargestellt. In der nachfolgenden Abbildung ist beispielhaft der Tooltip angezeigt, wenn die [Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102](#) mit einem 3-poligen Kurzschluss 3pE an Wicklung 2 berechnet wurde.

```
[Bct 1] 35MVA BCTRAN
Einstellwerte: Ur1=110kV; Ur2=20kV; Ur3=20kV
Einstellwerte: Sr12=35MVA; Sr13=35MVA; Sr23=35MVA
1: UL1=5.353kV=8.429%; UL2=0.000kV=0.000%; UL3=5.353kV=8.429%
2: UL1=12.702kV=110.000%; UL2=6.351kV=55.000%; UL3=12.702kV=110.000%
3: UL1=0.000kV=0.000%; UL2=5.986kV=51.836%; UL3=11.971kV=103.673%
R12=1.9017250hm; R13=1.9017250hm; R23=1.9017250hm
X12=92.2550010hm; X13=92.2550010hm; X23=92.2550010hm
Z12=92.2746000hm; Z13=92.2746000hm; Z23=92.2746000hm
cmax12=1.1; cmax13=1.1; cmax23=1.1
xT12=0.26685; xT13=0.26685; xT23=0.26685
KT12=0.90078; KT13=0.90078; KT23=0.90078
```

Abbildung 55: Tooltip für einen 3-Wicklungstransformator BCTRAN

Wird nur der 2-Wicklungstransformator verwendet, so werden die Einstell- und Anzeigewerte des Tooltip auf die Wicklungen 1 und 2 reduziert.

Bezeichner	Bedeutung
<b>Einstellwerte</b>	Bemessungsspannungen $U_{rx}$ (mit x = Nummer der Wicklung 1, 2, 3)
<b>Einstellwerte</b>	Bemessungsleistungen $S_{rxx}$
<b>1: UL1, UL2, UL3</b>	Betrag der Leiter-Erd-Spannungen an Wicklung 1 in V und $\%U_n/\sqrt{3}$

<b>2: UL1, UL2, UL3</b>	Betrag der Leiter-Erd-Spannungen an Wicklung 2 in V und $\%U_n/\sqrt{3}$
<b>3: UL1, UL2, UL3</b>	Betrag der Leiter-Erd-Spannungen an Wicklung 3 in V und $\%U_n/\sqrt{3}$
<b>R12, R13, R23</b>	Kurzschlussresistanz zwischen den Wicklungen
<b>X12, X13, X23</b>	Kurzschlussreaktanz zwischen den Wicklungen
<b>Z12, Z13, Z23</b>	Betrag der Kurzschlussimpedanz zwischen den Wicklungen

Nur wenn die [Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102](#) eingeschaltet ist:

Bezeichner	Bedeutung
<b>cmax12, cmax13, cmax23</b>	Spannungsfaktor zwischen den Wicklungen
<b>xT12, xT13, xT23</b>	Bezogene Kurzschlussimpedanz in p.u. zwischen den Wicklungen
<b>KT12, KT13, KT23</b>	Impedanzkorrekturfaktor zwischen den Wicklungen

### 8.14.10 Logikfunktion für Schutzgeräte Schutzlogik/TACS

Das Netzwerkelement **Schutzlogik/TACS** kann als **Logikfunktion für Schutzgeräte** verwendet werden. Ausgangssignale von Schutzfunktionen wie z.B. AUS-Kommandos werden logisch verknüpft und an einen oder mehrere Leistungsschalter (**Schalter**) weitergeleitet. Die von ATPDesigner automatisch an den Eingängen und an dem Ausgang ermittelten Netzwerkelemente mit deren logischen Zuständen werden in einem Tooltip nach ausgeführter [Berechnung eines stationären Netzzustandes](#) angezeigt.

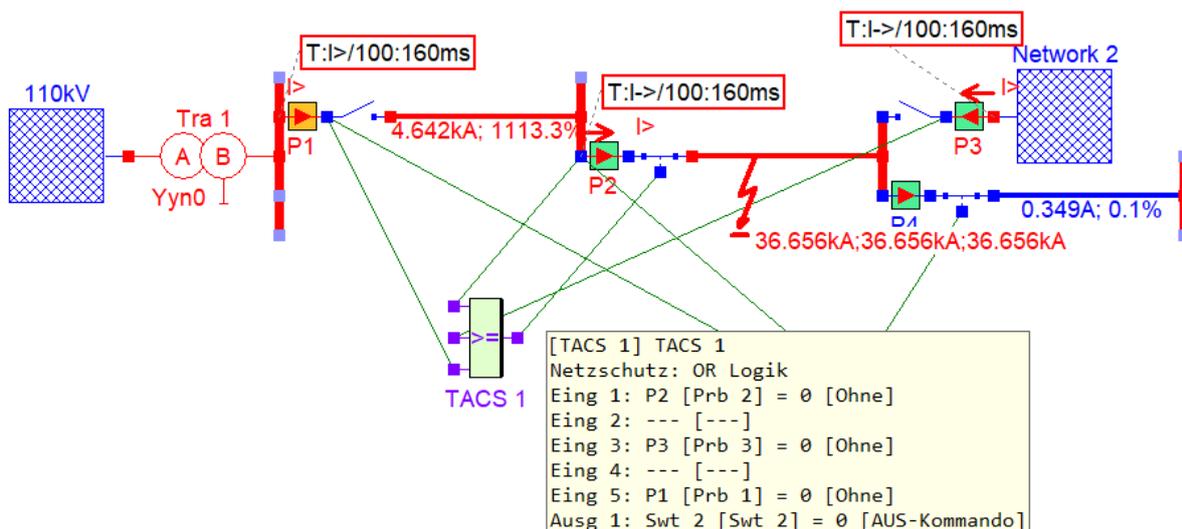


Abbildung 56: Tooltip für Logikfunktionen des Netzwerkelementes Schutzlogik/TACS

In Abbildung 542 ist zu erkennen, dass die Eingänge **Eing 1**, **Eing 2** und **Eing 3** den logischen Wert 1 besitzen und der Ausgang **Ausg** durch die ODER-Verknüpfung (**OR Logik**) den logischen Zustand 0 angenommen hat. Zusätzlich wird angezeigt, welche Bedeutung die Informationen der **Mess/Schutzgeräte** haben.

### 8.14.11 2- und 3-Wicklungstransformator XFormer

Abhängig von der Betriebsart als Transformator oder Längsregler werden unterschiedliche Tooltips angezeigt. Für den Betrieb als Transformator ist der Tooltip in Abbildung 57 dargestellt.

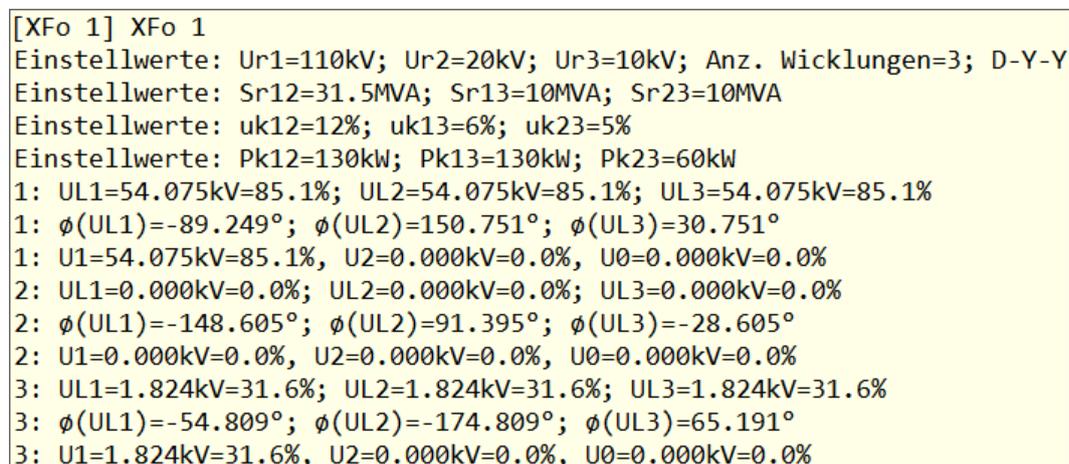


Abbildung 57: Tooltip für einen Transformator XFormer

Bezeichner	Bedeutung
<b>Einstellwerte</b>	Bemessungsspannungen $U_{rx}$ (mit $x$ = Nummer der Wicklung 1, 2, 3)
<b>Einstellwerte</b>	Bemessungsleistungen $S_{rxx}$
<b>Einstellwerte</b>	Kurzschlussspannung $U_{kxx}$
<b>Einstellwerte</b>	Kurzschlussverlustleistung $P_{kxx}$
<b>1: UL1, UL2, UL3</b>	Betrag der Leiter-Erd-Spannungen an Wicklung 1 in V und $\%U_n/\sqrt{3}$
<b>1: <math>\emptyset(UL1)</math>, <math>\emptyset(UL2)</math>, <math>\emptyset(UL3)</math></b>	Absoluter Phasenwinkel der Leiter-Erd-Spannung an Wicklung 1
<b>1: U1, U2, U0</b>	Betrag der Spannungen im Mitsystem $U_1$ , Gegensystem $U_2$ und Nullsystem $U_0$ an Wicklung 1 in V und $\%U_n/\sqrt{3}$

Die Ergebnisse der Lastflussberechnung werden für die Wicklungen 2 und 3 wiederholt. In der nachfolgenden Abbildung ist der Tooltip für den Betrieb als Längsregler dargestellt.

[XFo 1] Längsregler
Einstellwerte: $U_{reg}=0.4V=1p.u.$ ; $dU=6V$ ; Genauigkeit $dU=2.5\%$
Einstellwerte: $UL1=-24V$ ; $UL2=-24V$ ; $UL3=-24V$
Einstellwerte: $\emptyset(UL1)=124.138^\circ$ ; $\emptyset(UL2)=4.138^\circ$ ; $\emptyset(UL3)=-115.862^\circ$
1: $UL1=0.256kV=110.6\%$ ; $UL2=0.256kV=110.6\%$ ; $UL3=0.256kV=110.6\%$
1: $\emptyset(UL1)=123.838^\circ$ ; $\emptyset(UL2)=3.839^\circ$ ; $\emptyset(UL3)=-116.161^\circ$
1: $U1=0.256kV=110.6\%$ , $U2=0.000kV=0.0\%$ , $U0=0.000kV=0.0\%$
2: $UL1=0.232kV=100.7\%$ ; $UL2=0.232kV=100.7\%$ ; $UL3=0.232kV=100.7\%$
2: $\emptyset(UL1)=124.254^\circ$ ; $\emptyset(UL2)=4.254^\circ$ ; $\emptyset(UL3)=-115.746^\circ$
2: $U1=0.232kV=100.7\%$ , $U2=0.000kV=0.0\%$ , $U0=0.000kV=0.0\%$

Abbildung 58: Tooltip für einen Längsregler XFormer

Bezeichner	Bedeutung
<b><math>U_{reg}</math>, <math>dU</math>, Genauigkeit <math>dU</math></b>	Bezugsspannung des Spannungsreglers $U_{reg}$ , Betrag der Schrittweite der Längsspannung $dU$ , Toleranzband der Leiter-Erd-Spannung am Ausgang des Längsreglers $dU$
<b><math>UL1</math>, <math>UL2</math>, <math>UL3</math></b>	Längsspannungen je Leiter, die in der Sekundärwicklung eingepreßt werden
<b><math>\emptyset(UL1)</math>, <math>\emptyset(UL2)</math>, <math>\emptyset(UL3)</math></b>	Absoluter Phasenwinkel der Längsspannung, die in der Sekundärwicklung eingepreßt werden

Nachfolgend werden Messwerte für die **Wicklung 1** und **Wicklung 2** ausgegeben.

Bezeichner	Bedeutung
<b>1: <math>UL1</math>, <math>UL2</math>, <math>UL3</math></b>	Betrag der Leiter-Erd-Spannungen an Wicklung 1
<b>1: <math>\emptyset(UL1)</math>, <math>\emptyset(UL2)</math>, <math>\emptyset(UL3)</math></b>	Absoluter Phasenwinkel der Leiter-Erd-Spannung an Wicklung 1 in V und $\%U_n/\sqrt{3}$
<b>1: <math>U1</math>, <math>U2</math>, <math>U0</math></b>	Betrag der Spannungen im Mitsystem $U1$ , Gegensystem $U2$ und Nullsystem $U0$ an Wicklung 1 in V und $\%U_n/\sqrt{3}$

### 8.14.12 Synchrongenerator

Im Tooltip des Synchrongenerators werden Einstellwerte, davon abgeleitete Größen und die Ergebnisse der Lastflussberechnung angezeigt.

[Gen 1] Gen 1
Einstellwerte: UrG=21.000kV; fn=50.000Hz; SrG=400.000MVA; Phi=151.00°,
Einstellwerte: 2 Pole; 17022.000kg m <sup>2</sup> ; 1 Massen
Einstellwerte: ra=0.0020p.u.; xd=2.6478p.u.; xq=2.5156p.u.; x0=0.1500p.u.
Einstellwerte: IrG=10997.148A; ZrG=1.1030hm; Lastfluss/Kurzschluss: Z1 = Ra + j Xd
UL1=12.125kV, 60.36°, 100.01%; UL2=12.125kV, -59.64°, 100.01%; UL3=12.125kV, -179.64°, 100.01%
IL1=46.076A, 61.82°, 0.42%; IL2=46.076A, -58.18°, 0.42%; IL3=46.076A, -178.18°, 0.42%
S=1.676067MVA; P=1.675525MW; Q=-0.042611Mvar; 1.000
U1=12.125kV, 60.36°, 100.01%; U2=0.000kV, 74.12°, 0.00%; U0=0.000kV, 46.45°, 0.00%
I1=46.076A, 61.82°, 0.42%; I2=0.000A, 162.51°, 0.00%; I0=0.000A, -38.86°, 0.00%
R1k=0.0020hm; X1k=2.9190hm; R2k=0.0020hm; X2k=2.8460hm; R0k=0.0020hm; X0k=0.1650hm

Abbildung 59: Tooltip für den Synchrongenerator Generator

Bezeichner	Bedeutung
<b>UrG</b>	Bemessungsspannung
<b>fn</b>	Nennfrequenz
<b>SrG</b>	Bemessungs-Scheinleistung
<b>Phi</b>	Absolute Phasenlage
<b>Pole</b>	Anzahl Pole
	Massenträgheitsmoment in kg m <sup>2</sup>
<b>Massen</b>	Anzahl Massen des Generators, Turbinen, etc.
<b>ra</b>	Läuferresistanz
<b>xd</b>	Synchrone Reaktanz in der d-Achse
<b>xq</b>	Synchrone Reaktanz in der q-Achse
<b>x0</b>	Nullsystemreaktanz
<b>IrG</b>	Bemessungsstrom
<b>ZrG</b>	Bemessungsimpedanz
<b>UL1, UL2, UL3</b>	Leiter-Erd-Spannungen U <sub>L1</sub> , U <sub>L2</sub> , U <sub>L3</sub> absoluter Betrag, absoluter Phasenwinkel, Betrag in %U <sub>rG</sub> /√3
<b>IL1, IL2, IL3</b>	Leiterströme I <sub>L1</sub> , I <sub>L2</sub> , I <sub>L3</sub> absoluter Betrag, absoluter Phasenwinkel, Betrag in %I <sub>rG</sub>
<b>S, P, Q, cos φ</b>	Scheinleistung, Wirkleistung, Blindleistung, Verschiebungsfaktor
<b>U1, U2, U0</b>	Mitsystem-, Gegensystem- und Nullsystemspannung absoluter Betrag, absoluter Phasenwinkel, Betrag in %U <sub>rG</sub> /√3 $\underline{U}_1 = \frac{\underline{U}_{L1} + a \cdot \underline{U}_{L2} + a^2 \cdot \underline{U}_{L3}}{3}$ $\underline{U}_2 = \frac{\underline{U}_{L1} + a^2 \cdot \underline{U}_{L2} + a \cdot \underline{U}_{L3}}{3}$ $\underline{U}_0 = \frac{\underline{U}_{L1} + \underline{U}_{L2} + \underline{U}_{L3}}{3}$
<b>I1, I2, I0</b>	Mitsystem-, Gegensystem- und Nullsystemstrom absoluter Betrag, absoluter Phasenwinkel, Betrag in %I <sub>rG</sub>
<b>R1k, X1k</b>	Impedanz des Synchrongenerators im Mitsystem
<b>R2k, X2k</b>	Impedanz des Synchrongenerators im Gegensystem
<b>R1k, X1k</b>	Impedanz des Synchrongenerators im Nullsystem

<b>Lastfluss/Kurzschluss</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>\underline{Z}_1 = R_\alpha + j X_d</math> Verwendung der <b>synchronen Reaktanz <math>X_d</math></b> für die Definition der Mitimpedanz</li> <li>▪ <math>\underline{Z}_1 = R_\alpha + i X_d''</math> Verwendung der <b>subtransienten Reaktanz <math>X_d''</math></b> für die Definition der Mitimpedanz</li> </ul>
------------------------------	--

### 8.14.13 Längsimpedanz RLC Serienimpedanz

Im Tooltip der **RLC Serienimpedanz** werden Einstellwerte, davon abgeleitete Größen und die Ergebnisse der Lastflussberechnung angezeigt.

<pre>[Imp 1] Imp 1 Einstellwerte: Un=20000.000V; R=0.0010hm; X=0.0000hm; C=0.000uF IL1=28.701A; IL2=28.701A; IL3=28.701A L: U12=19884.646V, 99.42%; U23=19884.630V, 99.42%; U31=19884.670V, 99.42% R: U12=19884.596V, 99.42%; U23=19884.580V, 99.42%; U31=19884.621V, 99.42% L: UL1=11480.418V, 99.42%; UL2=11480.395V, 99.42%; UL3=11480.409V, 99.42% R: UL1=11480.390V, 99.42%; UL2=11480.366V, 99.42%; UL3=11480.380V, 99.42% Udiff: UL1=0.029V, 0.00%; UL2=0.029V, 0.00%; UL3=0.029V, 0.00% PVerl: Sv=2.471VA; Pv=2.471W; Qv=0.000var</pre>
---

Abbildung 60: Tooltip für die RLC Serienimpedanz

Bezeichner	Bedeutung
<b>Un</b>	Nennspannung
<b>R</b>	Resistanz je Leiter
<b>X</b>	Reaktanz je Leiter
<b>C</b>	Kapazität je Leiter
<b>U12, U23, U31</b>	Leiter-Leiter-Spannungen $U_{12}$ , $U_{23}$ , $U_{31}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ absoluter Betrag, Betrag in %Un</li> </ul>
<b>UL1, UL2, UL3</b>	Leiter-Erd-Spannungen $U_{L1}$ , $U_{L2}$ , $U_{L3}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ absoluter Betrag, Betrag in %Un/<math>\sqrt{3}</math></li> </ul>
<b>IL1, IL2, IL3</b>	Leiterströme $I_{L1}$ , $I_{L2}$ , $I_{L3}$
<b>Udiff</b>	Differenzspannung über der Serienimpedanz <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ absoluter Betrag, Betrag in %Un</li> </ul>
<b>PVerl</b>	Verlustleistung: Scheinleistung $S_v$ in kVA; Wirkverlustleistung $P_v$ in kW; Blindleistungsbedarf $Q_v$ in kvar

### 8.14.14 Schalter

Im Tooltip des Netzwerkelementes **Schalter** werden die Leiter-Erd-Spannungen  $U_{L123}$  an beiden Schalterpolen sowie die Leiterströme  $I_{L123}$  angezeigt. Der Schaltzustand des Schalters wird berücksichtigt. Die Nennspannung  $U_n$  sowie der Bemessungsstrom  $I_r$  können im Einstelldialog des Netzwerkelementes **Schalter** in der Registerkarte **Lastfluss, Kurzschluss** eingestellt werden.

```
[Sw1 1] Swt 1
1: UL1=63.497kV, -90.15°, 99.98%
1: UL2=63.497kV, 149.85°, 99.98%
1: UL3=63.497kV, 29.85°, 99.98%
2: UL1=63.497kV, -90.15°, 99.98%
2: UL2=63.497kV, 149.85°, 99.98%
2: UL3=63.497kV, 29.85°, 99.98%
IL1=10.5A, -90.15°, 1.67%
IL2=10.5A, 149.84°, 1.67%
IL3=10.5A, 29.86°, 1.67%
```

Abbildung 61: Tooltip für den Schalter

Bezeichner	Bedeutung
<b>1: UL1, UL2, UL3</b> <b>2: UL1, UL2, UL3</b>	Leiter-Erd-Spannungen $\underline{U}_{L1}$ , $\underline{U}_{L2}$ , $\underline{U}_{L3}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>absoluter Betrag, absoluter Phasenwinkel, Betrag in <math>\%U_n/\sqrt{3}</math></li> <li>Mit dem Präfix 1: oder 2: werden die beiden 3-phasigen Anschlussknoten des Schalters gekennzeichnet.</li> </ul>
<b>IL1, IL2, IL3</b>	Leiterströme $\underline{I}_{L1}$ , $\underline{I}_{L2}$ , $\underline{I}_{L3}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>absoluter Betrag, absoluter Phasenwinkel, Betrag in <math>\%I_n</math></li> </ul>

#### 8.14.15 Kurzschluss 1pE/2p/2pE/3p/3pE

Wird die [Berechnung eines stationären Netzzustandes](#) mit [Kurzschluss \(roter Blitz\)](#) durchgeführt, so werden ausgewählte Ergebnisse und Einstellwerte in einem Tooltip am Kurzschlussort angezeigt.

```
Kurzschluss
L123; Rf=10hm; Sk
9.566kA;9.566kA;9.566kA
```

Abbildung 62: Tooltip für den Kurzschluss

Bezeichner	Bedeutung
<b>Kurzschluss</b>	Kurzschlussart L123, L12, etc.
<b>Rf</b>	Fehlerresistenz am Kurzschlussort
<b>Sk oder Sk max oder Sk min</b>	Kurzschlussleistung aller <b>Netzeinspeisungen</b>  Der Einstellwert <b>Sk</b> , <b>Skmin</b> , <b>Sk max</b> , ... wird im Einstelldialog Einstellungen <b>Netzschutz und Kurzschluss</b> , Registerkarte <b>Netzschutz Analyse</b> eingestellt.
<b>120°</b>	Leitertemperatur aller <b>Leitungen</b>  Der Einstellwert <b>Te</b> wird im Einstelldialog Einstellungen <b>Netzschutz und Kurzschluss</b> , Registerkarte <b>Netzschutz Analyse</b> eingestellt.
<b>9.566kA; ...</b>	Kurzschlussstrom Leiter-Erde oder Leiter-Leiter abhängig von der Fehlerart

### 8.14.16 Anzeige der Berechnungsergebnisse in der Netzgrafik

Wie in der nachfolgenden Abbildung dargestellt werden ausgewählte Ergebnisse der Netzberechnung direkt in der Netzgrafik angezeigt. Es muss beachtet werden, dass die in der Netzgrafik angezeigte Leistung oder der angezeigte Leiterstrom bei Netzwerkelenten wie z.B. der Erzeugungsanlage (DEA) durch Teillastfaktoren wie z.B. von Zonen, Bereiche oder spezifische Teillastfaktoren zu Null berechnet werden kann.

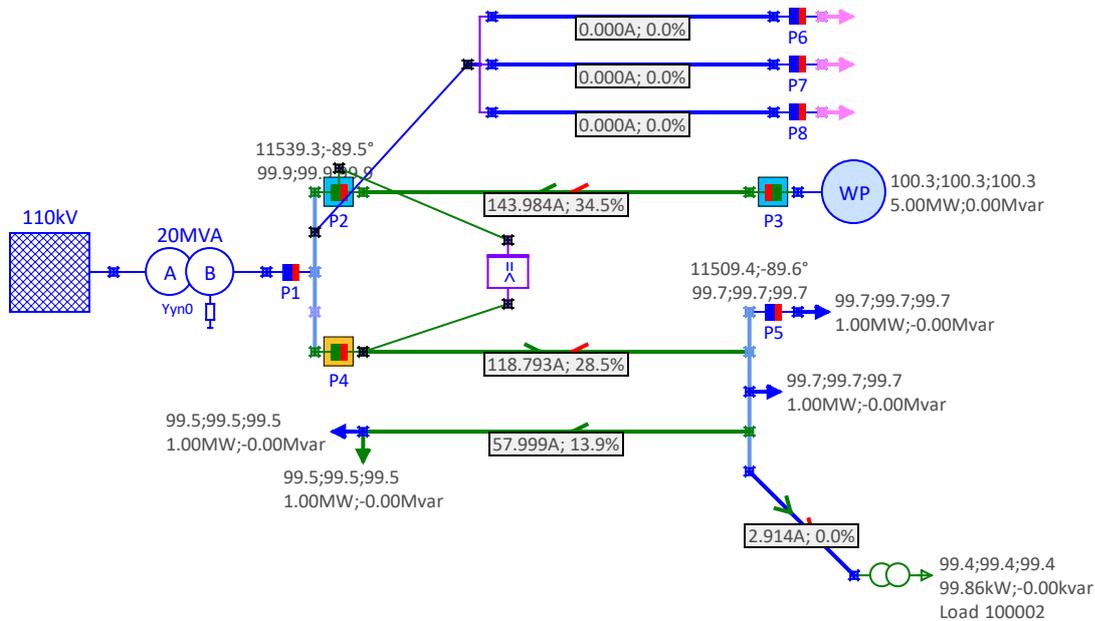


Abbildung 63: Anzeige der Ergebnisse einer Lastflussberechnung in der Netzgrafik

Die Anzeige kann im Einstelldialog **Einstellungen Elektrisches Netz** in der Registerkarte **Netzwerk** mit dem Einstellwert **Anzeigen** in der Gruppe **Schriftarten** ein- und ausgeschaltet werden. Der Einstelldialog kann mit dem Toolbar-Button  oder mit dem Menüpunkt **Netzkonfiguration** im Hauptmenü **Netzwerk** oder in den Registerkarten der **Projektinformationen** mit dem Eintrag **Konfiguration** geöffnet werden. In der gleichen Gruppe kann die Schriftart und Schriftfarbe der in der Netzgrafik angezeigten Textelemente mit einem **Left Mouse Button Click** auf den Button **Messwerte** eingestellt werden.

In den nachfolgenden Kapiteln werden die angezeigten Ergebnisse der Netzberechnung erläutert.

### 8.14.16.1 Leitung

Leitung	Bedeutung
<b>Leiterstrom</b>	Maximaler Leiterstrom in A und in % des zulässigen Dauerlaststromes unter Berücksichtigung z.B. des Reduktionsfaktors <b>Red.</b>

Verbraucherlast	Bedeutung
<b>Spannungen</b>	Betrag der Leiter-Erd-Spannungen $\underline{U}_{L1}$ , $\underline{U}_{L2}$ und $\underline{U}_{L3}$ in % bezogen auf $U_n / \sqrt{3}$
<b>Leistungen</b>	3-phasige Wirkleistung und 3-phasige Blindleistung

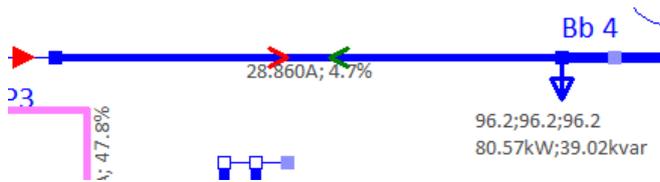


Abbildung 64: Ergebnisse der Netzberechnung – Leitung

### 8.14.16.2 Verbraucherlast

Verbraucherlast	Bedeutung
<b>Spannungen</b>	Betrag der Leiter-Erd-Spannungen $\underline{U}_{L1}$ , $\underline{U}_{L2}$ und $\underline{U}_{L3}$ in % bezogen auf $U_n / \sqrt{3}$
<b>Leistungen</b>	3-phasige Wirkleistung und 3-phasige Blindleistung

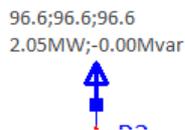


Abbildung 65: Ergebnisse der Netzberechnung – Verbraucherlast

⇒ Es muss beachtet werden, dass durch Teillastfaktoren wie z.B. in Zonen die eingestellte Leistung in der Lastflussberechnung verändert werden kann, im Grenzfall gleich Null sein kann.

### 8.14.16.3 Erzeugungsanlage (DEA)

Verbraucherlast	Bedeutung
<b>Spannungen</b>	Betrag der Leiter-Erd-Spannungen $\underline{U}_{L1}$ , $\underline{U}_{L2}$ und $\underline{U}_{L3}$ in % bezogen auf $U_n / \sqrt{3}$
<b>Leistungen</b>	3-phasige Wirkleistung und 3-phasige Blindleistung

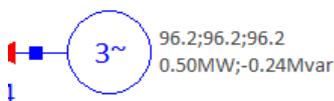


Abbildung 66: Ergebnisse der Netzberechnung – Erzeugungsanlage (DEA)

- ⇒ Es muss beachtet werden, dass durch Teillastfaktoren wie z.B. in Zonen die eingestellte Leistung in der Lastflussberechnung verändert werden kann, im Grenzfall gleich Null sein kann.

#### 8.14.16.4 Sammelschiene

Sammelschiene	Bedeutung
<b>Spannungen</b>	Betrag der Leiter-Erd-Spannungen $\underline{U}_{L1}$ , $\underline{U}_{L2}$ und $\underline{U}_{L3}$ in % bezogen auf $U_n / \sqrt{3}$

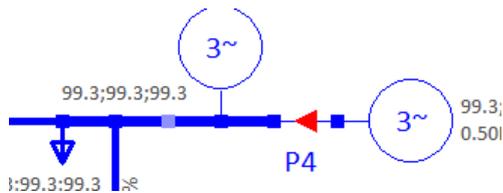


Abbildung 67: Ergebnisse der Netzberechnung – Sammelschiene

### 8.15 Überwachung der Netzspannung

ATPDesigner überwacht die Spannung an ausgewählten Netzknoten ausgewählter Betriebsmittel wie z.B. den **Sammelschienen** und **Erzeugungsanlagen (DEA)**. Dabei werden die Leiter-Leiter-Spannungen und die Leiter-Erd-Spannungen mit Grenzwerten, die im Einstelldialog **ATP Einstellwerte**, Registerkarte **Lastfluss: Lasten** in der Gruppe **U>, U< - Überwachung** eingestellt werden, verglichen. Das Ergebnis wird u.a. im **Meldungsfenster** ausgegeben. Die als Vergleich verwendeten Nennspannungen sind in den Einstelldialogen der Betriebsmittel definiert.

Wie in den nachfolgenden Abbildungen gezeigt werden am Anfang jeder Zeile nach dem Referenznamen des Betriebsmittels die Leiter-Leiter- und Leiter-Erd-Spannungen in % $U_n$  bzw. % $U_n / \sqrt{3}$  am Netzanschlusspunkt des Betriebsmittels angezeigt.

Danach wird optional angegeben, ob eine unzulässige Überspannung **U>=...** oder Unterspannung **U<=...** erkannt wurde. Zusätzlich wird der Einstellwert U> und U< angezeigt. Den Abschluss der Zeile bildet der anwenderspezifische Name des Betriebsmittels.

Die Anzeige der Ergebnisse der Spannungsüberwachung werden nicht im **Meldungsfenster** angezeigt, wenn eine [Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102](#) durchgeführt wird.

```

> Spannungsüberwachung: Sammelschiene
>> [Bb 1] U12=101.598%; U23=101.598%; U31=101.598% :
>> [Bb 1] UL1=101.598%; UL2=101.598%; UL3=101.599% :
>> [Bb 1] ULE,ULL min=101.598%; ULE,ULL max=101.599%
>> [Bb 2] U12=101.403%; U23=101.403%; U31=101.403% :
>> [Bb 2] UL1=101.402%; UL2=101.402%; UL3=101.404% :
>> [Bb 2] ULE,ULL min=101.402%; ULE,ULL max=101.404%
>> [Bb 3] U12=101.248%; U23=101.248%; U31=101.248% :
>> [Bb 3] UL1=101.247%; UL2=101.248%; UL3=101.249% :
>> [Bb 3] ULE,ULL min=101.247%; ULE,ULL max=101.249%
>> [Bb 4] U12= 99.564%; U23= 99.564%; U31= 99.564% :
>> [Bb 4] UL1= 99.563%; UL2= 99.563%; UL3= 99.565% :
>> [Bb 4] ULE,ULL min= 99.563%; ULE,ULL max= 99.565%
>> [Bb 5] U12=101.130%; U23=101.130%; U31=101.130% :
>> [Bb 5] UL1=101.130%; UL2=101.130%; UL3=101.131% :
>> [Bb 5] ULE,ULL min=101.130%; ULE,ULL max=101.131%
>> [Bb 6] U12=100.584%; U23=100.584%; U31=100.584% :
>> [Bb 6] UL1=100.583%; UL2=100.584%; UL3=100.585% :
>> [Bb 6] ULE,ULL min=100.583%; ULE,ULL max=100.585%
>> [Bb 7] U12=100.400%; U23=100.400%; U31=100.400% :
>> [Bb 7] UL1=100.400%; UL2=100.400%; UL3=100.401% :

```

Abbildung 68: Sammelschiene - Überwachung der Spannungen

```

> Spannungsüberwachung: Erzeugungsanlage (DEA)
>> [3Ph 5] U12=101.598%; U23=101.598%; U31=101.598% :
>> [3Ph 5] UL1=101.598%; UL2=101.598%; UL3=101.599%
>> [3Ph 16] U12=102.715%; U23=102.715%; U31=102.715% :
>> [3Ph 16] UL1=102.714%; UL2=102.715%; UL3=102.716%
>> [3Ph 34] U12=101.325%; U23=101.325%; U31=101.325% :
>> [3Ph 34] UL1=101.324%; UL2=101.325%; UL3=101.326%
>> [3Ph 36] U12=102.242%; U23=102.242%; U31=102.242% :
>> [3Ph 36] UL1=102.242%; UL2=102.242%; UL3=102.242%
>> [3Ph 38] U12=100.091%; U23=100.091%; U31=100.091% :
>> [3Ph 38] UL1=100.091%; UL2=100.091%; UL3=100.091%
>> [3Ph 1] U12=102.546%; U23=102.546%; U31=102.546% :
>> [3Ph 1] UL1=102.546%; UL2=102.546%; UL3=102.546%
>> [3Ph 2] U12=101.598%; U23=101.598%; U31=101.598% :
>> [3Ph 2] UL1=101.598%; UL2=101.598%; UL3=101.599%
>> [3Ph 3] U12=101.747%; U23=101.747%; U31=101.747% :
>> [3Ph 3] UL1=101.747%; UL2=101.747%; UL3=101.747%
>> [3Ph 4] U12=101.403%; U23=101.403%; U31=101.403% :
>> [3Ph 4] UL1=101.402%; UL2=101.402%; UL3=101.404%
>> [3Ph 6] U12=101.248%; U23=101.248%; U31=101.248% :
>> [3Ph 6] UL1=101.247%; UL2=101.248%; UL3=101.249%

```

Abbildung 69: Erzeugungsanlage (DEA) - Überwachung der Spannung

Wie in obiger Abbildung dargestellt wird für das Betriebsmittel **Erzeugungsanlagen (DEA)** zusätzlich angezeigt, ob der **Q/P-Arbeitspunkt am Netzanschlusspunkt**, der nach Ende des Iterationsverfahrens (d.h. sowohl im Falle der Konvergenz als auch im Falle der Divergenz) ermittelt wurde, innerhalb der Q/P-Fläche liegt, die im Einstelldialog definiert ist. Die Einstellung der Q/P-Fläche ist in Kapitel 6.7.7 erläutert.

Für **Erzeugungsanlagen (DEA)** ist die als Vergleich dienende Nennspannung in der Registerkarte **Allgemeine Daten** unter  $U_{n\text{init}}$  definiert.

## 8.16 Identifikation überlasteter Betriebsmittel mit einer Lastflussberechnung

Als Ergebnis einer [stationären Netzberechnung](#) wird die Auslastung wichtiger Betriebsmittel in einer Tabelle ausgegeben. Eine Grenzwertverletzung wird in der Spalte **Res.** farblich markiert. Es werden Betriebsmittel bzgl. ihrer Strombelastung als auch Spannungsbelastung überwacht.

### 8.16.1 EIN- und AUS-Schalten von Betriebsmitteln

Die Tabelle kann auch dazu verwendet werden, Betriebsmittel ein- und auszuschalten bzw. zu **aktivieren** oder **deaktivieren**. Dazu kann der Wert **On** bzw. **Off** in der Tabellenzeile des Betriebsmittels in der Spalte **Aktiv** durch einen **Left Mouse Button Click** in den Wert **EIN** bzw. **AUS** geändert werden. Deaktivierte Betriebsmittel werden in der Netzgrafik **magenta** gezeichnet.

Einstellwert	Bedeutung
<b>EIN</b>	Betriebsmittel ist <b>aktiviert</b> (grafisch sichtbar, elektrisch aktiv)
<b>AUS</b>	Betriebsmittel ist <b>deaktiviert</b> (grafisch sichtbar, elektrisch inaktiv)

### 8.16.2 Überwachung der Stromauslastung

Die Auswahl der Farben erfolgt im Einstelldialog **Farben**. Es sind die Auslastungsstufen >100% (**Überlast > 100%**) und >120% (**Überlast > 120%**) verfügbar. Deren Überlastschwelle können nicht verändert werden. darüber hinaus sind weitere Auslastungsstufen einstellbar, deren Überlastschwelle und Farbe frei wählbar sind.

#### ▪ Leitung

Es wird der betragsmäßig größte Leiterstrom ermittelt. Der maximal zulässige Leiterstrom wird mit dem Einstellwert  $I_{\max}$  im Einstelldialog der Leitung festgelegt. Es muss der Reduktionsfaktor **Red.** Und die Anzahl parallel geschalteter Leitungen **Par.** beachtet werden.



$I_{\max}$  =  A    Red. =    
 $U_n$  =  ... kV    Par. =

#### ▪ Transformator

Es wird für die Wicklungen A und B jeweils die betragsmäßig größten Leiterströme ermittelt und mit den zugehörigen Bemessungsströmen verglichen.

### 8.16.3 Überwachung der Netzspannung

Die Netzspannung wird auf unzulässig große und kleine Werte überwacht.

- **Sammelschiene**

Die Netzspannung wird auf einen unzulässig hohen oder niedrigen Betrag überwacht. Die Einstellwerte sind im Einstelldialog **ATP Einstellwerte**, Registerkarte **Lastfluss: Lasten** enthalten.

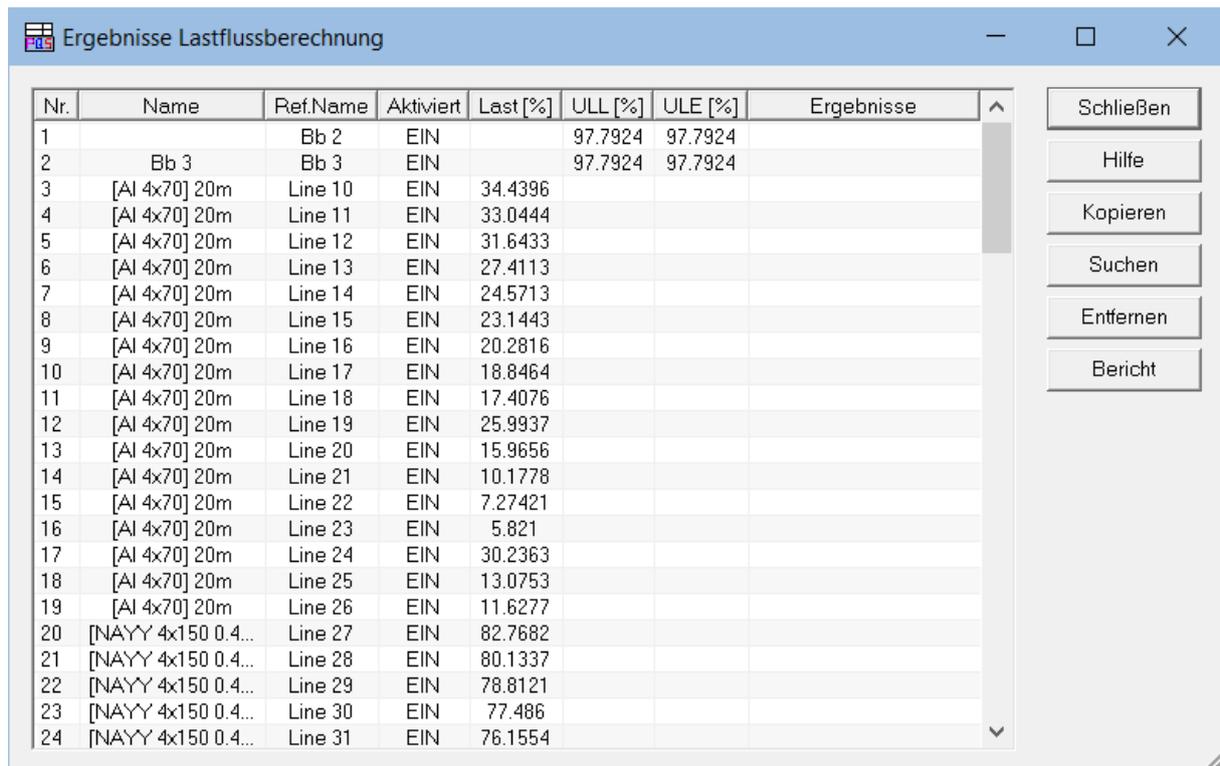
- **Mess/Schutzgerät**

Die Netzspannung wird auf einen unzulässig hohen oder niedrigen Betrag überwacht. Die Einstellwerte sind im Einstelldialog **ATP Einstellwerte**, Registerkarte **Lastfluss: Lasten** enthalten.

### 8.16.4 Ergebnisse der Lastflussberechnung in einer Tabelle

Die Ergebnisse der Berechnung des stationären Netzzustandes können auch in einer Tabelle angezeigt werden. Der Dialog kann wie folgt geöffnet werden:

- Toolbar-Button 
- Hauptmenü **ATP**, Menüpunkt **Lastflussberechnung**



Nr.	Name	Ref.Name	Aktiviert	Last [%]	ULL [%]	ULE [%]	Ergebnisse
1		Bb 2	EIN		97.7924	97.7924	
2	Bb 3	Bb 3	EIN		97.7924	97.7924	
3	[Al 4x70] 20m	Line 10	EIN	34.4396			
4	[Al 4x70] 20m	Line 11	EIN	33.0444			
5	[Al 4x70] 20m	Line 12	EIN	31.6433			
6	[Al 4x70] 20m	Line 13	EIN	27.4113			
7	[Al 4x70] 20m	Line 14	EIN	24.5713			
8	[Al 4x70] 20m	Line 15	EIN	23.1443			
9	[Al 4x70] 20m	Line 16	EIN	20.2816			
10	[Al 4x70] 20m	Line 17	EIN	18.8464			
11	[Al 4x70] 20m	Line 18	EIN	17.4076			
12	[Al 4x70] 20m	Line 19	EIN	25.9937			
13	[Al 4x70] 20m	Line 20	EIN	15.9656			
14	[Al 4x70] 20m	Line 21	EIN	10.1778			
15	[Al 4x70] 20m	Line 22	EIN	7.27421			
16	[Al 4x70] 20m	Line 23	EIN	5.821			
17	[Al 4x70] 20m	Line 24	EIN	30.2363			
18	[Al 4x70] 20m	Line 25	EIN	13.0753			
19	[Al 4x70] 20m	Line 26	EIN	11.6277			
20	[NAYY 4x150 0.4...	Line 27	EIN	82.7682			
21	[NAYY 4x150 0.4...	Line 28	EIN	80.1337			
22	[NAYY 4x150 0.4...	Line 29	EIN	78.8121			
23	[NAYY 4x150 0.4...	Line 30	EIN	77.486			
24	[NAYY 4x150 0.4...	Line 31	EIN	76.1554			

Abbildung 70: Ergebnisse der Lastflussberechnung

Bedeutung	
<b>Ref.</b>	Referenzname des Netzwerkelementes
<b>Name</b>	Anwenderspezifischer Name
<b>Öffnen des Einstelldialogs des Betriebsmittels</b>	

	Durch einen <b>Left Mouse Button Double Click</b> auf die Tabellenzelle mit dem Namen des Betriebsmittels kann der zugehörige Einstelldialog des Betriebsmittels geöffnet werden.
<b>Aktiv</b>	<b>EIN</b> = aktiviert, <b>AUS</b> = deaktiviert Mit einem Doppelklick kann das Netzwerkelement aktiviert oder deaktiviert werden. Ist das Netzwerkelement deaktiviert, so wird die Zelle der im Einstelldialog <b>Farben</b> entsprechend gewählte Farbe eingefärbt. In der Grundeinstellung wird die Farbe <b>magenta</b> verwendet.
<b>Last [%]</b>	Auslastung des Betriebsmittels in %. Die Auslastung werden entsprechend den im Einstelldialog <b>Farben</b> eingestellten Farben für Werte >100% eingefärbt. In der Grundeinstellung werden folgende Farben verwendet: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Auslastung 100 ...120% : <b>Orange</b> in der Spalte <b>Ergebnisse</b></li> <li>▪ Auslastung &gt; 120% : <b>Rot</b> in der Spalte <b>Ergebnisse</b></li> </ul>
<b>ULL&lt;&gt; [%]</b> <b>ULE&lt;&gt; [%]</b>	Netzspannung Leiter-Leiter U <sub>LL</sub> und Leiter-Erde U <sub>LE</sub> in %. Die Netzspannung wird durch die im Einstelldialog <b>ATP Einstellwerte</b> , Registerkarte <b>Lastfluss: Lasten</b> enthaltenen Grenzwerte überwacht und bei einer Grenzwertverletzung in der Spalte <b>Res. rot</b> markiert.
<b>Suchen</b>	Wenn ein Netzwerkelement mit einem <b>Left Mouse Button Click</b> in einer Zeile der Tabelle markiert wurde, kann das Netzwerkelement in der Netzgrafik gesucht und mit einer <b>roten Markierungsfläche</b> markiert werden.
<b>Entfernen</b>	Ggfs. vorhandene Markierungen werden gelöscht.
<b>Kopieren</b>	Inhalt der Tabelle in die Zwischenablage kopieren
<b>Bericht</b>	Ausgabe des Tabelleninhaltes in eine XML-Datei, die direkt in Word eingelesen und weiterverarbeitet werden kann.

#### 8.16.4.1 Kopieren des Tabelleninhaltes in die Zwischenablage

Der Inhalt der Tabelle kann als .CSV-Format in die Zwischenablage kopiert werden.

```
Nr;Name;User Name;Aktiv;Last [%];ULL [%];ULE [%];Ergebnisse
1;Bb 1;;On;;95,2183%;119,112%;X
2;Bb 2;;On;;96,3938%;123,982%;X
3;Bb 3;;On;;93,8458%;115,845%;X
4;Bb 4;;On;;95,1419%;118,916%;X
5;Bb 5;;On;;97,0889%;133,623%;X
6;Line 1;8km;On;377,147%;;;X
7;Line 10;5km;On;336,982%;;;X
8;Line 11;2km;On;8,1642%;;;
9;Line 12;3km;On;337,17%;;;X
10;Line 4;2km;On;7,91493%;;;
11;Line 7;2km;On;139,776%;;;X
12;Line 8;2km;Off;57,7143%;;;
13;Line 9;2km;On;140,032%;;;X
14;Prb 1;I>;On;;95,2183%;119,112%;X
15;Prb 10;P10;On;;93,8458%;115,845%;X
16;Prb 11;Z< P11;On;;96,3938%;123,982%;X
17;Prb 12;Z< P12;On;;98,9053%;130,329%;X
18;Prb 16;Z<;On;;95,2183%;119,112%;X
19;Prb 17;Fu;On;;95,1419%;118,916%;X
20;Prb 2;Z< P2;On;;95,2183%;119,112%;X
```

21;Prb 3;Z< P3;On;;96,3938%;123,982%;X  
 22;Prb 4;I->;On;;95,2183%;119,112%;X  
 23;Prb 5;I->;On;;95,2183%;119,112%;X  
 24;Prb 6;I>;On;;93,8458%;115,845%;X  
 25;Prb 7;P7;On;;93,8458%;115,845%;X  
 26;Prb 8;Z< P8;On;;97,0889%;133,623%;X

#### 8.16.4.2 Markieren eines Betriebsmittels in der Tabelle mit der Maus

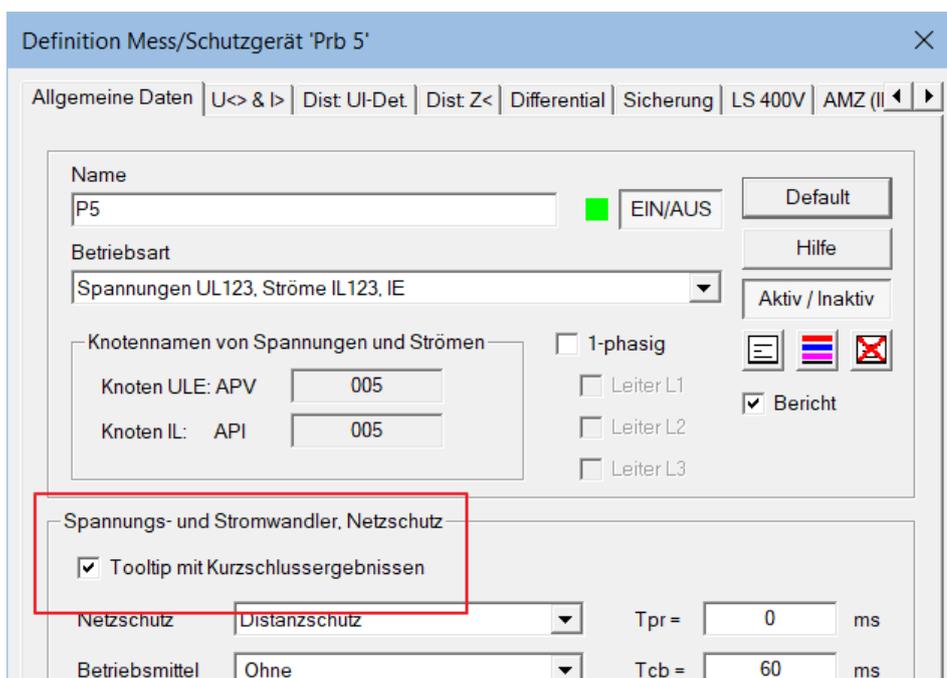
Ist der **Netzwerk Design Mode** z.B. mit dem Toolbar-Button  deaktiviert, so wird ein Betriebsmittel das „unter“ dem Mauszeiger erkannt wird, automatisch markiert. Ist das Betriebsmittel in der Tabelle enthalten, so wird der Referenzname des Betriebsmittels in der Spalte **Ref.** farblich (**hellblau**) hinterlegt.

Ist der **Netzwerk Design Mode** aktiv so wird die Tabellenzelle des Referenznamens dann farblich hinterlegt, wenn das Netzwerkelement mit einem **Left Mouse Button Click** markiert wurde.

#### 8.17 Funktionstasten F9, Alt + F7, F8, F9 - Anzeige von Impedanzen

Impedanzen können für **Mess/Schutzgeräte** zusätzlich zu den **Tooltips** direkt in der Netzgrafik in Textelementen angezeigt werden. Diese Anzeige wird mit einer der Funktionstasten **Fx**, ein- und ausgeschaltet und ist alternativ zu der **Anzeige der Messwerte in Tooltips** verfügbar. Zur Anzeige der Messwerte muss keine Schutzfunktion für die **Mess/Schutzgeräte** eingestellt sein.

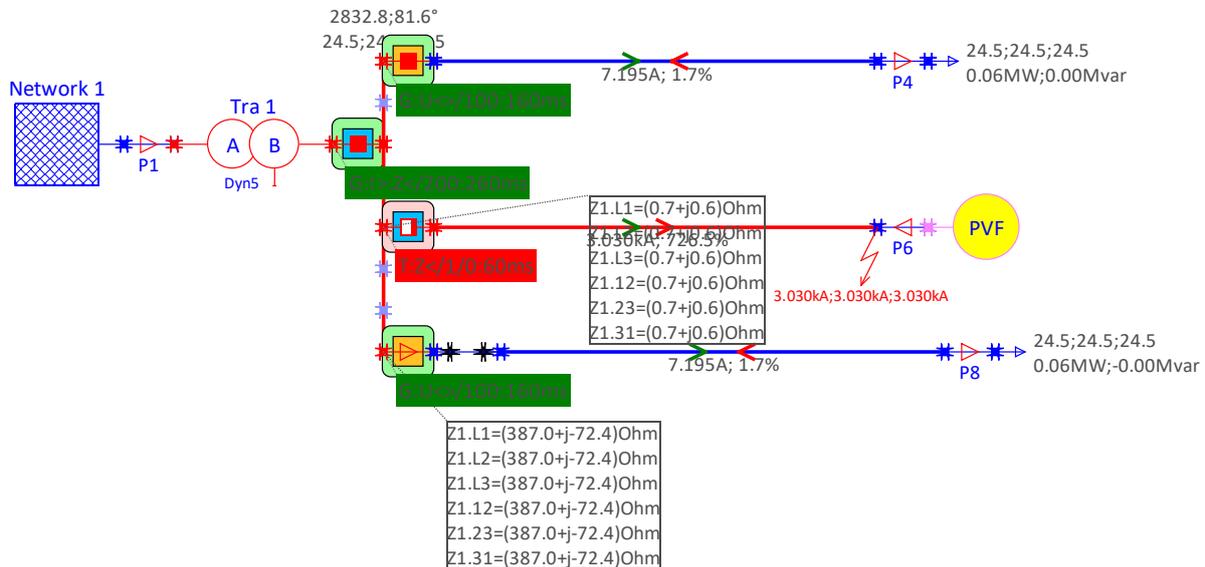
1. Einschalten der Option **Tooltip mit Kurzschlussresultaten** im Einstelldialog der jeweiligen **Mess/Schutzgeräte**, für die Messwerte angezeigt werden sollen.



2. Berechnung des stationären Netzzustandes mit **Strg + E** oder 

### 3. Einschalten der Messwerte mit **F9**, **Alt + F7**, **Alt+F8**, **Alt+F9**

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Ausgabe der berechneten Impedanzen in der Netzgrafik.



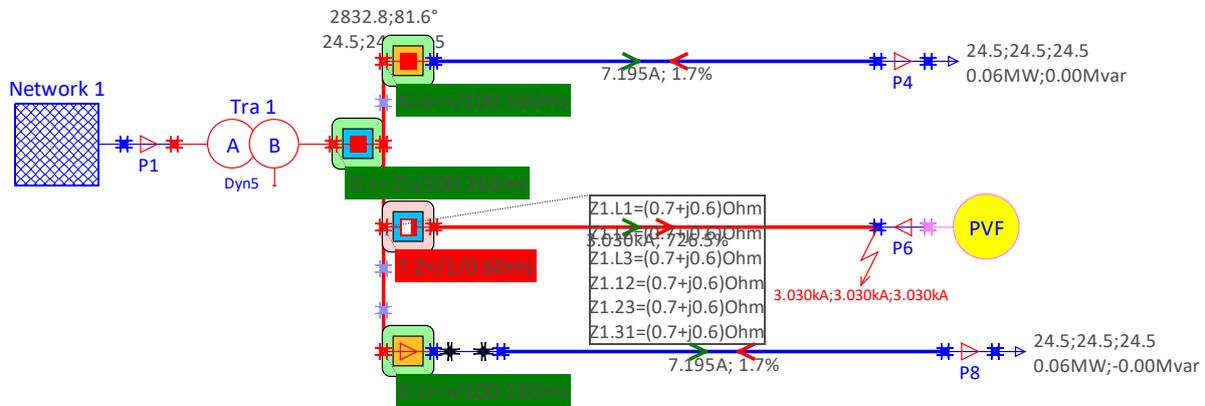
**Abbildung 71: Anzeige der Impedanzen eines Mess/Schutzgerätes (F9)**

Die Messwerte können im Zeichenbereich verschoben werden. Dazu wird ein Rahmen mit einem **Left Mouse Button Click** angewählt. Der Frame kann bei **gedrückter Taste** verschoben werden. Ein Rahmen wird während des Verschiebens angezeigt. Beim Loslassen der Taste wird der Rahmen zu der neuen Position im Zeichenbereich verschoben. Die Messwerte werden nicht in der .NET-Datei gespeichert. Die Messwerte können mit dem Toolbar-Button  aus der Netzgrafik entfernt werden.

- ⇒ Wird nach der Anzeige der Impedanzen in der Netzgrafik einer F-Tasten Kombination gedrückt, werden beim ersten Drücken der F-Taste zunächst die angezeigten Messwerte aus der Netzgrafik entfernt. Beim zweiten Drücken der F-Taste wird die Berechnung des stationären Netzzustandes gestartet und die Berechnungsergebnisse mit den Impedanzen in der Netzgrafik angezeigt.

### 8.17.1 F9: $\underline{Z}_{1.L1}$ , $\underline{Z}_{1.L2}$ , $\underline{Z}_{1.L3}$ , $\underline{Z}_{1.12}$ , $\underline{Z}_{1.23}$ , $\underline{Z}_{1.32}$ (primäre Impedanzen, $\underline{Z}_1 = R_1 + jX_1$ )

Die Berechnung der Impedanzen erfolgt unter Annahme des **Verbraucherzählpeilsystems (VZS)**.



1. Mitimpedanz der Leiter-Erd-Messschleife  $\underline{Z}_{1.L1}$
2. Mitimpedanz der Leiter-Erd-Messschleife  $\underline{Z}_{1.L2}$
3. Mitimpedanz der Leiter-Erd-Messschleife  $\underline{Z}_{1.L3}$

Die Mitimpedanz  $\underline{Z}_1$  der Leiter-Erd-Messschleife am Messort der **Mess/Schutzgeräte** wird wie folgt berechnet.

$$\underline{Z}_1 = R_1 + jX_1 = \frac{\underline{U}_{LE}}{\underline{I}_L + \underline{k}_E \cdot \underline{I}_E}$$

$$\underline{k}_E = \frac{\underline{Z}_0 - \underline{Z}_1}{3 \cdot \underline{Z}_1}$$

$$\underline{I}_E = \underline{I}_{L1} + \underline{I}_{L2} + \underline{I}_{L3}$$

Der Erdstromkompensationsfaktor  $\underline{k}_E$  kann für jedes **Mess/Schutzgerät** einzeln in der Registerkarte **Distanzschutz** des Einstelldialogs definiert werden.

4. Mitimpedanz der Leiter-Leiter-Messschleife  $\underline{Z}_{1.12}$
5. Mitimpedanz der Leiter-Leiter-Messschleife  $\underline{Z}_{1.23}$
6. Mitimpedanz der Leiter-Leiter-Messschleife  $\underline{Z}_{1.31}$

Die Mitimpedanz der Leiter-Leiter-Messschleife am Messort der **Mess/Schutzgeräte** wird wie folgt berechnet.

$$\underline{Z}_1 = R_1 + jX_1 = \frac{\underline{U}_{LL}}{\underline{I}_{LL}}$$

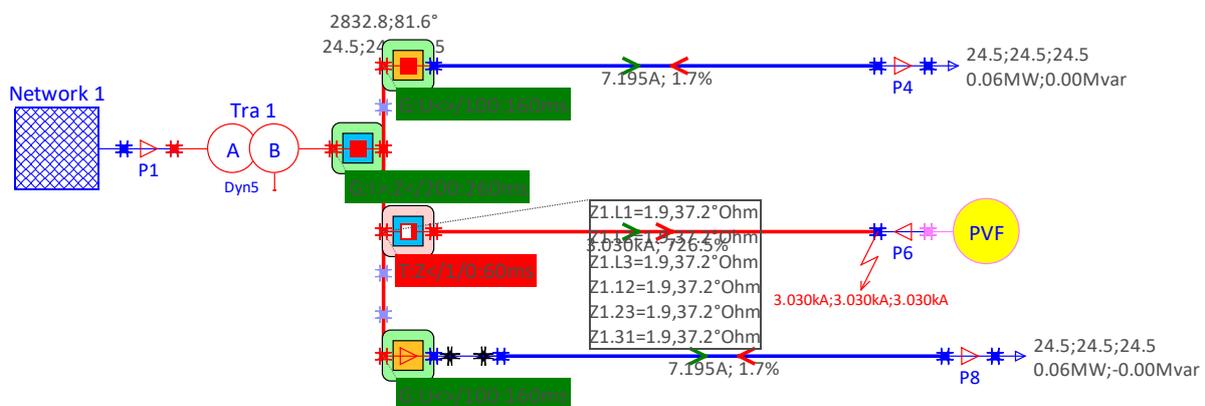
Beispielhaft ist in Gleichung die Berechnung des verketteten Stromes  $I_{12}$  aus den komplexen Zeigern der Leiterströme  $I_{L1}$  und  $I_{L2}$  angegeben.

$$\underline{I}_{12} = \underline{I}_{L1} - \underline{I}_{L2}$$

Die berechneten Impedanzen sind **primäre Impedanzen**, die auf den Messort der zugehörigen **Mess/Schutzgeräte** bezogen sind. Strom- und Spannungswandler werden nicht berücksichtigt. Bei der Berechnung der Impedanzen der Leiter-Erd-Messschleifen wird der **Erdstromkompensationsfaktor**  $k_E$  der **Mess/Schutzgeräte** wie z.B. für einen Distanzschutz üblich berücksichtigt.

### 8.17.2 Alt + F7: $\underline{Z}_{1.L1}$ , $\underline{Z}_{1.L2}$ , $\underline{Z}_{1.L3}$ , $\underline{Z}_{1.L2}$ , $\underline{Z}_{1.L3}$ , $\underline{Z}_{1.L3}$ (sekundäre Impedanzen, $|\underline{Z}_1|$ , $\varphi_{Z1}$ )

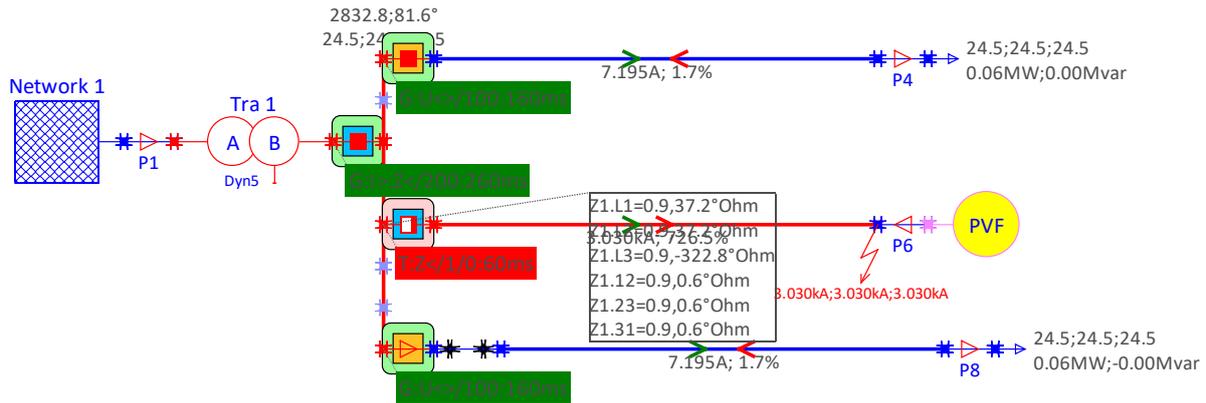
Die Berechnung der Leistungen erfolgt unter Annahme des **Verbraucherzählpeilsystems (VZS)**. Sonst gelten die Randbedingungen nach Kapitel 7.13.5.



1. Mitimpedanz der Leiter-Erd-Messschleife  $\underline{Z}_{1.L1}$
2. Mitimpedanz der Leiter-Erd-Messschleife  $\underline{Z}_{1.L2}$
3. Mitimpedanz der Leiter-Erd-Messschleife  $\underline{Z}_{1.L3}$
4. Mitimpedanz der Leiter-Leiter-Messschleife  $\underline{Z}_{1.L2}$
5. Mitimpedanz der Leiter-Leiter-Messschleife  $\underline{Z}_{1.L3}$
6. Mitimpedanz der Leiter-Leiter-Messschleife  $\underline{Z}_{1.L3}$

### 8.17.3 Alt + F8: $\underline{Z}_{1.L1}$ , $\underline{Z}_{1.L2}$ , $\underline{Z}_{1.L3}$ , $\underline{Z}_{1.L2}$ , $\underline{Z}_{1.L3}$ , $\underline{Z}_{1.L3}$ (primäre Impedanzen, $|\underline{Z}_1|$ , $\varphi_{Z1}$ )

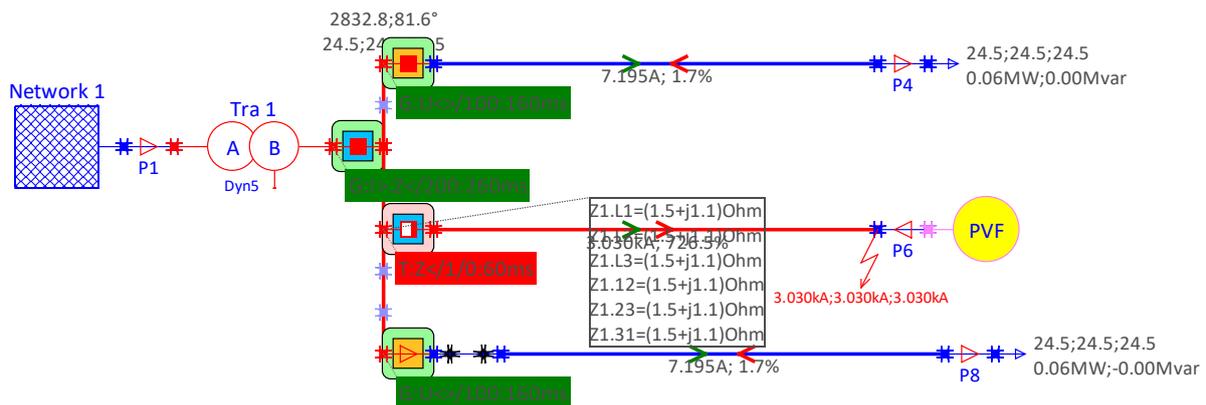
Die Berechnung der Leistungen erfolgt unter Annahme des **Verbraucherzählpeilsystems (VZS)**.



1. Mitimpedanz der Leiter-Erd-Messschleife  $\underline{Z}_{1.L1}$
2. Mitimpedanz der Leiter-Erd-Messschleife  $\underline{Z}_{1.L2}$
3. Mitimpedanz der Leiter-Erd-Messschleife  $\underline{Z}_{1.L3}$
4. Mitimpedanz der Leiter-Leiter-Messschleife  $\underline{Z}_{1.L12}$
5. Mitimpedanz der Leiter-Leiter-Messschleife  $\underline{Z}_{1.L23}$
6. Mitimpedanz der Leiter-Leiter-Messschleife  $\underline{Z}_{1.L31}$

**8.17.4 Alt + F9:  $\underline{Z}_{1.L1}$ ,  $\underline{Z}_{1.L2}$ ,  $\underline{Z}_{1.L3}$ ,  $\underline{Z}_{1.L12}$ ,  $\underline{Z}_{1.L23}$ ,  $\underline{Z}_{1.L31}$  (sekundäre Impedanzen,  $\underline{Z}_1 = R_1 + jX_1$ )**

Die Berechnung der Leistungen erfolgt unter Annahme des **Verbraucherzählpeilsystems (VZS)**.



1. Mitimpedanz der Leiter-Erd-Messschleife  $\underline{Z}_{1.L1}$
2. Mitimpedanz der Leiter-Erd-Messschleife  $\underline{Z}_{1.L2}$
3. Mitimpedanz der Leiter-Erd-Messschleife  $\underline{Z}_{1.L3}$
4. Mitimpedanz der Leiter-Leiter-Messschleife  $\underline{Z}_{1.L12}$
5. Mitimpedanz der Leiter-Leiter-Messschleife  $\underline{Z}_{1.L23}$

## 6. Mitimpedanz der Leiter-Leiter-Messschleife $\underline{Z}_{1,31}$

Die berechneten Impedanzen sind **sekundäre Impedanzen**, die auf den Messort der zugehörigen **Mess/Schutzgeräte** und auf den Sekundärkreis der Spannungs- und Stromwandler bezogen sind. Strom- und Spannungswandler der **Mess/Schutzgeräte** werden berücksichtigt. Bei der Berechnung der Impedanzen der Leiter-Erd-Messschleifen wird der **Erdstromkompensationsfaktor  $k_E$**  wie z.B. für einen Distanzschutz üblich berücksichtigt.

$$\ddot{u}_U = \frac{U_{nprim}}{U_{nsek}}$$

$$\ddot{u}_I = \frac{I_{nprim}}{I_{nsek}}$$

$$\underline{Z}_{prim} = \frac{U_{prim}}{I_{prim}} = \frac{U_{sek} \cdot \ddot{u}_U}{I_{sek} \cdot \ddot{u}_I} = \underline{Z}_{sek} \frac{\ddot{u}_U}{\ddot{u}_I}$$

$$\underline{Z}_{sek} = \frac{\underline{Z}_{prim}}{\frac{\ddot{u}_U}{\ddot{u}_I}} = \underline{Z}_{prim} \frac{\ddot{u}_I}{\ddot{u}_U} = \underline{Z}_{prim} \cdot \frac{U_{nsek} \cdot I_{nprim}}{U_{nprim} \cdot I_{nsek}}$$

$$\frac{\underline{Z}_{prim}}{\underline{Z}_{sek}} = \frac{U_{nprim} \cdot I_{nsek}}{U_{nsek} \cdot I_{nprim}}$$

$$\frac{\underline{Z}_{sek}}{\underline{Z}_{prim}} = \frac{U_{nsek} \cdot I_{nprim}}{U_{nprim} \cdot I_{nsek}}$$

Das Übersetzungsverhältnis der Strom- und Spannungswandler und der Erdstromkompensationsfaktor  $k_E$  wird in der Registerkarte **Distanzschutz**, Gruppe **Spannungs- und Stromwandler** der jeweiligen **Mess/Schutzgeräte** eingestellt.

## 8.18 Berechnung der Netzverlustleistung

ATPDesigner berechnet, falls die Option aktiviert ist, nach der konvergenten der **Be-  
rechnung eines stationären Netzzustandes** für die Betriebsmittel **Leitung**, **2-Wicklungs-  
transformator** und **2/3-Wicklungstransformator (BCTRAN)** die betriebsmittelspezifischen Leistungen Scheinleistung S, Wirkverlustleistung P und Blindleistungsbedarf Q. Die einzelnen Ergebnisse werden in einer Textdatei ausgegeben.

Betriebsmittel	Berechnung von		
	S <sub>v</sub>	P <sub>v</sub>	Q <sub>v</sub>
<b>Leitung</b>	ja	ja	ja
<b>2-Wicklungstransformator</b>	ja	ja	ja
<b>2/3-Wicklungstransformator (BCTRAN)</b>	nein	ja	nein

Die Berechnung der Schein- und Blindleistung für den **2/3-Wicklungstransformator BCTRAN** kann als Ergebnis einer Netzberechnung nicht erfolgen, da das ATP-spezifische Modell nur die Berechnung der Wirkverlustleistung ermöglicht. Die Leistungen der einzelnen Betriebsmittel werden zu den Verlustleistungen des Netzes kumuliert.

Anzahl Transformatoren = 2

Anzahl Leitungen = 284

Anzahl 2/3-Wicklungs-Transformatoren (BCTRAN) = 0

```
=====
Tra 1:      3.09883kVA      1.00712kW      2.93061kvar - ONT1
Tra 2:      40.1015kVA      19.75kW       34.9009kvar - ONT2
Line 4:      0.227959kVA     0.226312kW     0.
Line 5:      0.0139558kVA    0.013005kW     0.
...
Line 287:    0.434914kVA     0.432796kW     0.0428683kvar
=====
S = 57.9422kVA   P = 34.6181kW   Q = 42.6745kvar   CosPhi = 0.59746
```

#### Abbildung 72: Ausgabe der Netzverlustleistungen in einer Textdatei

Die Textdatei kann wie folgt in einem Texteditor geöffnet werden:

- Hauptmenü **Ansicht**
- Menüpunkt **Datei für Netzverluste öffnen**

Die Ausgabe der Wirkleistungsverluste in eine Textdatei muss im Einstelldialog **Einstellungen Elektrisches Netz**, Registerkarte **Meldungen** aktiviert werden.

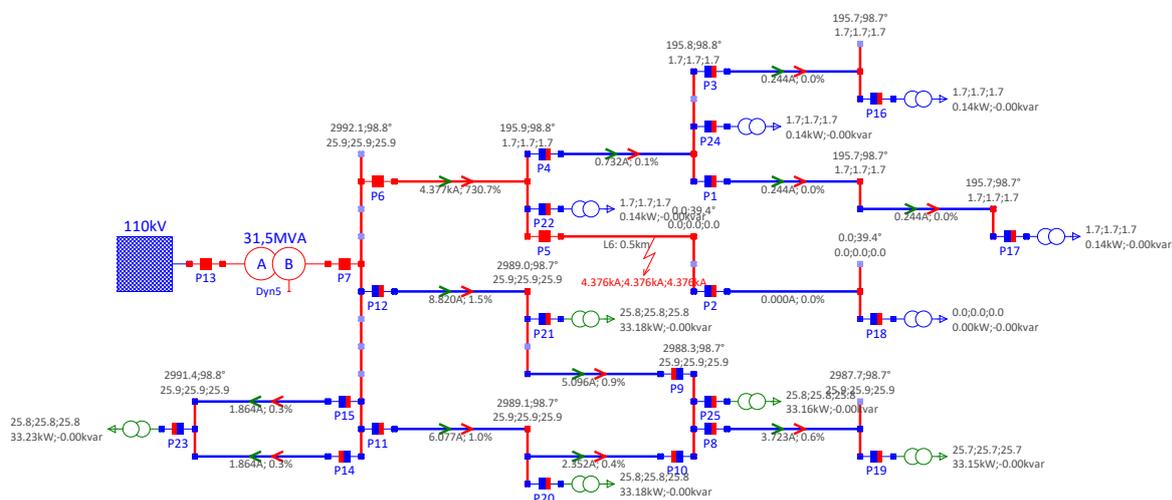
## 8.19 Kurzschlussstromberechnung mit ATPDesigner und ATP

ATPDesigner unterstützt die stationäre Kurzschlussstromberechnung. Mit Hilfe des **Kurzschlusses (roter Blitz)** können Kurzschlüsse sehr einfach parametrisiert werden. Ist die Kurzschlussstromberechnung nach **VDE 0102 (IEC 60909)** deaktiviert, so entspricht die Berechnungsmethode dem Überlagerungsverfahren auf Basis des Knotenpotentialverfahrens.

Die stationären Kurzschlüsse

- 3-poliger Kurzschluss mit Erdberührung
- 2-poliger Kurzschluss ohne Erdberührung
- 2-poliger Kurzschluss mit Erdberührung
- 1-poliger Erdkurzschluss

werden nun als Beispiel an einem einfachen Energieversorgungsnetz berechnet.



**Abbildung 73: Stromversorgungsnetz mit Kurzschluss L123E**

Um einen Kurzschluss in einem Stromnetz zu berechnen, kann man wie nachfolgend beschrieben vorgehen.

- Stromnetz aufbauen
- Fehlerstelle (Kurzschlussort) definieren
- Vor der Fehlerstelle ein **Mess/Schutzgerät** in das Stromnetz einfügen
- Gewünschte Fehlerart mit dem **Kurzschluss (roter Blitz)** nachbilden
- Mit der Funktion **Berechnung eines stationären Netzzustandes** z.B. dem Toolbar-Button  oder dem Tastenkürzel **Strg + E** werden Ströme und Spannungen berechnet
- Ausgewählte Messwerte werden in der Netzgrafik angezeigt
- Berechnete Werte in Tooltips anzeigen lassen

Um einen 3-poligen Kurzschluss mit Erdberührung nachzubilden, muss man an der Fehlerstelle den 3-poligen Kurzschluss L123E mit dem **Kurzschluss (roter Blitz)** einstellen.

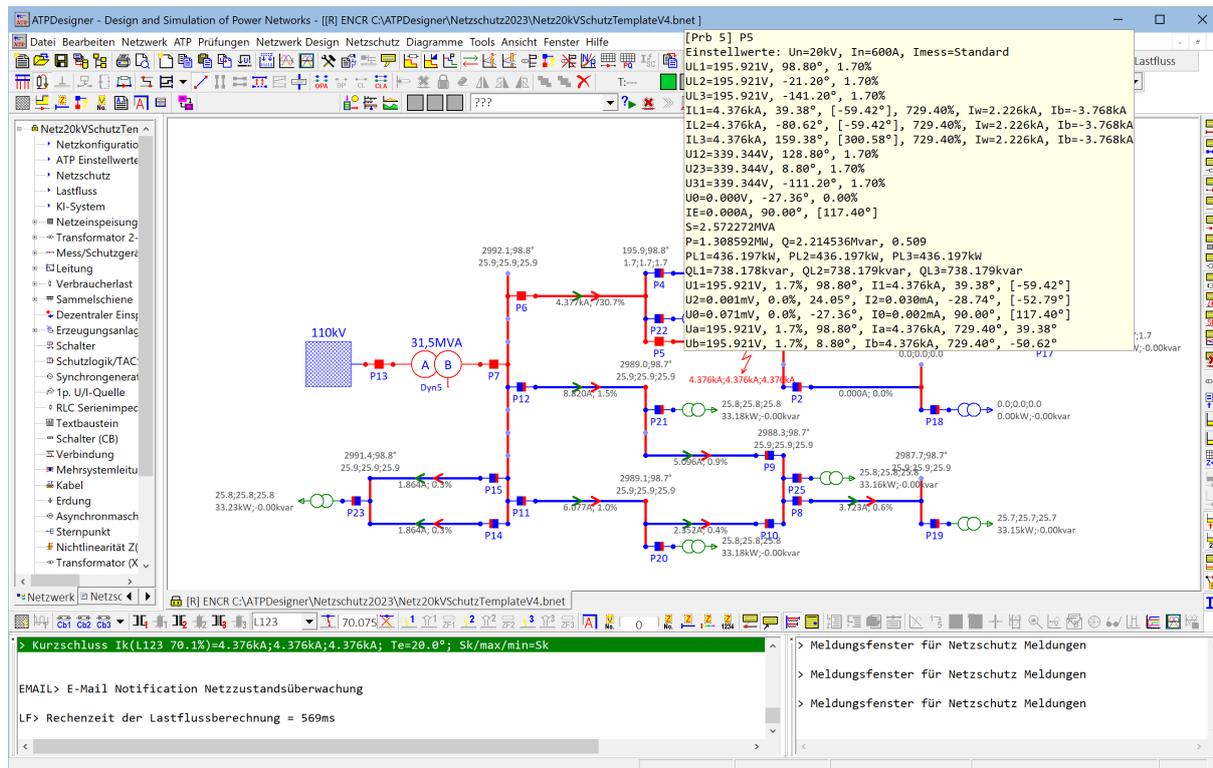
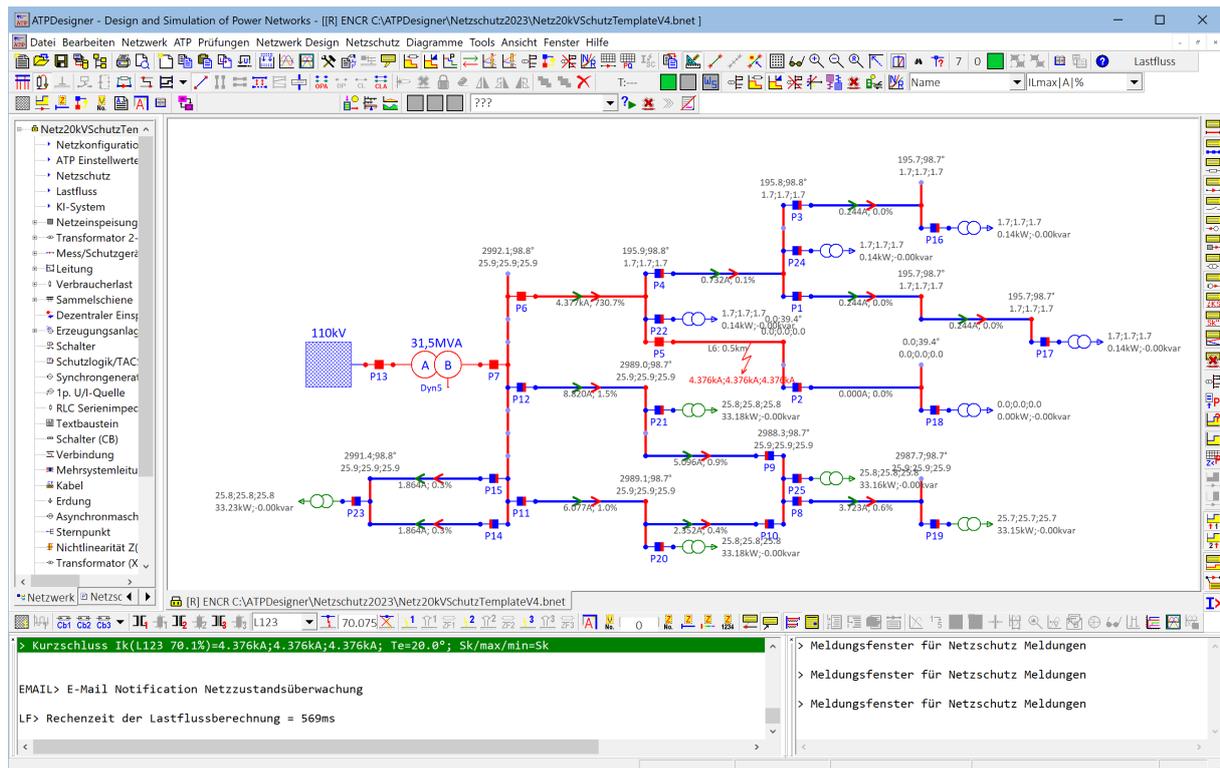


Abbildung 74: 3-poliger Kurzschluss mit Erdberührung L123E

Die stationären Leiter-Erd-Spannungen  $\underline{U}_{L1}$ ,  $\underline{U}_{L2}$ ,  $\underline{U}_{L3}$  und der stationäre Dauerkurzschlussstrom  $I_k$  lassen sich einfach berechnen. Wird der Mauscursor über ein Netzwerkelement positioniert, so werden die Berechnungsergebnisse in einem Tooltip angezeigt.

## 8.20 Kurzschlussstrom $I_k$ an der Kurzschlussstelle berechnen (roter Blitz)

ATPDesigner bietet zusätzlich zu der bisher erläuterten Vorgehensweise eine weitere Möglichkeit, einen Kurzschluss in einem Stromversorgungsnetz mit wenigen Handgriffen zu definieren, den **Kurzschlussstrom  $I_k$  an der Kurzschlussstelle** zu berechnen und in der Netzgrafik anzuzeigen. Werden **Mess/Schutzgeräte Px** verwendet, so können zusätzlich zum Kurzschlussstrom  $I_k$  an der Fehlerstelle Spannungen und Ströme an beliebigen Netzknoten ermittelt und mit Hilfe von Tooltips angezeigt werden.



**Abbildung 75: Kurzschlussstromberechnung mit Hilfe eines Kurzschlusses (roter Blitz)**

Der Kurzschluss wird durch eine niederohmige Verbindung des ausgewählten Netzknotens z.B. eine Sammelschiene mit Bezugspotential definiert. Optional kann z.B. ein Fehlerwiderstand verwendet werden.

Der Kurzschluss kann auch an einen beliebigen Punkt einer Leitung gesetzt werden. ATPDesigner teilt automatisch die kurzschlussbetroffene Leitung in zwei Leitungsabschnitte auf. Die Leitungen **Line 1..3** sind davon ausgenommen, da für diese Leitungen eigene komplexe Fehlermodelle **Fehlerart** definiert werden können.

1. Kurzschluss L1E, L2E, etc. in der Auswahlliste in der unteren Toolbar auswählen.
2. Button  drücken, die Spitze des „Blitz“-Cursors an den gewünschten Netzknoten führen und die linke Maustaste drücken. Der ausgewählte Netzknoten wird mit einem „Blitz“ als fehlerbetroffen markiert. Die Fehlerart wird angezeigt.
3. Button  zur Berechnung des stationären Netzzustandes drücken. Der berechnete Kurzschlussstrom an der Kurzschlussstelle wird angezeigt.

Nach abgeschlossener Netzberechnung wird der Kurzschlussstrom direkt in der Netzgrafik am **roten Blitz**-Symbol angezeigt. Wird der Cursor "über" die Position des Kurzschlussortes positioniert, so werden in einem Tooltip Kurzschlussart z.B. L123E und die Kurzschlussströme angezeigt. ATPDesigner zeigt den Kurzschlussstrom für jeden vom Kurzschluss betroffenen Leiter in der Reihenfolge der Leiterbezeichner der Kurzschlussart an. So werden für einen 3-poligen Kurzschluss L123E die drei Kurzschlussströme in der Reihenfolge  $I_{L1}$ ,  $I_{L2}$  und  $I_{L3}$  angezeigt.

### 8.20.1 Kurzschlussort an einer Leitung

Der Kurzschlussort kann an einer Leitung durch Angabe einer Prozentangabe [0...100%] mit dem in der Toolbar vorhandenen Edit-Feld verändert werden. Es ist wichtig, nach dem Verändern des Wertes in dem Edit-Feld z.B. mit einem **Left Mouse Button Click** die Netzgrafik mit dem neuen Kurzschlussort zu aktualisieren.

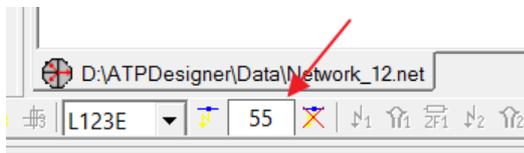


Abbildung 76: Einstellen des Kurzschlussortes an einer Leitung

Der Fehlerort in % an einer Leitung ist immer auf den linken Leitungsknoten L gesehen berechnet. Die **Knotenbezeichner L bzw. R** an einer Leitung können im Einstelldialog der **Leitung** aktiviert und in der Netzgrafik angezeigt werden.

- ⇒ Wird ein **Fehlerort = 0% oder = 100%** durch den Einstellwert wie in der obigen Abbildung gezeigt in der Toolbar eingestellt, kann es im Verlauf der Netzberechnung zu einem Laufzeitfehler kommen. Es wird empfohlen, für einen Fehlerort 0% oder 100% den Kurzschluss per Maus zu verschieben und durch einen **Left Mouse Button Click** mit dem entsprechenden Knoten der Leitung zu verbinden.

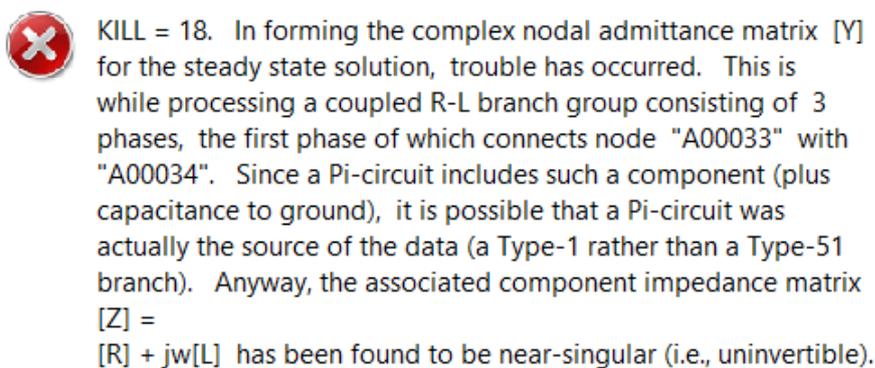


Abbildung 77: Fehlermeldung des ATP für einen Kurzschlussort = 0% oder = 100%

### 8.20.2 Ausgabe Ergebnisse der Kurzschlussstromberechnung im Meldungsfenster

Die berechneten Kurzschlussströme **Kurzschluss Ik(...)** werden auch im **Meldungsfenster** ausgegeben. Die hier angegebenen Einstellwerte können im Einstelldialog **Einstellungen Netzschutz und Kurzschluss** in der Registerkarte **Netzschutz Analyse** eingestellt werden.

```

x >> [Bb 1]:2 UL1= 4.733%; UL2= 4.733%; UL3= 4.733% < U<= 90.000% :
>> [Bb 1] ULE,ULL min= 4.733%; ULE,ULL max= 4.733%

> Spannungsüberwachung: Erzeugungsanlagen DEA (3-Phase Source) 3Ph
>> [3Ph 1] U12= 4.810%; U23= 4.810%; U31= 4.810% : 3Ph 1
>> [3Ph 1] UL1= 4.810%; UL2= 4.810%; UL3= 4.810%

> Sr Überwachung: Erzeugungsanlagen DEA (3-Phase Source) 3Ph
>> [3Ph 1] (Q,P)-Arbeitspunkt liegt innerhalb der Q/P-Kennlinie.: 3Ph 1

> Kurzschluss Ik(L123 65.6%)=4.856kA;4.856kA;4.856kA; Te=20.0°; Sc/max/min=Sk min
  
```

Abbildung 78: Ausgabe des Kurzschlussstromes im Meldungsfenster

- ⇒ Es muss hier darauf hingewiesen werden, dass die hier beschriebene Methode der Kurzschlussstromberechnung nicht mit dem Verfahren der Kurzschlussstromberechnung nach dem **Verfahren der Ersatzspannungsquelle an der Kurzschlussstelle** nach **VDE 0102 (IEC 60909)** entspricht.

#### Weitere Funktionen:

1. Der Kurzschluss kann mit dem Button  entfernt werden.
2. Wird ein Kurzschluss angezeigt, so kann die Kurzschlussart verändert werden, indem ein anderer Listeneintrag in der Toolbar ausgewählt wird. Bei Änderung der Kurzschlussart wird ein ggfs. angezeigter Kurzschlussstrom in der Netzgrafik gelöscht.
3. Um einen (sichtbaren) Kurzschluss an einen anderen Netzknoten zu verschieben, muss nur der Button  erneut gedrückt werden . Mit Hilfe des „Blitz“-Cursors kann ein neuer Netzknoten ausgewählt werden. Durch ein erneutes Drücken des Buttons  wird der **rote Blitz**-Cursor gelöscht .

Wird eine **Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102** durchgeführt, wird das Symbol des Kurzschlusses (**rote Blitz**) zur Definition der Kurzschlussstelle verwendet. An Stelle eines niederohmigen Kurzschlusses wird an der Kurzschlussstelle je nach Fehlerart eine, zwei oder drei Ersatzspannungsquellen entsprechend dem **Verfahren der Ersatzspannungsquelle an der Kurzschlussstelle** in Anlehnung an **VDE 0102 (IEC 60909)** verwendet.

### 8.20.3 Eingabe des Kurzschlussortes in % der Leitungslänge

Der Kurzschlussort kann manuell eingegeben werden, wenn der Kurzschluss schon mit einer Leitung verbunden ist. Die Eingabe des Kurzschlussortes kann im Einstelldialog **Kurzschluss** oder in der nachfolgend dargestellten Toolbar manuell eingegeben werden. Nach Eingabe des Fehlerortes wird der Kurzschluss in der Netzgrafik neu positioniert.

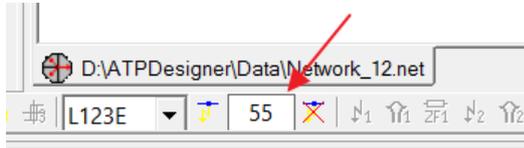
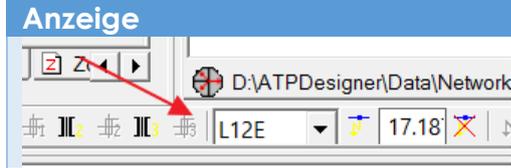
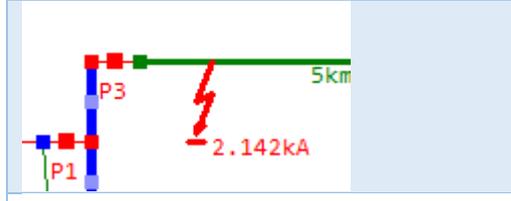
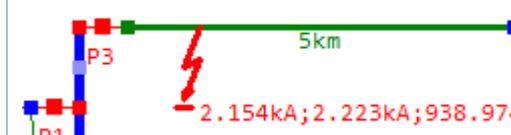


Abbildung 79: Eingabe des Fehlerortes für den Kurzschluss in der Toolbar

Sind Schutzfunktionen der Schutzgeräte aktiviert, werden die Ergebnisse Schutzanalyse in der Netzgrafik angezeigt. Die Anzeige der Netzgrafik kann mit den Toolbar-Buttons  oder dem Hauptmenü **Netzschutz** ausgeschaltet werden.

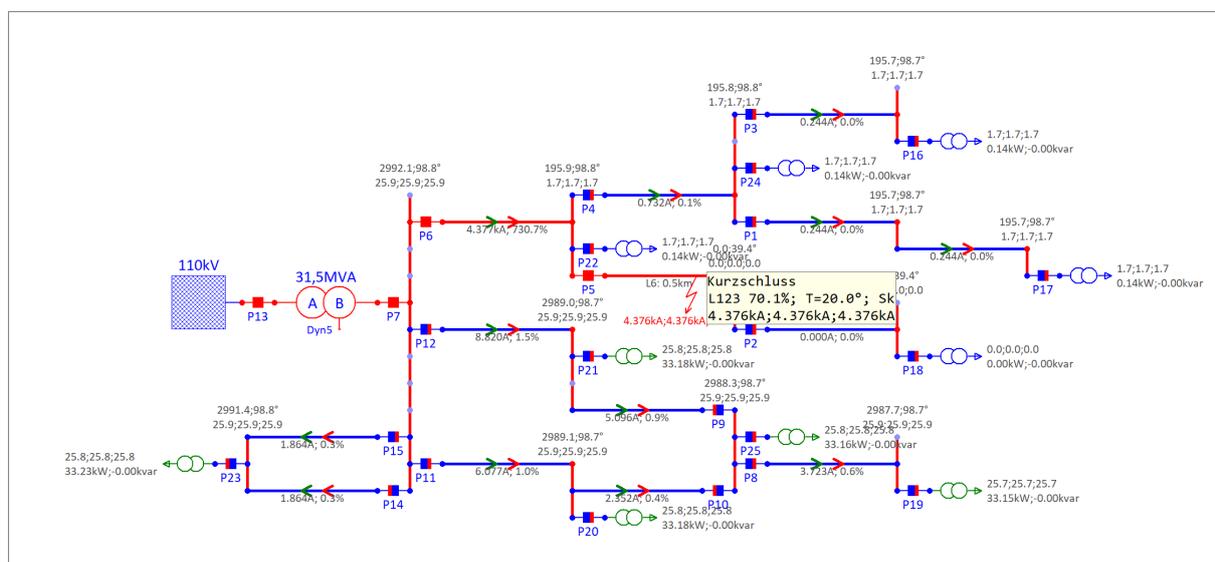
### 8.20.4 Anzeige der Kurzschlussströme am Kurzschlussort in der Netzgrafik

Abhängig von der Kurzschlussart werden die (Teil-)Kurzschlussströme direkt in der Netzgrafik am Kurzschlussort angezeigt. Die Bedeutung kann aber nur zusammen mit der Einstellung in der Toolbar oder der Ausgabe im **Meldungsfenster** erfolgen. Im Folgenden werden die angezeigten Kurzschlussströme erläutert.

Anzeige	Bedeutung
	Einstellung der <b>Kurzschlussart</b> in der Toolbar
	<b>1pE-Kurzschluss:</b> Betrag des Kurzschlussstroms Leiter-Erde
	<b>2p-Kurzschluss:</b> Betrag des Kurzschlussstroms Leiter-Leiter
	<b>2pE-Kurzschluss:</b> Betrag der beiden Kurzschlussströme Leiter-Kurzschlussknoten; Betrag des Kurzschlussstroms Kurzschlussknoten-Erde

	<p><b>3p/3pE-Kurzschluss:</b> Betrag der drei Kurzschlussströme Leiter-Erde</p>
<pre> LF&gt; Lastfluss: Genauigkeit DEA-Iteration = --- LF&gt; Lastfluss: Genauigkeit Phase Adjusting = o.k. LF&gt; Spannungsregler: Genauigkeit der Stufenschalter = --- LF&gt; Längsspannungsregler: Genauigkeit der Stufung = --- &gt; Kurzschluss Ik(L12E 17.2%)=2.154kA;2.223kA;938.974A; Rf=0.10hm                     </pre>	<p>Ausgabe von Kurzschlussart und berechneten Kurzschlussströmen im <b>Meldungsfenster</b></p>

Wird der Mauscursor "über" dem Kurzschlussort (= **roter Blitz**) in der Netzgrafik positioniert, so werden Kurzschlussart und Kurzschlussströme in einem Tooltip angezeigt.



**Abbildung 80: Anzeige von Kurzschlussart und Kurzschlussströmen in einem Tooltip**

Die Ausgabe des Tooltips nach obiger Abbildung kann mit dem Toolbar-Button  in der Toolbar  ein- oder ausgeschaltet werden.

### 8.21 Berechnung des stationären Lastflusses - Load Adjusting, Phase Adjusting

ATPDesigner bietet eine Möglichkeit, den stationären Lastfluss in Stromversorgungsnetzen in Anlehnung an die üblichen Verfahren der Lastflussberechnung durchzuführen.

Leistungsflüsse sowie Spannungen und Ströme im Stromnetz können durch eine Lastflussberechnung ermittelt werden. Grundlage der Lastflussberechnung ist die Nachbildung des Stromnetzes mit geeigneten 3-phasigen netzphysikalischen Modellen für Betriebsmittel wie z.B. Leitungen und Transformatoren sowie die Festlegung der Bezugs- und Einspeiseleistungen der Randknoten (PQ-Knoten) wie z.B. Verbraucherlasten und dezentrale Erzeugungsanlagen. Netzeinspeisungen werden in aller Regel durch Nennspannung und Wirkleistungseinspeisung (PU-Knoten) nachgebildet. Als Besonderheit

wird eine Netzeinspeisung mit in aller Regel sehr hoher Kurzschlussleistung als Slack definiert. Der Slack-Knoten legt die Bezugsnennspannung für die Lastflussberechnung fest.

Die Lastflussberechnung ist ein iteratives Verfahren, das in mehreren Schritten den Lastfluss so annähert, dass die vom Anwender festgelegten Randbedingungen der PQ- und PU-Knoten in guter Näherung erreicht werden. Die Konvergenz des iterativen Verfahrens wird durch eine anwenderdefinierte Genauigkeit überwacht und bewertet.

**Die im Rahmen der Lastflussberechnung von ATPDesigner verwendeten PQ-Knoten werden ohne Spannungsabhängigkeit, d.h. mit einem linearen Impedanzverhalten nachgebildet.**

- ⇒ Es muss beachtet werden, dass das in ATPDesigner implementierte Verfahren zu Berechnung des stationären Lastflusses den in der Fachliteratur beschriebenen Verfahren der Lastflussberechnung (Newton-Raphson-Verfahren) nur angenähert aber nicht identisch ist. **In ATPDesigner wird das Verfahren der Stromiteration verwendet.**

### 8.21.1 Verfahren der Stromiteration in ATPDesigner

Das Verfahren der Stromiteration kann vorteilhaft zur Lastflussberechnung eingesetzt werden, wenn die Ströme der Bezugs- und Einspeiseanlagen als Knotenströme der Randknoten bekannt sind. Falls die Ströme der Randknoten nicht bekannt sind, können die Knotenspannungen z.B. durch die Annahme der Nennspannung  $U_n$  als Anfangswert abgeschätzt werden. Mit Hilfe der Bezugs- und Einspeiseleistungen können die unbekannteren Knotenströme dann als Anfangswert berechnet werden.

Mit Hilfe der Knotenpotentialanalyse wird das lineare Gleichungssystem des elektrischen Netzwerkes in einem ersten Iterationsschritt gelöst. Die Ergebnisse, d.h. die Spannungen werden verwendet, um in weiteren Iterationsschritten verbesserte Anfangswerte zur Berechnung der Knotenströme aus vorgegebenen Leistungen zu berechnen.

Das Verfahren der Stromiteration hat den Vorteil, dass es als Lösung des linearen Gleichungssystems des elektrischen Netzwerkes immer zu einer mathematisch korrekten Lösung führt, die den netzphysikalischen Netzzustand unter Berücksichtigung der nur genähert angenommenen Knotenströme mit Unschärfen berechnet. Durch das iterative Mehrschrittverfahren wird der netzphysikalische Netzzustand schrittweise verbessert berechnet. Wegen des linearen Zusammenhangs können u.U. eine gegenüber der Lastflussberechnung nach dem Newton-Raphson-Verfahren größere Anzahl von Iterationsschritten erforderlich sein, um eine anwenderspezifisch vorgegebene Genauigkeit die sog. Konvergenzgenauigkeit zu erreichen.

Ein weiterer Vorteil der Stromiteration liegt darin, dass der Lastfluss in sowohl symmetrische als auch unsymmetrische Netzzustände berechnet werden kann. Auch ist grundsätzlich die Berechnung des Lastflusses oder zumindest der Spannungen und Ströme im Falle eines Kurzschlusses möglich. Daher eignet sich das Stromiterationsverfahren insbesondere als Grundlage zur Analyse und Bewertung von **Netzschutzkonzepten**.

### 8.21.2 Lastflussberechnung mit ATPDesigner

ATPDesigner sieht zwei Verfahren **Lastfluss: PQ, PU Knoten** und **Lastfluss: DEA** vor, die eine Berechnung des stationären Lastflusses in Anlehnung an die klassische Lastflussberechnung ermöglichen.

#### Lastfluss: PQ, PU Knoten, Lastfluss: DEA

Berücksichtigung 1/2/3-phasiger **Verbraucherlasten** konstanter Leistung (PQ-Knoten ohne Spannungsabhängigkeit)

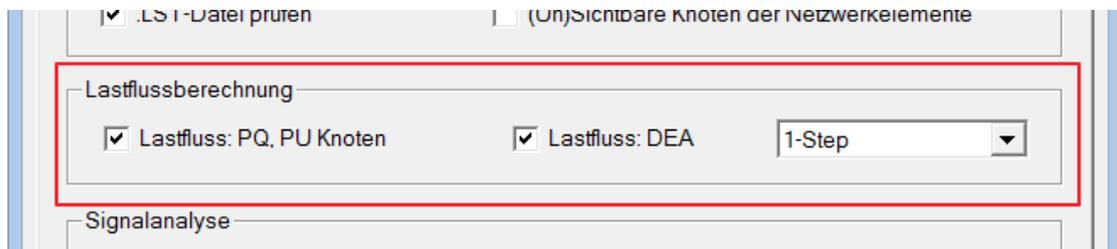
Berücksichtigung von automatisch arbeitenden Stufenschaltern mit Spannungsregelung für den **2-Wicklungs-Transformator**

Berücksichtigung 1/2/3-phasiger Netzumrichter (symmetrisch und unsymmetrisch) mit Regelung des Verschiebungsfaktors  $\cos \varphi$  am Netzanschlusspunkt NAP (**Erzeugungsanlage (DEA)**)

Häufig verwendete Einstellwerte zur Einstellung der Lastflussberechnung sind in einem eigenen Einstelldialog **Einstellung Lastflussberechnung** in mehreren Registerkarten zusammengefasst. Im Kapitel **Lastflussberechnung in ATPDesigner** werden die beiden Verfahren näher erläutert.

Folgende Einstellungen müssen vorgenommen werden, um den stationären Lastfluss zu berechnen.

- Einstelldialog **ATP Einstellwerte**
- Registerkarte **ATP Daten** öffnen
- Optionen **Lastfluss: PQ, PU Knoten** und/oder **Lastfluss: DEA** aktivieren



Als Alternative können auch Toolbar-Buttons aus der **Main Toolbar**

- Option **Lastfluss: PQ, PU Knoten** aktivieren – Toolbar-Button  EIN-Schalten
- Option **Lastfluss: DEA** aktivieren - Toolbar-Button  EIN-Schalten

oder die Menüpunkte

- **Lastfluss: Lasten**
- **Lastfluss: DEA**

im Hauptmenü **ATP** verwendet werden.

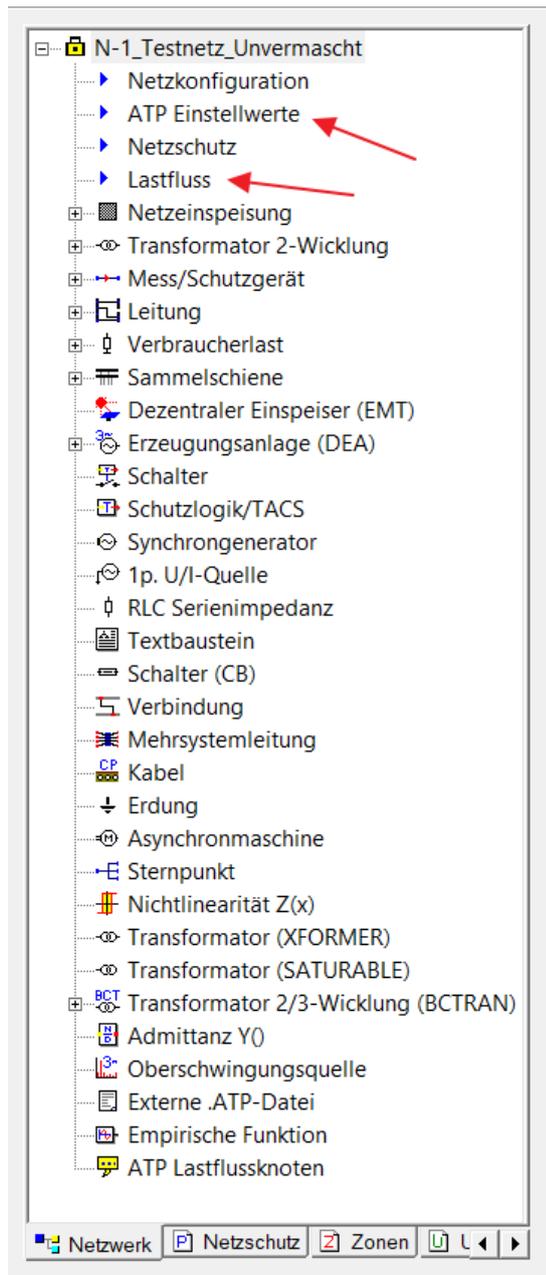


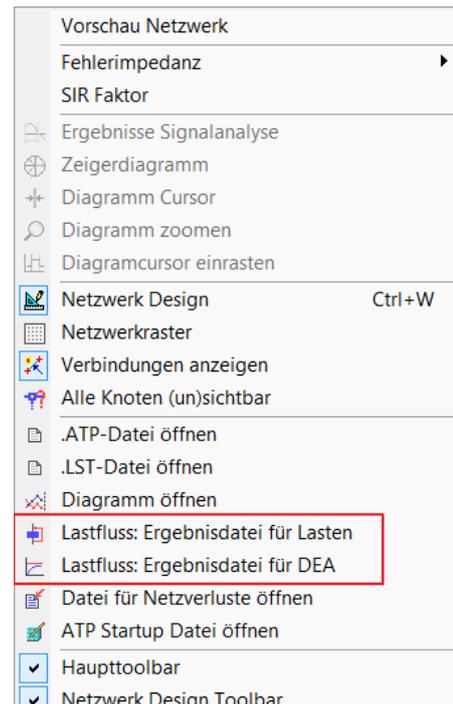
Abbildung 81: Einstelldialog ATP Daten zum Aktivieren Lastfluss: PQ, PU Knoten, Lastfluss: DEA

1. Berechnung des stationären Netzzustandes starten mit

[Netzberechnung starten](#) 

Die Anzeige der Ergebnisse erfolgt in der Netzgrafik z.B. direkt an den Leitungen oder mit Tooltips (siehe Kapitel 7.3).

2. Entfernen der Ergebnisse aus der Netzgrafik mit dem Toolbar-Button 



Arbeitsweise und Ergebnisse des Iterationsverfahrens werden in zwei Dateien protokolliert.

- **Lastfluss: Ergebnisdatei für Lasten**  
für das Iterationsverfahren [Lastfluss: PQ, PU Knoten](#)
- **Lastfluss: Ergebnisdatei für DEA**  
für das Iterationsverfahren [Lastfluss: DEA](#)

### 8.21.3 Einstelldialog *Einstellung Lastflussberechnung*

Der Einstelldialog **Einstellung Lastflussberechnung** kann im Hauptmenü **ATP** geöffnet werden. Es werden mehrere Registerkarten angezeigt, mit denen Eigenschaften der [Lastflussberechnung](#) eingestellt werden können. Der Einstelldialog kann auch in den Ausgabefenstern der [Projektinformationen](#) mit dem Eintrag **Lastfluss** geöffnet werden.

### 8.21.3.1 Registerkarte *Einstellung Lastflussberechnung*

In der Registerkarte können häufig verwendete Einstellungen der **Lastflussberechnung** und der zugehörigen Netzberechnungsmethoden vorgenommen werden.

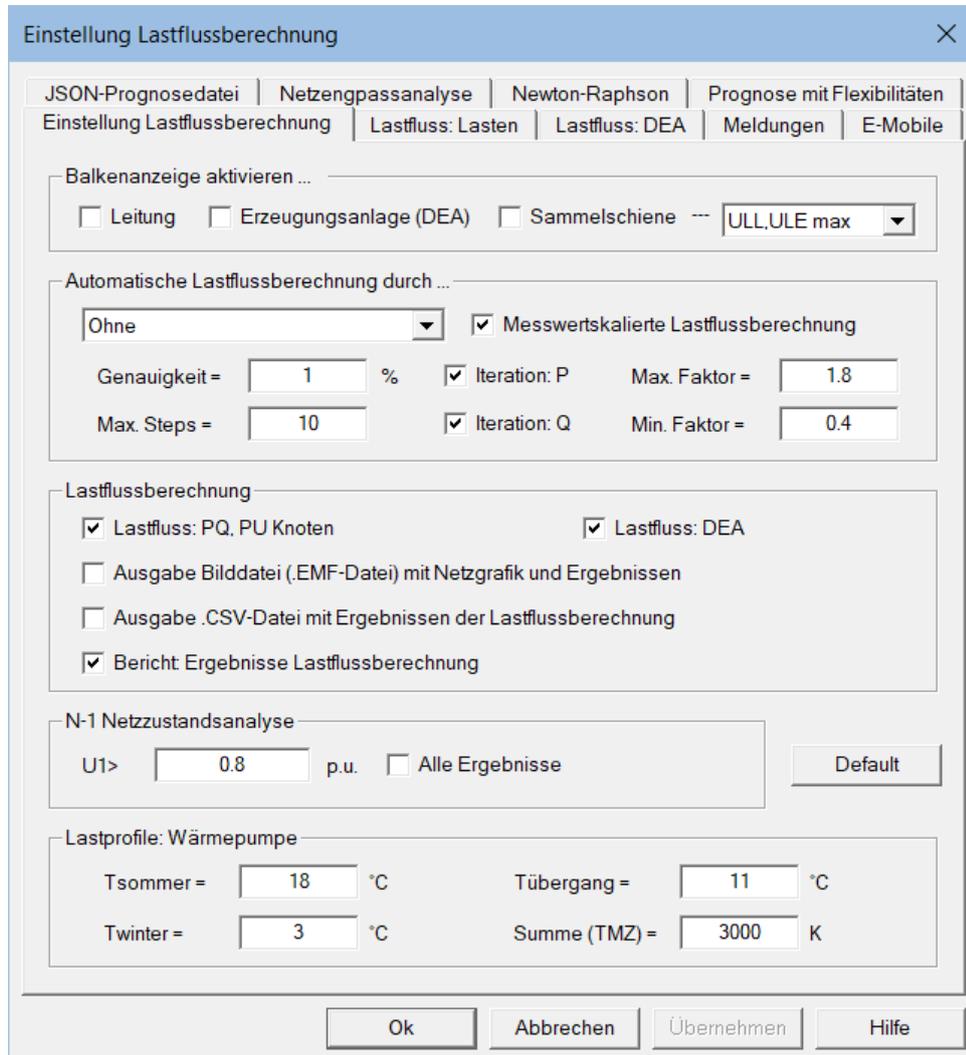


Abbildung 82: Einstelldialog *Einstellung Lastflussberechnung*

Einstellwert	Bedeutung
<b>Balkenanzeige aktivieren</b>	Ergebnisse der Lastflussberechnung können für die Netzwerkelemente <b>Leitung</b> , <b>Erzeugungsanlage (DEA)</b> und <b>Sammelschiene</b> zusätzlich in der Netzgrafik als Balkenanzeige angezeigt werden. <ul style="list-style-type: none"> <li>Für das Netzwerkelement <b>Sammelschiene</b> kann in der Auswahlliste eine Betriebsart eingestellt werden.</li> <li>Für das Netzwerkelement <b>Leitung</b> wird die Stromauslastung als Balkenanzeige angezeigt.</li> <li>Für das Betriebsmittel <b>Erzeugungsanlage (DEA)</b> kann der Anzeigewert im Einstelldialog des Netzwerkelementes in der Registerkarte <b>Interface zu ...</b> eingestellt werden.</li> </ul>
<b>Automatische Lastflussberechnung durch ...</b>	ATPDesigner startet automatisch eine Lastflussberechnung, wenn eine .CSV-Datei in das überwachte Verzeichnis kopiert oder eine vorhandene Datei verändert wird.

<b>Lastfluss: PQ, PU Knoten</b>	Siehe Kapitel <b>Lastfluss: Lasten</b> [Bd. 2] bzw. Registerkarte <b>Lastfluss: Lasten</b>
<b>Lastfluss: DEA</b>	Siehe Kapitel <b>Lastfluss: DEA</b> [Bd. 2] bzw. Registerkarte <b>Lastfluss: DEA</b>
<b>Gruppe Lastprofile: Wärmepumpen</b>	In der Gruppe <b>Lastprofile: Wärmepumpe</b> sind Einstellwerte zur Verwendung eines Lastprofils mit 15min-Zeitintervallen für Wärmepumpen einstellbar. Die Anwendung von Lastprofilen für Wärmepumpen und die Erläuterung der Einstellwerte sind in Kapitel <b>Lastprofile für Wärmepumpen HP(ID)</b> [Bd. 3] enthalten.
<b>Gruppe N-1 Netz-zustandsanalyse</b>	Siehe Kapitel <b>Einstellwerte N-1 Netzzustandsanalyse</b> [Bd. 1]

### 8.21.3.2 Registerkarte **Lastfluss: Lasten**

Siehe Kapitel **Lastfluss: Lasten** [Bd. 2] bzw. Registerkarte **Lastfluss: Lasten**

### 8.21.3.3 Registerkarte **Lastfluss: DEA**

Siehe Kapitel **Lastfluss: DEA** [Bd. 2] bzw. Registerkarte **Lastfluss: DEA**

### 8.21.4 Lastflussberechnung – Meldung der Konvergenz oder Divergenz

Die Lastflussberechnung wird mit mehreren Kriterien auf Konvergenz bzw. Divergenz überwacht. Um die Konvergenz überprüfen zu können, werden in der unteren **Statuszeile** und im **Meldungsfenster** Meldungen ausgegeben. Zu Beginn der Lastflussberechnung wird in der unteren Statuszeile die Meldung **LF=???** ausgegeben. Mit dieser Ausgabe wird angezeigt, dass eine neue Lastflussberechnung gestartet und Konvergenz noch nicht erkannt worden ist.

LF=???	0.319%/0.000%	dPh=0.050° dS=0.012%	N=4
--------	---------------	----------------------	-----

**Abbildung 83: Lastflussberechnung –Konvergenz bzw. Divergenz in der Statuszeile**

Wird eine **Konvergenz** erreicht, so wird die Meldung **LF=o.k.**, im Falle der **Divergenz** die Meldung **LF=fehlerhaft**.

```

x TIME> Überprüfe .LST-Datei=381.000000ms, Analyse Netzschutz=256.000000ms
--- Netzberechnung beendet. ---

LF> Lastfluss: Konvergenz
LF> Lastfluss: Genauigkeit Lastflussberechnung Lasten = o.k.
LF> Lastfluss: Genauigkeit Lastflussberechnung DEA = o.k.
LF> Spannungsregler: Genauigkeit der Stufenschalter = o.k.
LF> Längsspannungsregler: Genauigkeit der Stufung = ---

> Spannungsüberwachung: Sammelschienen Bb
<

```

**Abbildung 84: Lastflussberechnung – Konvergenz bzw. Divergenz im Meldungsfenster**

### 8.21.5 Lastflussberechnung – Abbruch durch den Anwender

Eine laufende Lastflussberechnung kann während des Iterationsverfahrens durch einen **Left Mouse Button Click** auf den Toolbar-Button  abgebrochen werden. Nach dem Abbruch der Lastflussberechnung werden folgende Informationen in der **Statuszeile** und im **Meldungsfenster** angezeigt.



Abbildung 85: Abbruch der Lastflussberechnung in der Statuszeile

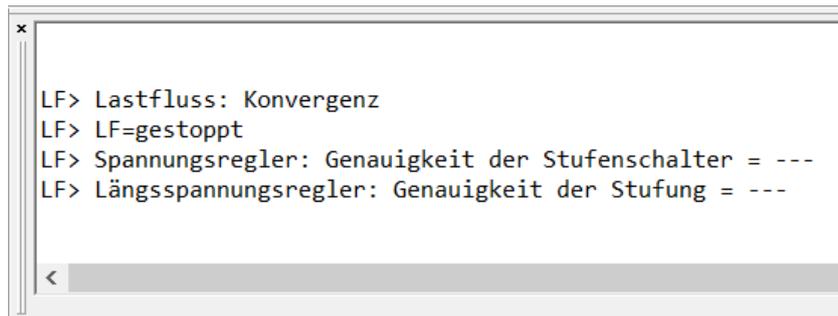
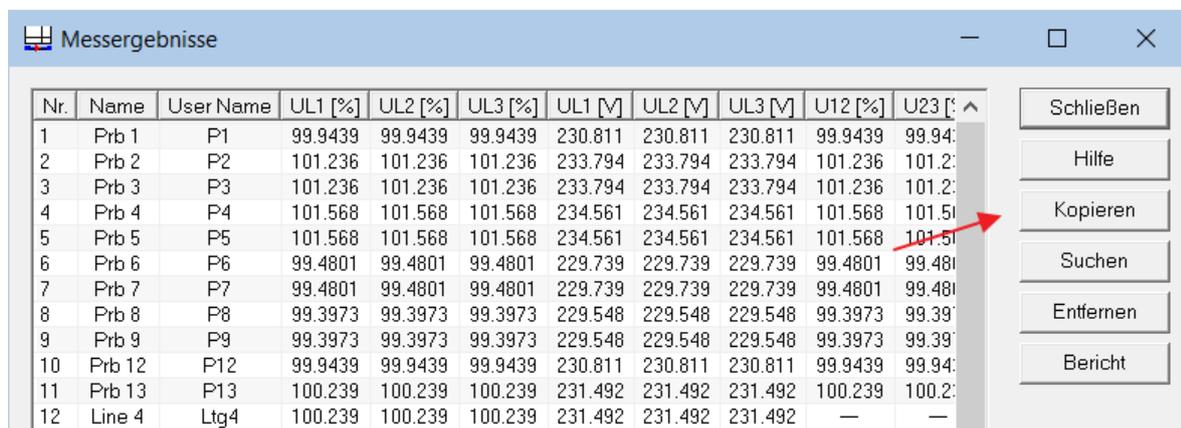


Abbildung 86: Abbruch der Lastflussberechnung im Meldungsfenster

### 8.21.6 Lastflussberechnung – Ergebnisse in einer Tabelle anzeigen

Die [Ergebnisse der Lastflussberechnung](#) können sortiert nach Betriebsmitteln wie in der nachfolgenden Abbildung dargestellt, in einem [Dialog als Tabelle](#) angezeigt werden.



Nr.	Name	User Name	UL1 [%]	UL2 [%]	UL3 [%]	UL1 [V]	UL2 [V]	UL3 [V]	U12 [%]	U23 [%]
1	Prb 1	P1	99.9439	99.9439	99.9439	230.811	230.811	230.811	99.9439	99.9439
2	Prb 2	P2	101.236	101.236	101.236	233.794	233.794	233.794	101.236	101.236
3	Prb 3	P3	101.236	101.236	101.236	233.794	233.794	233.794	101.236	101.236
4	Prb 4	P4	101.568	101.568	101.568	234.561	234.561	234.561	101.568	101.568
5	Prb 5	P5	101.568	101.568	101.568	234.561	234.561	234.561	101.568	101.568
6	Prb 6	P6	99.4801	99.4801	99.4801	229.739	229.739	229.739	99.4801	99.4801
7	Prb 7	P7	99.4801	99.4801	99.4801	229.739	229.739	229.739	99.4801	99.4801
8	Prb 8	P8	99.3973	99.3973	99.3973	229.548	229.548	229.548	99.3973	99.3973
9	Prb 9	P9	99.3973	99.3973	99.3973	229.548	229.548	229.548	99.3973	99.3973
10	Prb 12	P12	99.9439	99.9439	99.9439	230.811	230.811	230.811	99.9439	99.9439
11	Prb 13	P13	100.239	100.239	100.239	231.492	231.492	231.492	100.239	100.239
12	Line 4	Ltg4	100.239	100.239	100.239	231.492	231.492	231.492	—	—

Abbildung 87: Export der Berechnungsergebnisse nach Excel

Bedienelement	Bedeutung
<b>Schließen</b>	Dialog schließen
<b>Kopieren</b>	Inhalt der Tabelle mit Kopfzeile im .CSV-Format in die Zwischenablage kopieren
<b>Suchen</b>	Wird eine Tabellenzeile mit einem <b>Left Mouse Button</b> markiert, so kann das Netzwerkelement in der Netzgrafik gesucht und mit einer <b>roten Markierungsfläche</b> markiert werden. Alternativ kann nach dem Markieren der Zeile mit einem <b>Right Mouse Button Menu</b> ein kontextsensitives Menü geöffnet werden.

<b>Entfernen</b>	Die <b>rote Markierungsfläche</b> wird aus der Netzgrafik entfernt.
<b>Bericht</b>	Der Inhalt der Tabelle zusammen mit der Kopfzeile kann in einer Datei z.B. als Excel-Datei oder als Datei im JSON-Format gespeichert werden.

### 8.21.7 Lastflussberechnung - Export der Messwerte im .CSV-Format

Die Ergebnisse der Lastflussberechnung können für Betriebsmittel wie z.B. **Mess/Schutzgeräte, Leitungen** und **Sammelschienen** als .CSV-Format durch den **Left Mouse Button Click** auf den Button **Kopieren** in die Zwischenablage exportiert werden. Die so exportierten Daten können sehr einfach nach Excel importiert und z.B. für Diagramme weiterverarbeitet werden. In der Spalte **Name** sind die unveränderlichen Referenznamen der Betriebsmittel alphabetisch sortiert enthalten. Die Reihenfolge der Betriebsmittel ändert sich nur, wenn Betriebsmittel hinzugefügt oder gelöscht werden.

### 8.21.8 Lastflussberechnung – Ergebnisse in einer Excel-Datei speichern

Die [Ergebnisse der Lastflussberechnung](#) können sortiert nach Betriebsmitteln als **Bericht** im Format einer **.XML-Datei im Office Open XML Format [21]** als Excel-Datei exportiert werden.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
1	Nr.	Name	User Name	UL1 [%]	UL2 [%]	UL3 [%]	UL1 [V]	UL2 [V]	UL3 [V]	U12 [%]	U23 [%]	U31 [%]	U12 [V]	U2
2	1	Prb 1	P1	99,9982	99,9982	99,9982	11546,8	11546,8	11546,8	99,9982	99,9982	99,9982	19999,6	199
3	2	Prb 2	P2	98,4753	98,4753	98,4753	227,419	227,419	227,419	98,4753	98,4753	98,4753	393,901	393
4	3	Prb 3	P3	98,4752	98,4752	98,4752	227,419	227,419	227,419	98,4752	98,4752	98,4752	393,901	393
5	4	Prb 4	P4	98,2731	98,2731	98,273	226,952	226,952	226,952	98,2731	98,273	98,273	393,092	393
6	5	Prb 5	P5	98,2729	98,2729	98,2729	226,952	226,952	226,952	98,2729	98,2729	98,2729	393,092	393
7	6	Prb 6	P6	95,9923	95,9923	95,9923	221,685	221,685	221,685	95,9923	95,9923	95,9923	383,969	383
8	7	Prb 7	P7	95,9922	95,9922	95,9922	221,684	221,685	221,684	95,9922	95,9922	95,9922	383,969	383
9	8	Prb 8	P8	93,8031	93,8031	93,8031	216,629	216,629	216,629	93,8031	93,8031	93,8031	375,212	375
10	9	Prb 9	P9	93,803	93,803	93,803	216,629	216,629	216,629	93,803	93,803	93,803	375,212	375
11	10	Prb 10	P10	91,8994	91,8994	91,8993	212,232	212,233	212,232	91,8994	91,8994	91,8994	367,597	367
12	11	Prb 11	P11	91,8993	91,8993	91,8993	212,232	212,232	212,232	91,8993	91,8993	91,8993	367,597	367
13	12	Prb 12	P12	90,2819	90,2819	90,2818	208,497	208,497	208,497	90,2819	90,2818	90,2818	361,127	361
14	13	Prb 13	P13	90,2818	90,2818	90,2818	208,497	208,497	208,497	90,2818	90,2818	90,2818	361,127	361
15	14	Prb 14	P14	89,0724	89,0724	89,0723	205,704	205,704	205,704	89,0724	89,0723	89,0724	356,289	356
16	15	Prb 15	P15	89,0723	89,0723	89,0723	205,704	205,704	205,704	89,0723	89,0723	89,0723	356,289	356

Abbildung 88: Ergebnisse der Lastflussberechnung als Excel-Datei

### 8.21.9 Lastflussberechnung – Ergebnisse in einer JSON-Datei speichern

Die [Ergebnisse der Lastflussberechnung](#) können sortiert nach Betriebsmitteln als **Bericht** in eine Datei im **.JSON-Format [28]** exportiert werden. Der Inhalt der JSON-Datei besteht aus einem Datenelement mit allgemeinen Informationen und für jedes Betriebsmittel ein Datenelement mit den Ergebnissen der Lastflussberechnung.

Element	Bedeutung
<b>Name Software</b>	ATPDesigner
<b>Version Software</b>	Versionsnummer und Versionsdatum von ATPDesigner
<b>Version Net File</b>	Version der .NET-Datei
<b>File Name</b>	Dateiname mit Verzeichnis der .NET-Datei
<b>timestamp</b>	Datum und Uhrzeit zum Zeitpunkt der Ausgabe der JSON-Datei
<b>FN</b>	Netznennfrequenz in Hz

Die Elemente des nachfolgenden Datenelementes sind abhängig von dem jeweiligen Netzwerkelement ggfs. nicht vorhanden.

Element	Bedeutung
<b>Name</b>	Referenzname des Netzwerkelementes
<b>User Name</b>	Anwenderspezifischer Name des Netzwerkelementes
<b>UL1 [%]</b>	Betrag der Leiter-Erd-Spannung $\underline{U}_{L1}$ bezogen auf $U_n/\sqrt{3}$
<b>UL2 [%]</b>	Betrag der Leiter-Erd-Spannung $\underline{U}_{L2}$ bezogen auf $U_n/\sqrt{3}$
<b>UL3 [%]</b>	Betrag der Leiter-Erd-Spannung $\underline{U}_{L3}$ bezogen auf $U_n/\sqrt{3}$
<b>UL1 [V]</b>	Betrag der Leiter-Erd-Spannung $\underline{U}_{L1}$ in V
<b>UL2 [V]</b>	Betrag der Leiter-Erd-Spannung $\underline{U}_{L2}$ in V
<b>UL3 [V]</b>	Betrag der Leiter-Erd-Spannung $\underline{U}_{L3}$ in V
<b>U12 [%]</b>	Betrag der Leiter-Leiter-Spannung $\underline{U}_{12}$ bezogen auf $U_n$
<b>U23 [%]</b>	Betrag der Leiter-Leiter-Spannung $\underline{U}_{23}$ bezogen auf $U_n$
<b>U31 [%]</b>	Betrag der Leiter-Leiter-Spannung $\underline{U}_{31}$ bezogen auf $U_n$
<b>U12 [V]</b>	Betrag der Leiter-Leiter-Spannung $\underline{U}_{12}$ in V
<b>U23 [V]</b>	Betrag der Leiter-Leiter-Spannung $\underline{U}_{23}$ in V
<b>U31 [V]</b>	Betrag der Leiter-Leiter-Spannung $\underline{U}_{31}$ in V
<b>IL1 [%]</b>	Betrag des Leiterstromes $\underline{I}_{L1}$ bezogen auf $I_n$
<b>IL2 [%]</b>	Betrag des Leiterstromes $\underline{I}_{L2}$ bezogen auf $I_n$
<b>IL3 [%]</b>	Betrag des Leiterstromes $\underline{I}_{L3}$ bezogen auf $I_n$
<b>IL1 [A]</b>	Betrag des Leiterstromes $\underline{I}_{L1}$ in A
<b>IL2 [A]</b>	Betrag des Leiterstromes $\underline{I}_{L2}$ in A
<b>IL3 [A]</b>	Betrag des Leiterstromes $\underline{I}_{L3}$ in A
<b>U1 [%]</b>	Betrag der Mitsystemspannung $\underline{U}_1$ bezogen auf $U_n/\sqrt{3}$
<b>U2 [%]</b>	Betrag der Gegensystemspannung $\underline{U}_2$ bezogen auf $U_n/\sqrt{3}$
<b>U0 [%]</b>	Betrag der Nullsystemspannung $\underline{U}_0$ bezogen auf $U_n/\sqrt{3}$
<b>U1 [V]</b>	Betrag der Mitsystemspannung $\underline{U}_1$ in V
<b>U2 [V]</b>	Betrag der Gegensystemspannung $\underline{U}_2$ in V
<b>U0 [V]</b>	Betrag der Nullsystemspannung $\underline{U}_0$ in V
<b>I1 [%]</b>	Betrag des Mitsystemstromes $\underline{I}_1$ bezogen auf $I_n$
<b>I2 [%]</b>	Betrag des Gegensystemstromes $\underline{I}_2$ bezogen auf $I_n$
<b>I0 [%]</b>	Betrag des Nullsystemstromes $\underline{I}_0$ bezogen auf $I_n$
<b>I1 [A]</b>	Betrag des Mitsystemstromes $\underline{I}_1$ in A
<b>I2 [A]</b>	Betrag des Gegensystemstromes $\underline{I}_2$ in A
<b>I0 [A]</b>	Betrag des Nullsystemstromes $\underline{I}_0$ in A
<b>ILmax [%]</b>	Maximaler Betrag der Leiterströme $\underline{I}_{L123}$ bezogen auf $I_n$
<b>ILmax [A]</b>	Maximaler Betrag der Leiterströme $\underline{I}_{L123}$ in A
<b>Zone</b>	Nummer der <b>Zone</b>
<b>S [VA]</b>	Scheinleistung in VA
<b>P [W]</b>	Wirkleistung in W
<b>Q [var]</b>	Blindleistung in var
<b>CosPhi</b>	Verschiebungsfaktor $\cos \varphi = P / S$
<b>SL1 [VA]</b>	Scheinleistung Leiter L1 in VA
<b>SL2 [VA]</b>	Scheinleistung Leiter L2 in VA
<b>SL3 [VA]</b>	Scheinleistung Leiter L3 in VA
<b>PL1 [W]</b>	Wirkleistung Leiter L1 in W
<b>PL2 [W]</b>	Wirkleistung Leiter L2 in W
<b>PL3 [W]</b>	Wirkleistung Leiter L3 in W
<b>QL1 [var]</b>	Blindleistung Leiter L1 in var

<b>QL2 [var]</b>	Blindleistung Leiter L2 in var
<b>QL3 [var]</b>	Blindleistung Leiter L3 in var
<b>Sv [VA]</b>	Scheinleistungsbedarf in VA
<b>Pv [W]</b>	Wirkverlustleistung in W
<b>Qv [var]</b>	Blindleistungsbedarf in var
<b>CosPhi</b>	Verschiebungsfaktor $\cos \varphi_v = P_v / S_v$

### 8.21.10 Ausgabe der Lastflussergebnisse - Lastfluss: Ergebnisdatei für Lasten

Nachfolgend wird der Inhalt der Textdatei angezeigt, der für jeden Iterationsschritt von ATPDesigner ausgegeben wird. Am Ende der Ausgabedatei werden wichtige Berechnungsergebnisse tabellarisch zusammengefasst. Mit Hilfe der Ergebnisdatei kann der Iterationsprozess analysiert werden.

```

2-Wicklungstransformator: Automatischer Spannungsregler und interne Lastimpedanz
  Anzahl 2-Wicklungstransformatoren NT = 1
XFormer: Automatischer Längsspannungsregler
  Anzahl XFormer NX = 0
Generator: Synchrongeneratoren S.M.59
  Anzahl Synchrongeneratoren NG = 0

Netzspezifische Daten
  1. Step
  Anzahl Verbraucherlasten = 2
  Anzahl Leitungen = 5
  Anzahl Netzeinspeisungen = 1
  Anzahl 2-Wicklungs-Transformatoren = 1
  Anzahl XFormer = 0
  PQ-Knoten: Anzahl Verbraucherlasten NL = 2
  PQ-Knoten: Anzahl Leitungen NLN = 0
  PQ-Knoten: Anzahl Last an 2-Wicklungs-Transformatoren NLT = 0
  PU-Knoten: Anzahl Netzeinspeisungen NN = 0
  Spannungsregler aktiv: Anzahl 2-Wicklungs-Transformatoren NTV = 0
  Längsspannungsregler aktiv: Anzahl XFormer NXV = 0
  Gesamte Scheinleistung S = 0.1 MVA {Summe Einstellwerte S = f (Verbraucherlast und Leitung)}
  Gesamtabweichung |dStot| = 0.00932012 MVA {Summe (S(k) - S) = f (Verbraucherlast und Leitung)}
  Mittlere Abweichung PQ-Knoten |dStot| / |S| = 9.32012 %
  Mittlere Abweichung PU-Knoten |dUsum| / NN = 0 %
  Mittlere Abweichung PU-Knoten |dPsum| / NN = 0 %

Einstellungen der Lastflussiteration
  Max. Anzahl Iterationsschritte = 20
  PQ-Knoten: Genauigkeit dS = 1 %
  PU-Knoten: Genauigkeit dP = 1 %
  PU-Knoten: Genauigkeit dU = -1 %

S : Einstellwert Scheinleistung

```

```

S(k)      : Iterierte Scheinleistung
           Wichtig !!! Es muss gelten: S(k) < S, sonst wird die Lastflussberechnung abgebrochen.
dS(k)     : (S(k) - S) / S
P         : Iterierte Wirkleistung
Q         : Iterierte Blindleistung
cos phi (k) : Iterierter Verschiebungsfaktor
cos phi   : Einstellwert Verschiebungsfaktor

```

Abbildung 89: Load Adjusting: Textausgabe für jeden Iterationsschritt (Auszug)

### 8.21.11 Ausgabe der Lastflussergebnisse - Lastfluss: Ergebnisdatei für DEA

Nachfolgend wird der Inhalt der Textdatei angezeigt, der für jeden Iterationsschritt von **ATPDesigner** ausgegeben wird. Im vorliegenden Beispiel wurde ein Netz mit zwei **Erzeugungsanlage (DEA)** verwendet. Das Modell **Erzeugungsanlage (DEA)** wird für die Nachbildung dezentraler Erzeugungsanlagen verwendet, wenn der stationäre Netzzustand berechnet wird d.h. auch für Lastflussberechnungen. Das Modell ist nicht für die Berechnung dynamischer Netzvorgänge geeignet, wenn eine dezentrale Erzeugungsanlage nachgebildet werden soll. Im Falle der Berechnung dynamischer Netzvorgänge ist das Netzwerkelement **Dezentraler Einspeiser (EMT)** zu verwenden.

- **(3PS)** Messwerte am Netzknoten der Erzeugungsanlage (DEA)
- **(NCP)** Messwerte am Netzanschlusspunkt (NAP)

Die Ergebnisdatei wird von ATPDesigner ausgegeben, wenn die Option **Ergebnisausgabe DEA (Phase Adjusting)** im Einstelldialog **Einstellungen Elektrisches Netz**, Registerkarte **Meldungen** aktiviert ist. Die Datei kann im eingestellten Texteditor mit dem Menüpunkt **Lastfluss: Ergebnisdatei für DEA** im Hauptmenü **Ansicht** geöffnet werden.

```

Einstellwerte: Max. Anzahl Iterationsschritte = 20; Max. Winkel = 1°; Max. S = 1%

Erzeugungsanlage (DEA): 2,5MW [3Ph 1]; .NET-Index=0; Idx=27; Disabled=0; LVRT-Mode=1
Parkregler: Probe-Idx=-1; Aktiv=0; []

Ausgewerter Messort = Prb 7
Mitsystem Iterationsschritt Nr. 2 gemessen am NAP ...
Messwerte: U1 = 11477.8V = 0.994004p.u.; I1 = 93.8417A; PDiffU1I1 = 24.8149°

Mitsystem Iterationsschritt Nr. 2 gemessen am DEA Netzknoten ...
Messwerte: U1 = 11509.2V = 0.996724p.u.; I1 = 96.225A; PDiffU1I1 = 27.3731°

Gegensystem Iterationsschritt Nr. 2 gemessen am NAP ...
Messwerte: U2 = 5.51516e-05V = 4.77627e-09p.u.; I2 = 3.82051e-05A; PDiffU2I2 = -13.4583°

Gegensystem Iterationsschritt Nr. 2 gemessen am DEA Netzknoten ...
Messwerte: U2 = 7.33773e-05V = 6.35466e-09p.u.; I2 = 5.59814e-05A; PDiffU2I2 = -82.12°

2. Iterationsschritt : Betriebsart 'Pn (IL:3p) = const.'; Lastfluss: DEA (Phase Adjusting) Aktiviert
Messort 'Prb 7'
Messort Parkregler 'NAP'
Pn = 2500kW; Un init = 20kV; IL = 96.225A; Sr = 3000kVA
Un(Prb) = 20kV; Un(DEA) = 20kV; Un(DEA)/Un(Prb) = 1
Phasenverschiebung(IL,ULE) = 25.8419°
Verschiebungsfaktor cos phi = 0.9; untererregt; (Einstellwert: 0.9)
Verschiebungsfaktor cos phi (Prb) = 0.907668
Verschiebungsfaktor cos phi (DEA) = 0.887815
ILmax = 120%Inom; ILmax = 96.225A; Sall = 100%; Sdea = 120%
Sn = 3379.08kVA; Sber = 3231.28kVA; dS = -4.37394%
Um = 11.4778kV
UL1 = 11.5092kV; UL2 = 11.5092kV; UL3 = 11.5092kV (DEA)

```

```

U12 = 19.9345kV; U23 = 19.9345kV; U31 = 19.9345kV (DEA)
UL1 = 11.4778kV; UL2 = 11.4778kV; UL3 = 11.4778kV (DEA)
U12 = 19.8801kV; U23 = 19.8801kV; U31 = 19.8801kV (Prb)
Anzahl 1-phasiger Stromquellen N = 3
U> = 1e+15kV; U< = 0kV; Um = 11.4778kV = 0.994004p.u.

LVRT-Mode : Deaktiviert
ULL min = 19.9345kV = 4983.62%; ULE min = 11.5092kV = 4983.62%
U< = 0.352kV = 88%; U> = 0.368kV = 92%; Un = 0.4kV

Ergebnisse von Schritt Nr. 2 ...
Betriebsart: Pnom (Ip:3p) = const.
(Q,P)-Arbeitspunkt liegt AUSSERHALB der P(Q)-Kennlinie --> Änderung des Arbeitspunktes
Alter Arbeitspunkt: P = 2.94969 MW ; Q = -1.52897 Mvar --> Neuer Arbeitspunkt: P = 2.475 MW ; Q = -
1.28292 Mvar

U1 = 11477.8V = 0.994004p.u.; I1 = 93.8417A; PDiff(U1,I1) = 24.8149°

Abweichung des Phasenwinkels: 1: 24.8149°-(25.8419)°=-1.02701° -> -1.02701° (korrigiert);
Betrag des Phasenwinkels: |1.02701°| = 1.02701° ; Summe = 1.02701°
1: PDiff = -1.02701°; Phasenwinkel (1) 2.13353° - -1.02701° >>> (2) 3.16054°
S = 3379.08kVA; Snom = 2787.74kVA; N = 3; Vav = 11.4778kV; Ip = 80.9606A; Vn(3PS)/Vn(Prb) = 1

=====

Anzahl Erzeugungsanlagen (DEA) = 1 (aktiviert und deaktiviert)
Anzahl 1-phasiger aktivierter Stromquellen N = 3
Gesamtabweichung |dPhi| = 1.02701°
Mittlere Abweichung |dPhi| / N = 0.342338°
Summe der Scheinleistungen S = 3379.08kVA
Gesamtabweichung |dS| = 0kVA
Mittlere Abweichung |dS| / N = 0kVA
Mittlere Abweichung |dS| / N = 0%

=====

==== Leiter-Erd-Spannungen am Netzknoten der DEA
=== Nr.; U1 [p.u.]; Winkel U1 [°]; CosPhi; UL1; UL2; UL3 [p.u.]; Anwenderspezifischer Name

1:    0.989481;    49.550339;    0.626604;    0.989283;    0.989283;    0.989283; 2,5MW
2:    0.994004;    24.814918;    0.887815;    0.996724;    0.996724;    0.996724; 2,5MW

=====

```

Abbildung 90: Phase Adjusting: Textausgabe für jeden Iterationsschritt

Bezeichner	Bedeutung
<b>S<sub>all</sub></b> <b>Seza</b>	Teillastfaktor aller Erzeugungsanlagen bzw. Teillastfaktor der <b>Erzeugungsanlage (DEA)</b>
	Die Einstellwerte <b>S<sub>all</sub></b> und <b>S<sub>seza</sub></b> sind im Einstelldialog <b>ATP Einstellwerte</b> , Registerkarte <b>Lastfluss: DEA</b> zu finden.

ATP Einstellwerte																																				
<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> <p>ATP Daten   Lastfluss: Lasten   Lastfluss: Lastfluss: DEA   VDE 0102 (IEC 60909)</p> <p>— Lastflussberechnung DEA</p> <p>Max. Schritte = <input type="text" value="20"/></p> <p>Max. Winkel = <input type="text" value="1"/> °</p> <p>Max. S = <input type="text" value="1"/> %</p> <p>PhHyst = <input type="text" value="0.1"/> °</p> <p>PQ Hyst = <input type="text" value="1"/> %</p> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>Pmax, Smax</p> <p>s = <input type="text" value="100"/> %Pn, %Sn</p> <p style="color: red; font-weight: bold; text-align: center;">Sall</p> </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Bezeichner</th> <th>s [%Pn, %Sn]</th> <th>Akt./Ina.</th> <th>Name des Netzwerkelementes</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>3Ph 1</td><td>100</td><td>Aktiviert</td><td>3Ph 1</td></tr> <tr><td>2</td><td>3Ph 3</td><td>100</td><td>Aktiviert</td><td>3Ph 3</td></tr> <tr><td>3</td><td>3Ph 4</td><td>100</td><td>Aktiviert</td><td>3Ph 4</td></tr> <tr><td>4</td><td>3Ph 2</td><td>100</td><td>Aktiviert</td><td>3Ph 2</td></tr> <tr><td>5</td><td>3Ph 5</td><td>100</td><td>Aktiviert</td><td>Netz</td></tr> <tr><td colspan="5" style="text-align: center; color: red; font-weight: bold;">Seza</td></tr> </tbody> </table> </div>		Nr.	Bezeichner	s [%Pn, %Sn]	Akt./Ina.	Name des Netzwerkelementes	1	3Ph 1	100	Aktiviert	3Ph 1	2	3Ph 3	100	Aktiviert	3Ph 3	3	3Ph 4	100	Aktiviert	3Ph 4	4	3Ph 2	100	Aktiviert	3Ph 2	5	3Ph 5	100	Aktiviert	Netz	Seza				
Nr.	Bezeichner	s [%Pn, %Sn]	Akt./Ina.	Name des Netzwerkelementes																																
1	3Ph 1	100	Aktiviert	3Ph 1																																
2	3Ph 3	100	Aktiviert	3Ph 3																																
3	3Ph 4	100	Aktiviert	3Ph 4																																
4	3Ph 2	100	Aktiviert	3Ph 2																																
5	3Ph 5	100	Aktiviert	Netz																																
Seza																																				
<b>Sberl</b>	Im Iterationsschritt berechnete Scheinleistung																																			
<b>dS</b>	Abweichung der eingestellten zur im Iterationsschritt berechneten Scheinleistung $dS = \frac{S_{ber} - S_n}{S_n}$																																			
<b>Sn</b>	Nennscheinleistung unter Berücksichtigung der Teillastfaktoren																																			
<b>Um</b>	Mittlere virtuelle Leiter-Erd-Spannung zur Berechnung des Einspeisestromes																																			
<b>N</b>	Anzahl 1-phasiger Stromeinspeisung der dezentralen Erzeugungsanlagen																																			
<b>U1</b>	Betrag der Spannung im Mitsystem																																			
<b>I1</b>	Betrag des Stromes im Mitsystem																																			
<b>PDiffU111</b>	Phasenverschiebung des Mitsystemstromes gegenüber der Mitsystemspannung																																			

### 8.21.12 Ausgabe der Lastflussinformationen LF> im Meldungsfenster

Im **Meldungsfenster** werden zu den einzelnen Iterationsschritten der Lastflussberechnung Informationen ausgegeben. Ein Beispiel ist nachfolgend dargestellt. Die der Lastflussberechnung zugeordneten Informationen werden am Zeilenanfang mit der Kennung **LF>** gekennzeichnet.

```

x > ATPDesigner CPU Zeit 0.255s
--- Netzberechnung beendet: 0 Fehler, 0 Warnungen gefunden. ---

TIME> Überprüfe .LST-Datei=101.000000ms, Analyse Netzschutz=0.000000ms
LF> Transformator ONT [Tra 2]: Stufenschalter Position Wicklung B 5->8
LF> Genauigkeit dPhi=50.5151°, dPhiS=0.34109kVA=0.354195%, dS=11.1749%, dP=0%, dU=0%, TrStep=1

Lastfluss: Last- und PV-Iteration N=2
> Netztopologie überprüfen ...
>> Alle Netzwerkelemente sind o.k.

```

### Abbildung 91: Lastflussinformationen im Meldungsfenster

#### 8.21.12.1 LF> Transformator ONT [Tra 2]: Stufenschalter Position Wicklung B ...

Das Beispiel in Abbildung 80 zeigt, dass der Transformator die Stufung des Stufenschalters, der an der Wicklung **Wicklung B** arbeitet, von Stufe 5 auf Stufe 8 heraufgestuft hat.

#### 8.21.12.2 LF> Genauigkeit dS=..., dP=..., dU=..., TrStep=1

In dieser Ausgabezeile sind die Kriterien dargestellt, mit denen die Konvergenz der Lastflussberechnung überwacht wird.

Bezeichner	Bedeutung
dS	Abweichung der Scheinleistung der <b>PQ-Knoten (Lasten)</b> von der installierten Gesamtscheinleistung
dP	Abweichung der Wirkleistung der <b>PU-Knoten (Netzeinspeisungen)</b> von der installierten Gesamtwirkleistung
dU	Abweichung der Knotenspannungen der <b>PU-Knoten (Netzeinspeisungen)</b> von Nennspannung
TrStep = 1	Der Wert <b>TrStep = 1</b> zeigt an, ob ein Stufenschalter eines Transformators nach dem letzten Iterationsschritt der Lastflussberechnung verändert wurde und noch eine weitere Netzberechnung erforderlich ist, damit die veränderte Stufung in der Lastflussberechnung berücksichtigt wird.

#### 8.21.12.3 LF> Genauigkeit dS=..., dP=..., dU=..., TrStep=0

Wurde die Stufung der Stufenschalter der Transformatoren berücksichtigt, so muss der Parameter **TrStep = 0** anzeigen.

```

>> Fehler für Asynchronmaschinen (Type56) : 0
>> Laufzeitfehler 'Temporary error stop in' : 0
>> Fehler in MODELS : 0
>> Fehler im Transformator (XFORMER) : 0
> ATPDesigner CPU Zeit 0.251s
--- Netzberechnung beendet: 0 Fehler, 0 Warnungen gefunden. ---

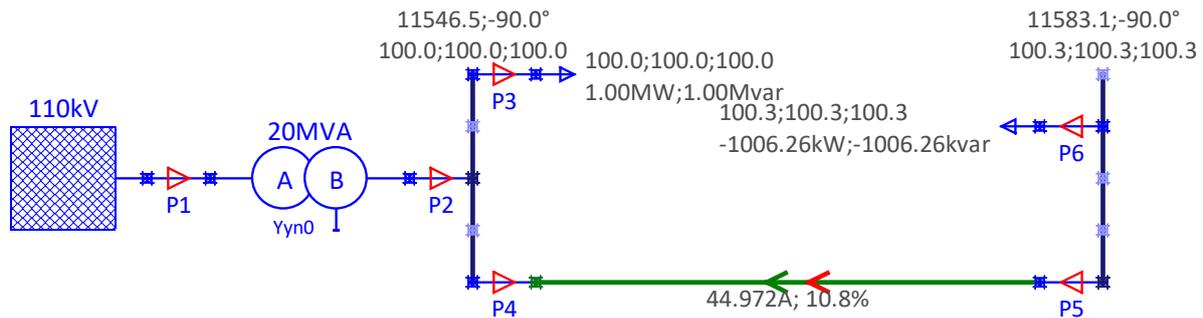
TIME> Überprüfe .LST-Datei=115.000000ms, Analyse Netzschutz=0.000000ms
LF> Genauigkeit dPhi=0.0195686°, dPhiS=0.0330978kVA=0.0343695%, dS=0.877639%, dP=0%, dU=0%, TrStep=0
> Netztopologie überprüfen ...
>> Alle Netzwerkelemente sind o.k.
<

```

Abbildung 92: TrStep = 0 : Stufenschalter wurde berücksichtigt

#### 8.21.13 Schrägeregler-Transformatoren in der Lastflussberechnung

Wird eine Lastflussberechnung in einem symmetrischen Stromnetz, d.h. eine Lastflussberechnung nur im Mitsystem durchgeführt, so kann ein Schrägeregler-Transformator vereinfacht durch zwei Lastimpedanzen mit dem Netzwerkelement **Verbraucherlast** nachgebildet werden. Es muss hier beachtet werden, dass es sich nur um eine Nachbildung im Mitsystem handelt.



**Abbildung 93: Einfaches Modell eines Schrägregler-Transformators in der Lastflussberechnung**

In dem Beispiel in obiger Abbildung wurden folgende Werte für die Lasten gewählt. Die Lasten **Last 2** (Messort P4) und **Last 3** (Messort P5) werden als Mitsystemmodell für den Schrägregler-Transformator verwendet.

- **Last 1** : P = 1MW, Q = 0MVA (Messort P3)
- **Last 2** : P = 1MW, Q = 1MVA (Messort P4) → Leistungsbezug
- **Last 3** : P = -1MW, Q = -1MVA (Messort P5) → Leistungseinspeisung

## 8.22 Kurzschlusswerte $S_k$ und $I_k$ für alle Sammelschienen berechnen

ATPDesigner bietet die Möglichkeit, die Kurzschlussleistung  $S_k$  und den Kurzschlussstrom  $I_k$  für den Fall eines 3-poligen Kurzschlusses mit Erde (3pE) an den Sammelschienen eines Stromversorgungsnetzes automatisiert zu berechnen. Die Ergebnisse werden in der Netzgrafik und im **Meldungsfenster** und in der Registerkarte **Kurzschluss** des Dialogs **Liste der Betriebsmitteldaten** im Hauptmenü **Netzwerk** angezeigt. In Abbildung 94 der nachfolgenden Abbildung ist beispielhaft das Ergebnis dargestellt.

Die Berechnung der Kurzschlussleistung kann nach dem Überlagerungsverfahren basierend auf einer Knotenpotentialanalyse des elektrischen Netzes erfolgen oder in Anlehnung an die Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102. Ist die Option VDE 0102 aktiviert, so wird die Kurzschlussleistung mit Hilfe der **Methode der Ersatzspannungsquelle** nach VDE 0102 berechnet. Es gelten die Einstellwerte in dem Einstelldialog des Berechnungsverfahrens nach VDE 0102. Dabei wird intern die Ersatzspannungsquelle an den jeweiligen Sammelschienen angeschlossen, um den 3-poligen Erdkurzschlussstrom zu berechnen.

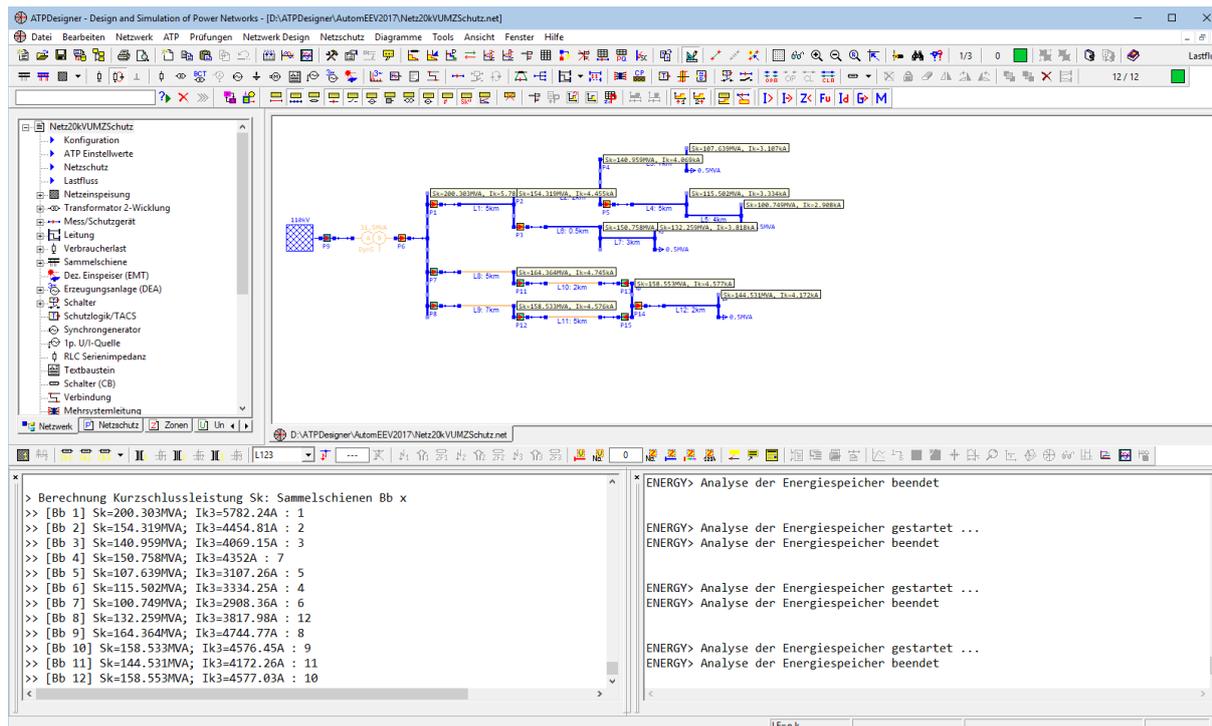


Abbildung 94: Berechnung der Kurzschlussleistung  $S_k$

Die Berechnung der Kurzschlussleistungen  $S_k$  wird durch den Toolbar-Button oder den Menüpunkt **Kurzschlussleistung berechnen** im Hauptmenü **ATP** gestartet. ATPDesigner parametrisiert nacheinander einen 3-poligen Erdkurzschluss (3pE) an den Sammelschienen und berechnet den gegen Erde fließenden 3-poligen Kurzschlussstrom  $I_{k3pE}$ .

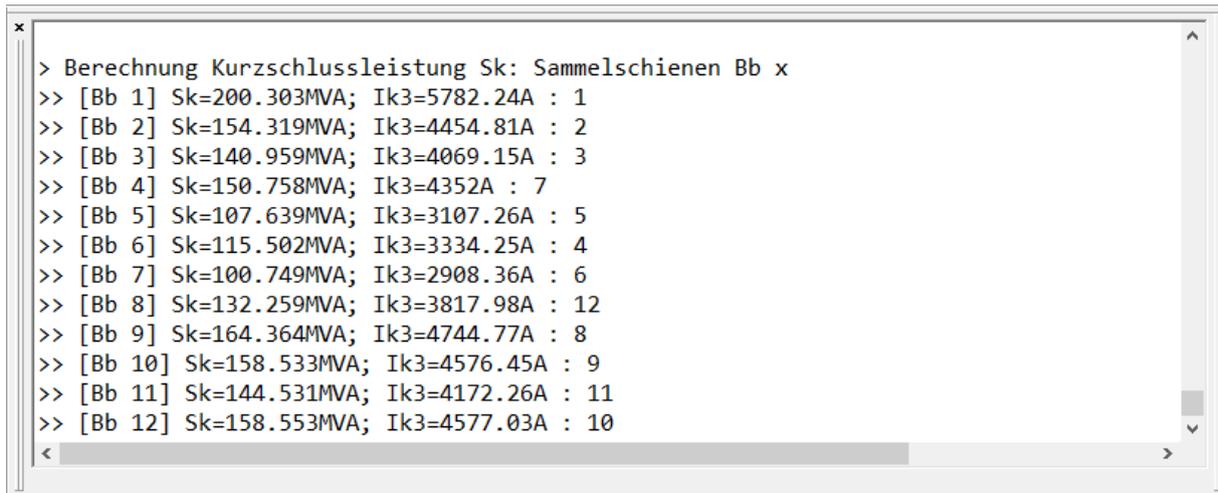
$$S_k = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_k$$

Im Meldungsfenster wird zusätzlich zur Kurzschlussleistung der 3-polige Erd-Kurzschlussstrom  $I_{k3}$  ausgegeben. Die Anzeige der Kurzschlussleistung in der Netzgrafik kann mit dem Toolbar-Button entfernt werden. Sind Schutzfunktionen von Schutzgeräten aktiviert, werden die Ergebnisse Schutzanalyse in der Netzgrafik angezeigt. Die Anzeige der Netzgrafik kann mit den Toolbar-Buttons



oder dem Hauptmenü **Netzschutz** ausgeschaltet werden.

Die für jede Sammelschiene berechneten Kurzschlussleistungen  $S_k$  und Kurzschlussströme  $I_k$  werden im Meldungsfenster ausgegeben und können in die Zwischenablage kopiert werden.

A screenshot of a software window titled 'x' in the top-left corner. The window contains a list of calculation results for short-circuit power (Sk) and short-circuit current (Ik3) for 12 busbars (Bb). The text is as follows:

```
> Berechnung Kurzschlussleistung Sk: Sammelschienen Bb x
>> [Bb 1] Sk=200.303MVA; Ik3=5782.24A : 1
>> [Bb 2] Sk=154.319MVA; Ik3=4454.81A : 2
>> [Bb 3] Sk=140.959MVA; Ik3=4069.15A : 3
>> [Bb 4] Sk=150.758MVA; Ik3=4352A : 7
>> [Bb 5] Sk=107.639MVA; Ik3=3107.26A : 5
>> [Bb 6] Sk=115.502MVA; Ik3=3334.25A : 4
>> [Bb 7] Sk=100.749MVA; Ik3=2908.36A : 6
>> [Bb 8] Sk=132.259MVA; Ik3=3817.98A : 12
>> [Bb 9] Sk=164.364MVA; Ik3=4744.77A : 8
>> [Bb 10] Sk=158.533MVA; Ik3=4576.45A : 9
>> [Bb 11] Sk=144.531MVA; Ik3=4172.26A : 11
>> [Bb 12] Sk=158.553MVA; Ik3=4577.03A : 10
```

The window has a standard Windows-style scrollbar on the right side.

**Abbildung 95: Ausgabe von Kurzschlussleistung und Kurzschlussstrom im Meldungsfenster**

Die Anzeige der Tooltips mit Kurzschlussleistung und Kurzschlussstrom kann mit dem Toolbar-Button  ein- und ausgeschaltet werden.

## 9 Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 (IEC 60909)

ATPDesigner ermöglicht die Berechnung des **Anfangs-Kurzschlusswechselstroms  $I_k$**  sowie weiterer Kennwerte in Anlehnung an

- **DIN EN 60909-0 (VDE 0102):2002-07 (IEC 60909-0:2002-07)**<sup>4</sup> oder
- **DIN EN 60909-0 (VDE 0102):2016-12 (IEC 60909-0:2016-12)**<sup>5</sup>

nach dem **Verfahren der Ersatzspannungsquelle an der Kurzschlussstelle**. Unterschiede zwischen den beiden Versionen werden in diesem Handbuch nicht vollständig, sondern nur so weit wie es zum grundsätzlichen Verständnis der Berechnungsverfahren, der Implementierung in ATPDesigner und der daraus resultierenden Berechnungsergebnisse erforderlich ist, beschrieben.

Die Kurzschlussstromberechnung nach **DIN EN 60909-0 (VDE 0102)** wird in der Registerkarte **VDE 0102 (IEC 60909)** des Einstelldialogs **ATP Einstellwerte** aktiviert und eingestellt.

- Hauptmenü **Netzwerk**
- Menüpunkt **ATP Einstellwerte**, Registerkarte **VDE 0102 (IEC 60909)**

Die Ersatzspannungsquelle wird mit Hilfe des **Kurzschlusses (roter Blitz)** an einen beliebigen Netzknoten z.B. eine Sammelschiene oder auch an einen beliebigen Ort entlang einer Leitung angeschaltet. ATPDesigner ersetzt intern den Kurzschluss durch die Ersatzspannungsquelle. Die eingestellte Kurzschlussart z.B. L123E wird als Kurzschlussart für die Kurzschlussberechnung nach **DIN EN 60909-0 (VDE 0102)** übernommen.

- ⇒ Die Implementierung der Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 in ATPDesigner basiert auf den o.g. Normen<sup>4,5</sup>, wendet diese aber nicht vollständig an. Daher ist es möglich, dass die in ATPDesigner mit aktivierter Option **VDE 0102 (IEC 60909)** berechneten Kurzschlussströme eine von den o.g. Normen<sup>4,5</sup> abweichende Genauigkeit aufweisen, wenn die in der Norm beschriebenen Modelle der Netzbetriebsmittel sowie die in der Norm beschriebenen Rechenvorschriften insbesondere die Berechnungsmethodik mit Symmetrischen Komponenten als Referenz herangezogen wird. Die Berechnung der Kurzschlussströme erfolgt in ATPDesigner nicht mit Symmetrischen Komponenten, sondern im natürlichen System (L123-System). **Im Folgenden wird in diesem Handbuch der in ATPDesigner implementierte Teil der o.g. Normen<sup>4,5</sup> kurz als Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 oder kurz VDE 0102 bezeichnet.**

- ⇒ **Generell muss beachtet werden, dass die in ATPDesigner implementierte Kurzschlussstromberechnung in Anlehnung nach DIN EN 60909-0 (VDE 0102) nur für Lehr- und Ausbildungszwecke zu verwenden ist, nicht aber für die Planung oder Überprüfung von Stromversorgungsnetzen oder vergleichbaren Zwecken. Auch sind nicht alle Teile der Norm DIN EN 60909-0 (VDE 0102) vollständig implementiert.**



<sup>4</sup> **DIN EN 60909-0 (VDE 0102):2002-07**; Kurzschlussströme in Drehstromnetzen; Teil 0: Berechnung der Ströme (IEC 60909-0:2001)

<sup>5</sup> **DIN EN 60909-0 (VDE 0102):2016-12**; Kurzschlussströme in Drehstromnetzen; Teil 0: Berechnung der Ströme (IEC 60909-0:2016)

- ⇒ Bei der Verwendung der Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 in ATPDesigner müssen die Erläuterungen und Einschränkungen in allen Kapiteln des vorliegenden Handbuches unbedingt beachtet werden. Darüber hinaus ersetzt das vorliegende Handbuch nicht ein intensives Studium der aktuell gültigen oder auch schon nicht mehr gültigen Versionen der Norm VDE 0102 (IEC 60909). Auch ist nicht ausgeschlossen, dass in diesem Handbuch Normverfahren und Normbegriffe ggfs. unvollständig oder fehlerhaft oder missverständlich dargestellt und/oder verwendet werden.

Die Überwachung der Netzspannung wird auch während der Kurzschlussstromberechnung nach **VDE 0102** durchgeführt. Die Ergebnisse werden im **Meldungsfenster** ausgegeben.

Die Ergebnisse der Kurzschlussstromberechnung werden in einem Bericht (.XML-Datei) [21] im **Projektverzeichnis** gespeichert. Die nachfolgende Abbildung zeigt beispielhaft einen Teil des Berichtes. Der Dateiname des Berichtes ist wie folgt definiert. Der **NetDateiname** ist der Dateiname der zugehörigen **.NET-Datei**.

**JJJJMMThhmmss\_NetDateiname\_KS0102.xml**

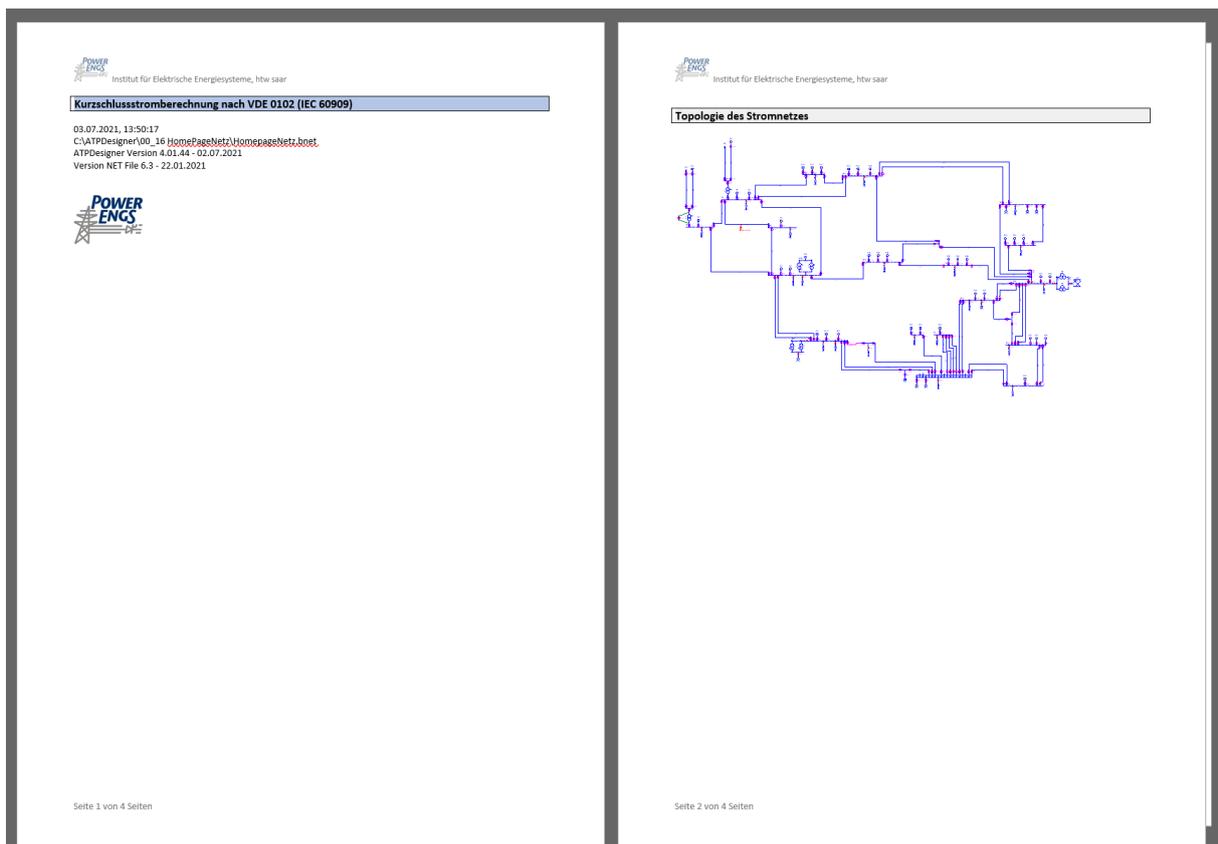


Abbildung 96: Ausgabe der Kurzschlussstromberechnung als Bericht (.XML-Datei [21])

## 9.1 Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 und Schutzfunktionen

Die Schutzfunktionen der **Mess/Schutzgeräte** werden bei aktiver Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 (IEC 60909) nicht ausgeführt. Die Schutzfunktionen werden nach einer Information des Anwenders vor Beginn der Kurzschlussstromberechnung

nach VDE 0102 (IEC 60909) deaktiviert. Nach beendeter Kurzschlussstromberechnung wird der vorherige Zustand wiederhergestellt.

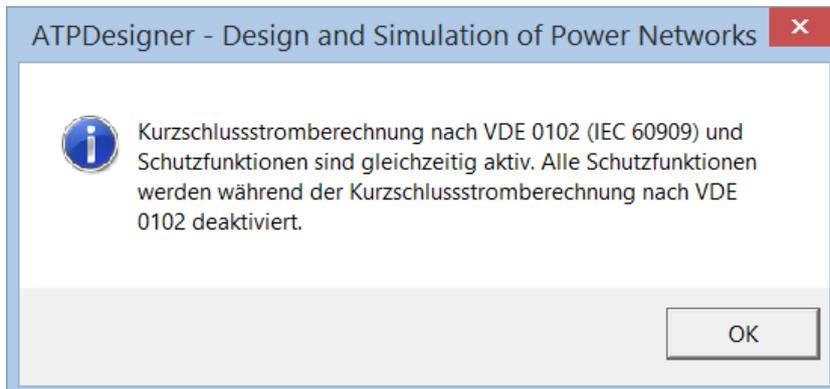


Abbildung 97: VDE 0102 - Fehlermeldung bei nicht deaktivierten Schutzgeräten

## 9.2 Einstelldialog zur Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102

Der Einstelldialog zur Parametrierung der Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 ist nachfolgend dargestellt.

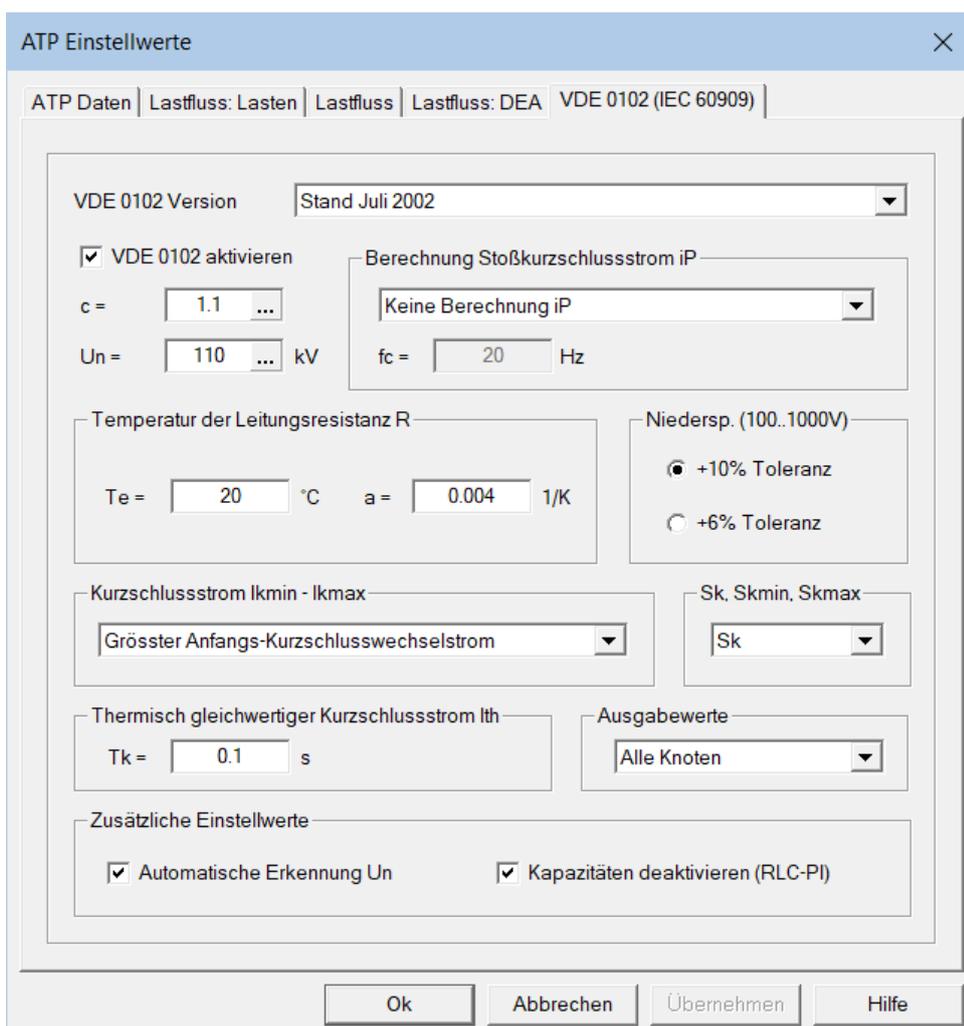


Abbildung 98: Einstelldialog zur Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102

Einstellwert	Bedeutung
<b>VDE 0102 Version</b>	<p>Die Kurzschlussstromberechnung kann zwischen verschiedenen Normstandards ausgewählt werden.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Stand Juli 2002</b> Kurzschlussstromberechnung nach DIN EN 60909-0 (VDE 0102):2002-7</li> <li>▪ <b>Stand Dezember 2016</b> Kurzschlussstromberechnung nach DIN EN 60909-0 (VDE 0102):2016-12</li> <li>▪ <b>Stand Dezember 2016 (mod)</b> Kurzschlussstromberechnung nach DIN EN 60909-0 (VDE 0102):2016-12 mit einer gegenüber der Norm modifizierten Berücksichtigung des Kurzschlussstrombeitrages von Erzeugungsanlagen mit Vollumrichter (Netzstromrichter)</li> </ul>
<b>VDE 0102 aktivieren</b>	Die Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 wird ein- oder ausgeschaltet.
<b>c</b>	<p><b>Spannungsfaktor c</b> für die Ersatzspannungsquelle an der Kurzschlussstelle zur Berechnung des kleinsten oder größten Kurzschlussstroms, abhängig von der Nennspannung <math>U_n</math> an der Kurzschlussstelle</p> <p>Die Normen enthalten hier verschiedene Normvorgaben.</p>
<b>Un</b>	Nennspannung der Ersatzspannungsquelle an der Kurzschlussstelle in kV
<b>Automatische Erkennung Un</b>	Liegt der Kurzschlussort an einem der nachfolgend aufgelisteten Betriebsmittel, so wird die Nennspannung des Betriebsmittels automatisch als Nennspannung der Ersatzspannungsquelle übernommen, falls die Option aktiviert ist.
<b>Kapazitäten deaktivieren (RLC-PI)</b>	Falls die Option aktiviert ist, werden die Kapazitäten der Leitungen für das RLC-PI-Leitungsmodell für die Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 temporär deaktiviert d.h. netzphysikalisch nicht berücksichtigt.
<b>fc</b>	Ersatzfrequenz $f_c$ der Ersatzspannungsquelle in Hz
<b>Te</b>	<p>Temperatur der Leiterseile am Ende der Kurzschlussdauer zur Berechnung der Resistanz</p> $R = \left[ 1 + \alpha \cdot (T_e - 20^\circ\text{C}) \right] \cdot R_{20}$ <p><math>R_{20}</math>    Resistanz bei einer Temperatur von 20°C  <math>\alpha</math>      Temperaturkoeffizient <math>\alpha</math></p> <p>Für die Leiterseiltemperatur <math>T_e</math> wird eine Temperatur eingestellt, wenn die Berechnung des größten oder kleinsten Kurzschlussstromes ausgewählt wird. Die vorgeschlagene Temperatur kann manuell verändert werden.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Größter Anfangs-Kurzschlusswechselstrom:</b> <math>T_e = 20^\circ</math></li> <li>▪ <b>Kleinster Anfangs-Kurzschlusswechselstrom:</b> <math>T_e = 140^\circ</math></li> </ul>
<b>a</b>	Temperaturkoeffizient $\alpha$ in 1/K

<b>Ausgabewerte</b>	<p>Mit dem Einstellwert kann eingestellt werden, für welche Netzknoten Spannungen und Ströme in Tooltips an der Mauscursorposition angezeigt werden.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Nur Kurzschlussort</b> Es wird nur am Kurzschlussort (<b>roter Blitz</b>) der Tooltip an der Mauscursorposition angezeigt.</li> <li>▪ <b>Alle Knoten</b> Die Ergebnisse der Kurzschlussstromberechnung werden für alle Netzwerkelemente in einem Tooltip an der Mauscursorposition angezeigt.</li> </ul> <p>Ist nur der Kurzschlussstrom an der Kurzschlussstelle von Interesse, so kann mit der Einstellung <b>Nur Kurzschlussort</b> die Rechenzeit erheblich reduziert werden. Diese Einstellung kann vor allem für die VDE 0102 basierten Kurzschlussstromberechnungen für <math>S_k</math> und <math>I_k</math> für alle Sammelschienen oder die Berechnung des thermisch gleichwertigen <b>Kurzschlussstrom <math>I_{th}</math></b> die Gesamtrechenzeit deutlich verringern.</p> <p>Es muss hier beachtet werden, dass die Tooltips für die Netzwerkelemente z.B. mit einer Toolbar auch für die Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 ein- und ausgeschaltet werden können.</p>
<b><math>S_k</math>, <math>S_{kmin}</math>, <math>S_{kmax}</math></b>	<p>Für die <b>Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102</b> kann gleichzeitig für alle <b>Netzeinspeisungen</b> die Kurzschlussleistung <b><math>S_k</math></b>, die minimale Kurzschlussleistung <b><math>S_{kmin}</math></b> oder die maximale Kurzschlussleistung <b><math>S_{kmax}</math></b> ausgewählt werden. Die Kurzschlussleistungen können für jede Netzeinspeisung getrennt eingestellt werden.</p> <p>Es wird in Anlehnung an die Norm VDE 0102 empfohlen, zur Berechnung des größten Anfangs-Kurzschlusswechselstromes <math>I''_{kmax}</math> die Kurzschlussleistung <math>S_{kmax}</math> und zur Berechnung des kleinsten Anfangs-Kurzschlusswechselstromes <math>I''_{kmin}</math> die Kurzschlussleistung <math>S_{kmin}</math> einzustellen und zu verwenden.</p> <p>Der Einstellwert ist auch im Einstelldialog <b>Einstellwerte Netzschutz und Kurzschluss</b> in der Registerkarte <b>Netzschutz Analyse</b> enthalten.</p>

⇒ **Vor der Anwendung der in ATPDesigner implementierten Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 sollten unbedingt die Normen DIN EN 60909-0:2xxx<sup>4,5</sup> vollständig gelesen werden. Das vorliegende Tutorial ersetzt nicht die detaillierte Kenntnis und ein vertieftes Verständnis der Kurzschlussstromberechnung entsprechend den genannten Normen<sup>4,5</sup>.**



Hat sich die Nennspannung der Ersatzspannungsquelle geändert, weil z.B. eine Sammelschiene einen anderen Nennspannung für die Kurzschlussstromberechnung verwendet wird, so wird der Spannungsfaktor  $c$  neu berechnet.

### 9.2.1.1 Einstellwerte der Gruppe Niedersp. (100..1000V)

In Niederspannungsnetzen muss für die Berechnung des größten Anfangs-Kurzschlusswechselstromes hinsichtlich des Spannungsfaktors  $c_{max}$  zwischen Netzen mit einer maximal zulässigen Spannung von 106%  $U_n$  und 110%  $U_n$  unterschieden werden<sup>4,5</sup>. Der Spannungsfaktor  $c_{max}$  wird für die Berechnung der Impedanzkorrekturfaktoren  $K_T$  für Transformatoren und  $K_G$  für Synchrongeneratoren verwendet.

- **+6% Toleranz:** maximal zulässige Netzspannung 106%  $U_n$
- **+10% Toleranz:** maximal zulässige Netzspannung 110%  $U_n$

Die Anzeige der berechneten Kurzschlussströme etc. erfolgt in einem Tooltip, der angezeigt wird, wenn der Mauscursor "über" den [Kurzschlussort](#) (**roter Blitz**) bewegt wird.

Kurzschlussstrom $I_{kmin} - I_{kmax}$	
<b>Größter Anfangs-Kurzschlusswechselstrom</b>	Berechnung des größten Anfangs-Kurzschlusswechselstroms $I''_{kmax}$
<b>Kleinster Anfangs-Kurzschlusswechselstrom</b>	Berechnung des kleinsten Anfangs-Kurzschlusswechselstroms $I''_{kmin}$

Mit der Auswahl des kleinsten oder größten Anfangs-Kurzschlusswechselstroms werden von ATPDesigner einige Anpassungen bzgl. der Spannungsfaktoren für die einzelnen Betriebsmittel nach VDE 0102 durchgeführt:

- Spannungsfaktor  $c$  der Ersatzspannungsquelle an der Kurzschlussstelle
- Spannungsfaktor  $c_Q$  für die Netzeinspeisungen
- Leiterseiltemperatur  $T_e$

Diese automatischen Anpassungen können durch den Anwender verändert werden.

### 9.2.2 Einstellung der Kurzschlussleistung $S_{kmin}$ , $S_{kmax}$ für Netzeinspeisungen

Es ist zu beachten, dass abhängig von der Berechnung des kleinsten oder größten Anfangs-Kurzschlusswechselstromes für jede **Netzeinspeisung** die **kleinste und größte Kurzschlussleistung  $S_{kmin}$  und  $S_{kmax}$**  sowie der Spannungsfaktor  $c_Q$  einzustellen ist.

### 9.2.3 Thermisch gleichwertiger Kurzschlussstrom $I_{th}$

Für die Berechnung des thermisch gleichwertigen Kurzschlussstroms  $I_{th}$  wird nach VDE 0102 angenommen, dass der Kurzschluss für die Zeitdauer  $T_k$  ansteht. Die Kurzschlussdauer  $T_k$  wird nach VDE 0102 bei der Berechnung des **thermisch gleichwertigen Kurzschlussstroms  $I_{th}$**  sowie des maximal zulässigen thermisch gleichwertigen Kurzschlussstromes, nach VDE 0276 auch als **Kurzschlussbelastbarkeit  $I_{thz}$**  bezeichnet, verwendet.

Einstellwert	Bedeutung
<b>Tk</b>	Zeitliche Dauer des Kurzschlusses Es sollte hier beachtet werden, dass die zeitliche Dauer des Kurzschlusses von Kurzschlusseintritt bis zur vollständigen Unterbrechung des Kurzschlussstromes zu betrachten ist.

Die Berechnung des thermisch gleichwertigen Kurzschlussstromes kann automatisiert für alle Leitungen und Sammelschienen eines Netzes in dem Dialog **Liste der Betriebsmitteldaten**, Registerkarte **Kurzschluss** durchgeführt werden. Die Vorgehensweise ist in Band 1 [Bd. 1] näher erläutert.

### 9.2.4 Betriebsarten zur Berechnung des Stoßkurzschlussstromes $i_P$

Mit diesem Einstellwert kann das Verfahren zur Bestimmung des R/X-Verhältnisses der Kurzschlussimpedanz an der Kurzschlussstelle nach VDE 0102 ausgewählt werden. Aus dem R/X-Verhältnis wird nach VDE 0102 der  $\kappa$ -Faktor und der Stoßkurzschlussstrom  $i_P$  berechnet.

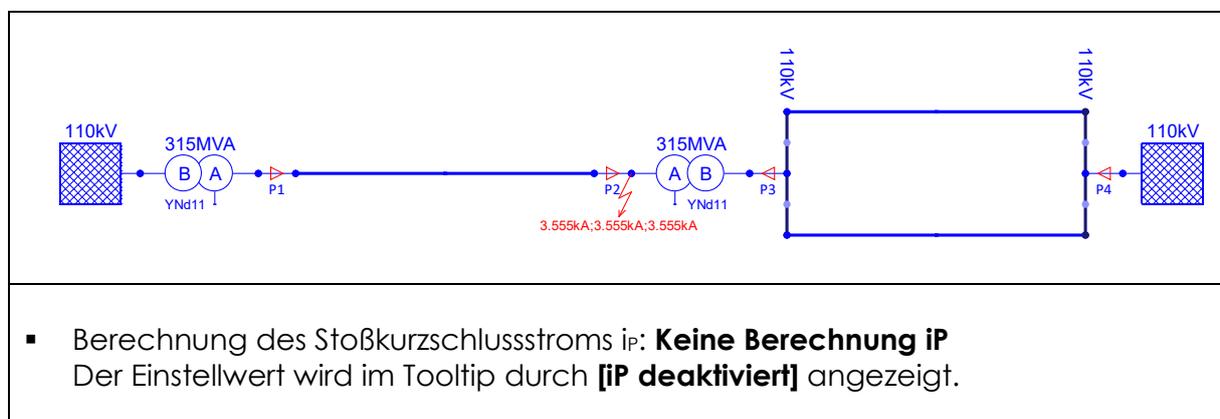
Einstellwert	Bedeutung
<b>Verhältnis R/X an der Kurzschlussstelle</b>	R/X-Verhältnis an der Kurzschlussstelle
<b>Ersatzfrequenz <math>f_c</math></b>	Verfahren der Ersatzfrequenz $f_c$
<b>Keine Berechnung <math>i_P</math></b>	Der Stoßkurzschlussstrom $i_P$ sowie damit verknüpfte Größen wie z.B. der thermisch gleichwertige Kurzschlussstrom $I_{th}$ werden nicht berechnet.

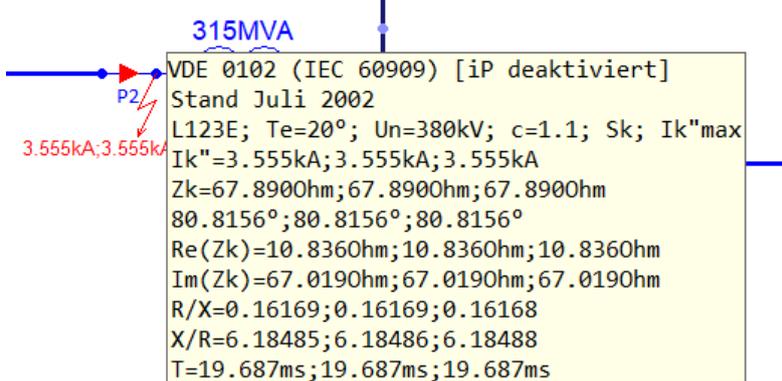
### 9.2.5 Einstellwert *Ausgabewerte* – Reduktion der Rechenzeit für KS-Berechnung

Mit dem Einstellwert *Ausgabewerte* kann die von ATPDesigner benötigte Rechenzeit für die Ausführung einer Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 ggfs. erheblich reduziert werden.

#### 9.2.5.1 Einstellwert *Nur Kurzschlussort, Keine Berechnung $i_P$* – Minimale Rechenzeit

Der Kurzschlussstrom und alle davon abgeleiteten Größen werden nur für den Kurzschlussort, d.h. für den Ort der Ersatzspannungsquelle berechnet. Die Anzeige der VDE 0102 spezifischen Werte in einem Tooltip ist möglich. Es werden keine weiteren Kurzschlusswerte angezeigt. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 für einen 3-poligen Kurzschluss L123. Wird der Mauscursor über dem Kurzschlussort (**roter Blitz**) positioniert, so wird ein Tooltip mit den Berechnungsergebnissen angezeigt. Der Inhalt des Tooltips ist abhängig von der im Einstelldialog ausgewählten Methode **Berechnung Stoßkurzschlussstrom  $i_P$** .

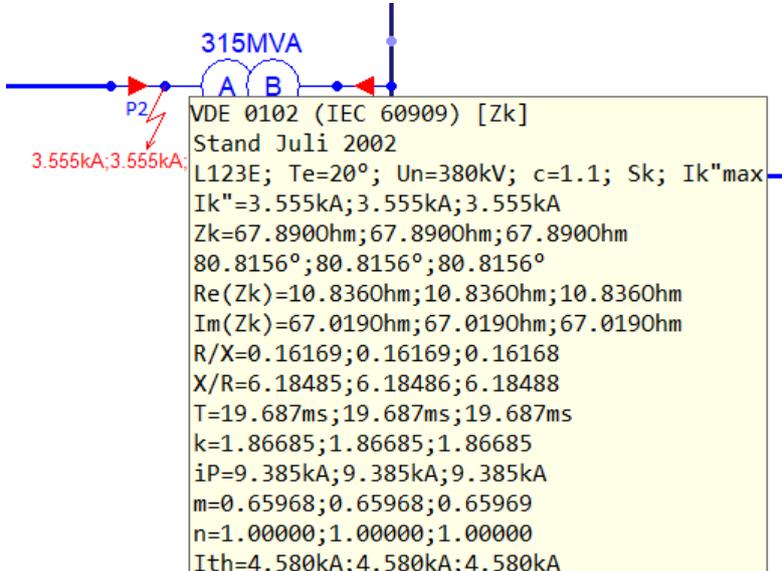




315MVA

VDE 0102 (IEC 60909) [iP deaktiviert]  
Stand Juli 2002  
L123E; Te=20°; Un=380kV; c=1.1; Sk; Ik<sup>max</sup>  
Ik<sup>max</sup>=3.555kA;3.555kA;3.555kA  
Zk=67.8900hm;67.8900hm;67.8900hm  
80.8156°;80.8156°;80.8156°  
Re(Zk)=10.8360hm;10.8360hm;10.8360hm  
Im(Zk)=67.0190hm;67.0190hm;67.0190hm  
R/X=0.16169;0.16169;0.16168  
X/R=6.18485;6.18486;6.18488  
T=19.687ms;19.687ms;19.687ms

- Berechnung des Stoßkurzschlussstroms  $i_P$ : **Verhältnis R/X an der Kurzschlussstelle**  
Der Einstellwert wird im Tooltip durch **[Zk]** angezeigt.



315MVA

VDE 0102 (IEC 60909) [Zk]  
Stand Juli 2002  
L123E; Te=20°; Un=380kV; c=1.1; Sk; Ik<sup>max</sup>  
Ik<sup>max</sup>=3.555kA;3.555kA;3.555kA  
Zk=67.8900hm;67.8900hm;67.8900hm  
80.8156°;80.8156°;80.8156°  
Re(Zk)=10.8360hm;10.8360hm;10.8360hm  
Im(Zk)=67.0190hm;67.0190hm;67.0190hm  
R/X=0.16169;0.16169;0.16168  
X/R=6.18485;6.18486;6.18488  
T=19.687ms;19.687ms;19.687ms  
k=1.86685;1.86685;1.86685  
iP=9.385kA;9.385kA;9.385kA  
m=0.65968;0.65968;0.65969  
n=1.00000;1.00000;1.00000  
Ith=4.580kA;4.580kA;4.580kA

- Berechnung des Stoßkurzschlussstroms  $i_P$ : **Ersatzfrequenz fc**  
Der Einstellwert wird im Tooltip durch **[fc=20Hz]** angezeigt.

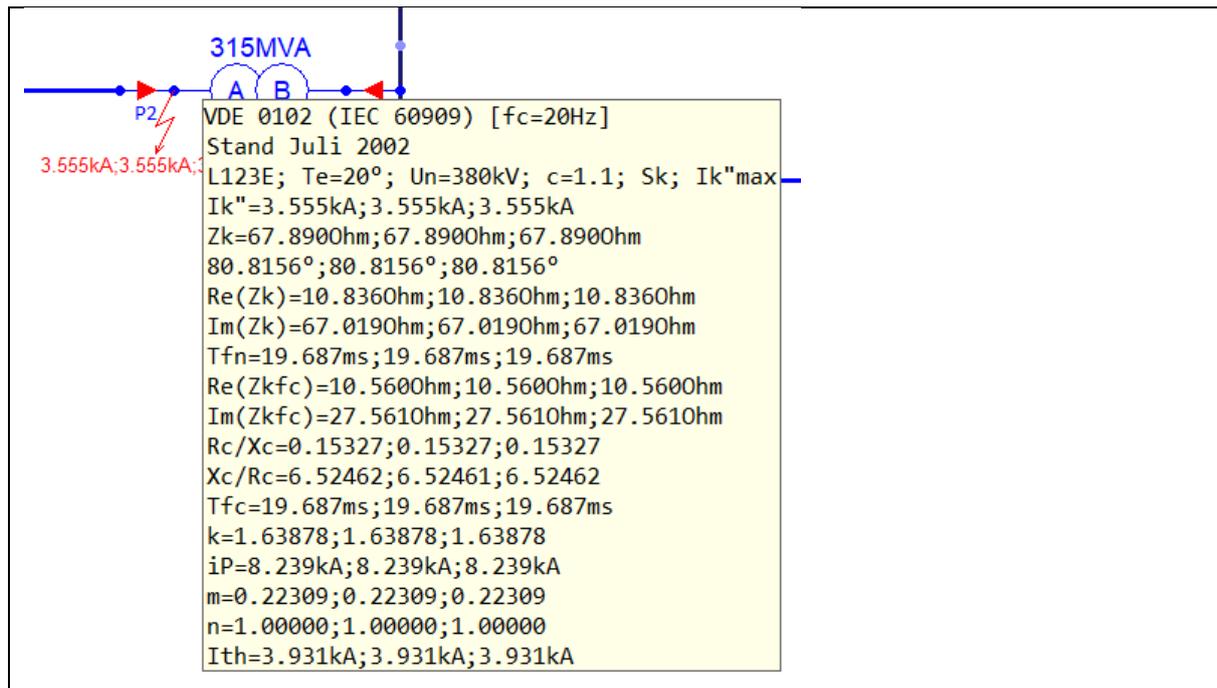


Abbildung 99: Ausgabe der Ergebnisse Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102

### 9.2.5.2 Einstellwert Alle Knoten – Maximale Rechenzeit

In dieser Betriebsart werden für alle Netzwerkelemente Spannungen und Ströme berechnet und in Tooltips angezeigt.

## 9.3 Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 in ATPDesigner

Die Berechnung der Kurzschlussströme nach VDE 0102 mit ATPDesigner verwendet zur Nachbildung des Stromversorgungsnetzes ausschließlich 3-phasige Modelle der darin enthaltenen Betriebsmittel. Die Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 in ATPDesigner erfolgt im natürlichen System (RST- oder L123-System), nicht im System der Symmetrischen Komponenten. Im Gegensatz dazu sieht die Norm EN 60909-0:2xxx eine Kurzschlussstromberechnung mit Hilfe der Symmetrischen Komponenten (012-System) vor.

An der Kurzschlussstelle wird abhängig von der Kurzschlussart eine 1-, 2- oder 3-phasige Spannungsquelle mit oder ohne Erdberührung angeschlossen, um die nach VDE 0102 erforderliche Ersatzspannungsquelle an der Kurzschlussstelle nachzubilden. Im Falle eines 2-poligen Kurzschlusses Leiter-Leiter wird die Spannungsquelle zwischen die kurzschlussbetroffenen Leiter geschaltet. Insofern wird die Ersatzspannungsquelle nach VDE 0102 abhängig von der Kurzschlussart durch 1/2/3-Spannungsquellen nachgebildet.

Bezeichner	Modellierung der Ersatzspannungsquelle
<b>3-poliger Kurzschluss 3pE/3p</b>	3-phasige symmetrische Drehspannungsquelle zwischen dem kurzschlussbetroffenen Netzknoten und Bezugspotential

<b>2-poliger Kurzschluss mit Erdberührung 2pE</b>	2-phasige Spannungsquelle zwischen dem kurzschlussbetroffenen Netzknoten und Bezugspotential mit einer Phasenverschiebung von 120°
<b>2-poliger Kurzschluss ohne Erdberührung 2p</b>	1-phasige potentialfreie Spannungsquelle zwischen den beiden kurzschlussbetroffenen Netzknoten
<b>1-poliger Erdkurzschluss 1pE</b>	1-phasige Spannungsquelle zwischen dem kurzschlussbetroffenen Netzknoten und Bezugspotential

Es ist darauf zu achten, dass das Bezugspotential im Sinne der Knotenpotentialanalyse mit dem Bezugsknoten identisch ist.

### 9.3.1 Kurzschlussimpedanz $\underline{Z}_k$

Die Berechnung der Kurzschlussimpedanz  $\underline{Z}_k$  ist abhängig von der Kurzschlussart und basiert auf der/den Kurzschlussmessschleife(n), die ausgehend von der/den Ersatzspannungsquelle(n) gebildet wird/werden. Beim 3-poligen Kurzschluss ergeben sich somit drei Kurzschlussmessschleifen und drei Kurzschlussimpedanzen, die wegen des symmetrischen Netzes identisch sein müssen. ATPDesigner stellt abhängig von der Kurzschlussart die Kurzschlussimpedanzen für alle Kurzschlussmessschleifen in einem Tooltip dar.

$$\underline{Z}_k = \frac{U_F}{\underline{I}_k} = \frac{c \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3}}}{\underline{I}_k}$$

Es ist darauf zu achten, dass der Wert der von ATPDesigner angezeigten Kurzschlussimpedanz(en) im natürlichen System (RST- oder L123-System) berechnet wird, nicht im 012-System der Symmetrischen Komponenten. Nur im Falle des 3-poligen Kurzschluss sind die Kurzschlussimpedanzen im natürlichen System und im 012-System identisch.

#### 9.3.1.1 Kurzschlussimpedanz $\underline{Z}_k$ und Impedanzen im 012-System

In der nachfolgenden Tabelle ist der Zusammenhang zwischen der von ATPDesigner berechneten und angezeigten Kurzschlussimpedanz und den Kurzschlussimpedanzen des 012-Systems, d.h. des Mitsystems  $\underline{Z}_1$ , des Gegensystems  $\underline{Z}_2$  und des Nullsystems  $\underline{Z}_0$  angegeben. Ursache ist wie schon erläutert die Modellierung der Ersatzspannungsquelle im natürlichen System abhängig von der Kurzschlussart eine 1-, 2- oder 3-phasige Spannungsquelle mit oder ohne Erdberührung. Der Zusammenhang ist nur unter der Bedingung  $\underline{Z}_2 = \underline{Z}_1$  gültig.

Kurzschlussart	Kurzschlussimpedanz und 012-System für $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2$
<b>3pE/3p</b>	$\underline{Z}_k = \underline{Z}_1$
<b>2p</b>	$\underline{Z}_k = \underline{Z}_2$
<b>2pE</b>	$\underline{Z}_k = \underline{Z}_2$
<b>1pE</b>	$\underline{Z}_k = \frac{2 \cdot \underline{Z}_1 + \underline{Z}_0}{3}$

### 9.3.2 Genauigkeiten der Kurzschlussstromberechnung in ATPDesigner

Die Vorschriften der Norm DIN EN 60909-0:2xxx wurden in der Implementierung in ATPDesigner soweit möglich berücksichtigt. Trotzdem sind von der Norm DIN EN 60909-0:2xxx abweichende Genauigkeiten der berechneten Kurzschlussströme nicht auszuschießen.

### 9.3.3 Vorgehensweise für die Kurzschlussstromberechnung in ATPDesigner

Wird mit ATPDesigner eine Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 durchgeführt, wird der [Kurzschluss zur Definition der Kurzschlussstelle](#) verwendet. An Stelle eines niederohmigen Kurzschlusses wird an der Kurzschlussstelle je nach Fehlerart eine, zwei oder drei Spannungsquellen entsprechend dem **Verfahren der Ersatzspannungsquelle an der Kurzschlussstelle** nach VDE 0102 verwendet. Die im natürlichen System (L123) verwendeten Spannungsquellen ergeben sich durch die Transformation der im 012-System nach Norm zu verwendenden Ersatzspannungsquelle.

Kurzschlussart	Spannungsquellen im natürlichen System
<b>3pE/3p</b>	Drei im Sinne eines Drehspannungssystems symmetrische Leiter-Erd-Spannungsquellen an einem gemeinsamen Knoten
<b>2p</b>	Eine potentialfreie 1-phasige Spannungsquelle zwischen zwei Leitern an einem gemeinsamen Knoten
<b>2pE</b>	Zwei Leiter-Erd-Spannungsquellen an einem gemeinsamen Knoten
<b>1pE</b>	Eine Leiter-Erd-Spannungsquelle

Folgende Vorgehensweise wird empfohlen.

1. Kurzschlussstromberechnung nach **VDE 0102 (IEC 60909)** aktivieren
  - a. Einstelldialog **ATP Einstellwerte**  öffnen
  - b. Registerkarte **VDE 0102 (IEC 60909)** (Abbildung 98) öffnen
  - c. Kurzschlussstromberechnung aktivieren **VDE 0102 aktivieren**
2. Einstellwerte definieren
  - a. Registerkarte **ATP Einstellwerte**  öffnen
  - b. Version der Kurzschlussstromberechnung **VDE 0102 Version** auswählen
  - c. **Spannungsfaktor c** für die Ersatzspannungsquelle an der Kurzschlussstelle
  - d. Nennspannung an der Kurzschlussstelle **U<sub>n</sub>** vor Kurzschlusseintritt
  - e. **Betriebsart**, ggfs. Ersatzfrequenz **f<sub>c</sub>** anpassen
  - f. Berechnung des größten oder kleinsten Anfangs-Kurzschlusswechselstroms auswählen
3. Die Spannungsfaktoren **c<sub>q</sub>** werden für alle Netzeinspeisungen nach dem Schließen des Einstelldialogs **ATP Einstellwerte**  automatisch konfiguriert. Trotzdem sollten die **Spannungsfaktoren c<sub>q</sub>** in den Einstelldialogen der Netzeinspeisungen kontrolliert werden.
4. **Kurzschluss (roter Blitz)** an die Kurzschlussstelle setzen 
  - a. jeder Knoten im Netzwerk z.B. an Sammelschienen
  - b. an jeder Position entlang einer Leitung mit Ausnahme der **Leitungen Line 1, Line 2 und Line 3**.

5. Kurzschlussstromberechnung mit  oder **Strg + E** starten
6. Tooltip anzeigen: Mauscursor "über" den **Kurzschluss (roter Blitz)** bewegen
7. Ergebnisse der Kurzschlussstromberechnung (Inhalt des Tooltip) werden zusätzlich im **Meldungsfenster** angezeigt.

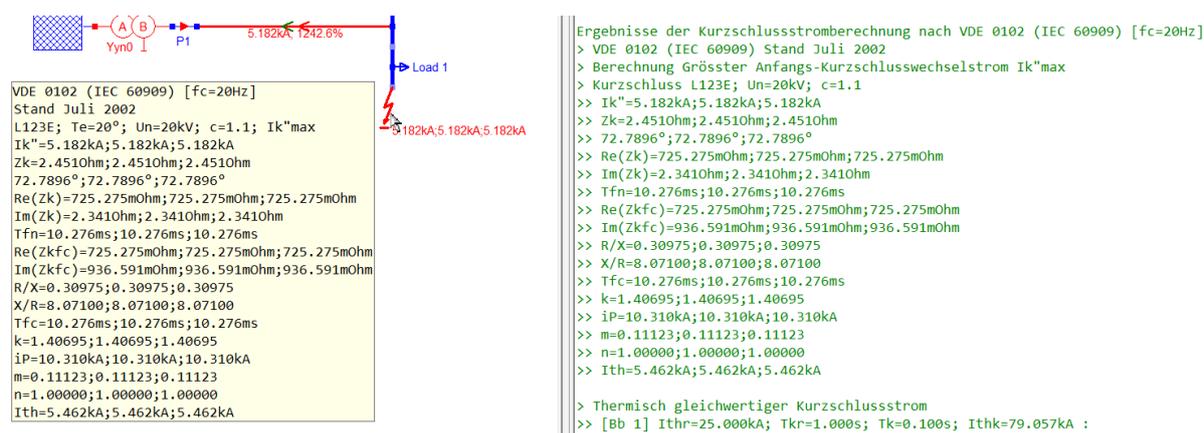


Abbildung 100: Ergebnis nach VDE 0102 in Meldungsfenster und Tooltip

Die nachfolgende Fehlermeldung wird angezeigt, wenn die Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 aktiviert ist und kein **Kurzschluss (roter Blitz)** im Netz verwendet wird.

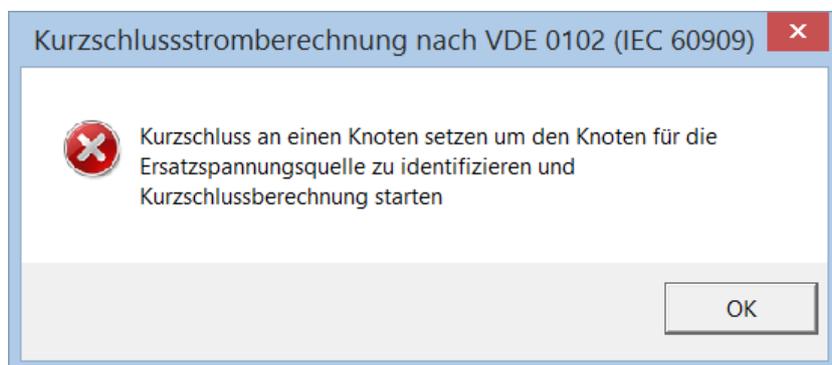


Abbildung 101: Fehlermeldung: Kein Kurzschluss (roter Blitz) im Netz vorhanden

Wird ein 3-poliger Erdkurzschluss (L123E) an einer **Sammelschiene** angeschlossen, so wird die Kurzschlussleistung  $S_k$  berechnet und im **Tooltip der Sammelschiene** ausgegeben.

```

[Bb 1] Bb 1
Einstellwerte: Un=20kV
U12=22.000kV, 110.000%; U23=22.000kV, 110.000%; U31=22.000kV, 110.000%
UL1=12.702kV, 110.000%; UL2=12.702kV, 110.000%; UL3=12.702kV, 110.000%
Ithr=25.000kA; Tkr=1.000s; Ithz=79.0569kA; Tk=0.100s
U1=110.00%; U2=0.00%; U0=0.00%; U2/U1=0.00%; U0/U1=0.00%
Sk"=117.457MVA; Ik3"=3390.7A
  
```

Abbildung 102: Berechnung der Kurzschlussleistung  $S_k$  beim 3-poligen Erdkurzschluss

### 9.3.4 Methode: Verhältnis R/X an der Kurzschlussstelle

Die Berechnung des Anfangs-Kurzschlusswechselstromes  $I_k''$  und des Stoßkurzschlussstroms  $i_P$  erfolgt bei einer Netzfrequenz  $f_n = 50\text{Hz}$ . Als Betriebsart muss im [Einstelldialog](#) **Verhältnis R/X an der Kurzschlussstelle** eingestellt werden. Wird der Mauscursor „über“ den **Kurzschluss (roter Blitz)** positioniert, so werden die nachfolgend gezeigten Tooltips abhängig von der eingestellten Betriebsart der Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 angezeigt.

<p>VDE 0102 (IEC 60909) [Zk] Stand Dezember 2016 L123; <math>T_e=20^\circ</math>; <math>U_n=110\text{kV}</math>; <math>c=1.1</math>; <math>S_k</math>; <math>I_k''^{\text{max}}</math> <math>I_k''^{\text{PF}}(\text{Erzeugungsanlage (DEA)})=120\text{A}; 120\text{A}; 120\text{A}</math> <math>I_k''=11.222\text{kA}; 11.222\text{kA}; 11.222\text{kA}</math> <math>Z_k=6.2920\Omega; 6.2920\Omega; 6.2920\Omega</math> <math>80.5851^\circ; 80.5851^\circ; 80.5851^\circ</math> <math>\text{Re}(Z_k)=1.0290\Omega; 1.0290\Omega; 1.0290\Omega</math> <math>\text{Im}(Z_k)=6.2080\Omega; 6.2080\Omega; 6.2080\Omega</math> <math>R/X=0.16582; 0.16582; 0.16582</math> <math>X/R=6.03081; 6.03081; 6.03081</math> <math>T=19.197\text{ms}; 19.197\text{ms}; 19.197\text{ms}</math> <math>k=1.85831; 1.85831; 1.85831</math> <math>i_P=29.347\text{kA}; 29.347\text{kA}; 29.347\text{kA}</math> <math>m=0.62367; 0.62367; 0.62367</math> <math>n=1.00000; 1.00000; 1.00000</math> <math>I_{\text{th}}=14.300\text{kA}; 14.300\text{kA}; 14.300\text{kA}</math></p>	<p>VDE 0102 (IEC 60909) [Zk] Stand Juli 2002 L123; <math>T_e=20^\circ</math>; <math>U_n=110\text{kV}</math>; <math>c=1.1</math>; <math>S_k</math>; <math>I_k''^{\text{max}}</math> <math>I_k''=11.102\text{kA}; 11.102\text{kA}; 11.102\text{kA}</math> <math>Z_k=6.2920\Omega; 6.2920\Omega; 6.2920\Omega</math> <math>80.5855^\circ; 80.5855^\circ; 80.5855^\circ</math> <math>\text{Re}(Z_k)=1.0290\Omega; 1.0290\Omega; 1.0290\Omega</math> <math>\text{Im}(Z_k)=6.2080\Omega; 6.2080\Omega; 6.2080\Omega</math> <math>R/X=0.16581; 0.16581; 0.16581</math> <math>X/R=6.03104; 6.03104; 6.03104</math> <math>T=19.197\text{ms}; 19.197\text{ms}; 19.197\text{ms}</math> <math>k=1.85832; 1.85832; 1.85832</math> <math>i_P=29.177\text{kA}; 29.177\text{kA}; 29.177\text{kA}</math> <math>m=0.62372; 0.62372; 0.62372</math> <math>n=1.00000; 1.00000; 1.00000</math> <math>I_{\text{th}}=14.147\text{kA}; 14.147\text{kA}; 14.147\text{kA}</math></p>
<b>DIN EN 60909-0 (VDE 0102):2016-12</b>	<b>DIN EN 60909-0 (VDE 0102):2002-07</b>

Abbildung 103: Tooltip – Methode des Verhältnisses R/X an der Kurzschlussstelle

VDE 0102 (IEC 60909) [Zk] Methode des Verhältnisses R/X an der Kurzschlussstelle	
	Version der Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 <ul style="list-style-type: none"> <li>Stand Juli 2002</li> <li>Stand Dezember 2016</li> </ul>
	Ausgewählte Einstellwerte <ul style="list-style-type: none"> <li>Fehlerart z.B. L123E</li> <li>Temperatur <math>T_e</math> der Leiterseile am Ende des Kurzschlusses</li> <li>Nennspannung der Ersatzspannungsquelle an der Kurzschlussstelle</li> <li>Spannungsfaktor der Ersatzspannungsquelle an der Kurzschlussstelle</li> </ul>
$I_k''^{\text{PF}\{\dots\}}$	Summe der Kurzschlussstrombeiträge von Kraftwerken mit Vollumrichter ( <b>Erzeugungsanlagen (DEA)</b> )
$I_k''$	Anfangs-Kurzschlusswechselstrom $I_k''$
$Z_k$	Betrag der Kurzschlussimpedanz an der Kurzschlussstelle
	Phasenwinkel der Kurzschlussimpedanz an der Kurzschlussstelle
$\text{Re}(Z_k)$	Realteil der Kurzschlussimpedanz an der Kurzschlussstelle
$\text{Im}(Z_k)$	Imaginärteil der Kurzschlussimpedanz an der Kurzschlussstelle
<b>R/X</b>	R/X-Verhältnis: $\frac{R}{X} = \frac{\text{Re}(Z_k(f_n))}{\text{Im}(Z_k(f_n))}$
<b>X/R</b>	X/R-Verhältnis
<b>T</b>	Zeitkonstante der Kurzschlussimpedanz $\tau = L / R$
<b>k</b>	$\kappa$ -Faktor
<b>iP</b>	Stoßkurzschlussstrom $i_P$ für die Ersatzfrequenz $f_c$

<b>m</b>	Faktor m zur Berechnung $I_{th}$
<b>n</b>	Faktor n zur Berechnung $I_{th}$
<b>I<sub>th</sub></b>	Thermisch gleichwertiger Kurzschlussstrom $I_{th}$
<b>Sk oder Sk max oder Sk min</b>	Kurzschlussleistung aller <b>Netzeinspeisungen</b> Der Einstellwert <b>Sk, Skmin, Sk max, ...</b> wird im Einstelldialog <b>Einstellungen Netzschutz und Kurzschluss</b> , Registerkarte <b>Netzschutz Analyse</b> eingestellt.

Der Inhalt des Tooltip zeigt die angegebenen Ergebnisse je Kurzschlusschleife im natürlichen System in Abhängigkeit der Fehlerart an. So werden für einen 3-poligen Kurzschluss L123E die Kurzschlusswerte für die kurzschlussbetroffenen Leiter L1, L2 und L3 angezeigt. Am Kurzschlussort wird in der Netzgrafik zusätzlich der Betrag des Anfangskurzschlusswechselstrom  $I_k''$  angezeigt.

### 9.3.4.1 Berechnung des $\kappa$ -Faktor und des Stoßkurzschlussstromes $i_p$

Die Berechnung erfolgt nach den folgenden Gleichungen entsprechend VDE 0102:

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-\frac{R}{X}} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-\left(\frac{\operatorname{Re}(Z_k(f_n))}{\operatorname{Im}(Z_k(f_n))}\right)}$$

$$i_p = 1,15 \cdot \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k''$$

- ⇒ Für die Kurzschlussstromberechnung in ATPDesigner wird der Faktor 1,15 unabhängig vom R/X-Verhältnis der einzelnen Zweige des Netzes **immer** bei der Berechnung des Stoßkurzschlussstroms  $i_p$  berücksichtigt. Nach VDE 0102 (IEC 60909) kann der Faktor 1,15 unberücksichtigt bleiben, wenn in allen Zweigen des Netzes der R/X-Faktor  $< 0,3$  ist.

Der Anfangs-Kurzschlusswechselstrom  $I_k''$  wird abhängig von der eingestellten Version der Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 mit und ohne Berücksichtigung der Kraftwerke mit Vollumrichter ausgewählt und zur Berechnung des Stosskurzschlussstromes verwendet.

### 9.3.5 Methode: Ersatzfrequenz $f_c$

Die Berechnung des Anfangs-Kurzschlusswechselstromes  $I_k''$  erfolgt für eine Netzfrequenz  $f_n = 50\text{Hz}$ , die Berechnung des Stoßkurzschlussstroms  $i_p$  bei der Ersatzfrequenz  $f_c = 20\text{Hz}$ . Als Betriebsart muss im Einstelldialog **Ersatzfrequenz  $f_c$**  eingestellt werden. Wird der Mauscursor über den **Kurzschluss (roter Blitz)** positioniert, so werden die nachfolgend gezeigten Tooltips abhängig von der eingestellten Betriebsart der Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 angezeigt. Die Werte in dem Tooltip haben die in der nachfolgenden Tabelle erläuterten Bedeutungen. Sofern nichts anders erläutert, wurden die Werte für Netznennfrequenz  $f_n$  berechnet.

<p>VDE 0102 (IEC 60909) [fc=20Hz]                  Stand Dezember 2016                  L123E; Te=20°; Un=380kV; c=1.1; Sk; Ik"max                  Ik"PF(Erzeugungsanlage (DEA))=0A;0A;0A                  Ik"=3.555kA;3.555kA;3.555kA                  Zk=67.8900hm;67.8900hm;67.8900hm                  80.8156°;80.8156°;80.8156°                  Re(Zk)=10.8360hm;10.8360hm;10.8360hm                  Im(Zk)=67.0190hm;67.0190hm;67.0190hm                  Tfn=19.687ms;19.687ms;19.687ms                  Re(Zkfc)=10.5600hm;10.5600hm;10.5600hm                  Im(Zkfc)=27.5610hm;27.5610hm;27.5610hm                  Rc/Xc=0.15327;0.15327;0.15327                  Xc/Rc=6.52462;6.52461;6.52462                  Tfc=19.687ms;19.687ms;19.687ms                  k=1.63878;1.63878;1.63878                  iP=8.239kA;8.239kA;8.239kA                  m=0.22309;0.22309;0.22309                  n=1.00000;1.00000;1.00000                  Ith=3.931kA;3.931kA;3.931kA</p> <p><b>DIN EN 60909-0 (VDE 0102):2016-12</b></p>	<p>VDE 0102 (IEC 60909) [fc=20Hz]                  Stand Juli 2002                  L123E; Te=20°; Un=380kV; c=1.1; Sk; Ik"max                  Ik"=3.555kA;3.555kA;3.555kA                  Zk=67.8900hm;67.8900hm;67.8900hm                  80.8156°;80.8156°;80.8156°                  Re(Zk)=10.8360hm;10.8360hm;10.8360hm                  Im(Zk)=67.0190hm;67.0190hm;67.0190hm                  Tfn=19.687ms;19.687ms;19.687ms                  Re(Zkfc)=10.5600hm;10.5600hm;10.5600hm                  Im(Zkfc)=27.5610hm;27.5610hm;27.5610hm                  Rc/Xc=0.15327;0.15327;0.15327                  Xc/Rc=6.52462;6.52461;6.52462                  Tfc=19.687ms;19.687ms;19.687ms                  k=1.63878;1.63878;1.63878                  iP=8.239kA;8.239kA;8.239kA                  m=0.22309;0.22309;0.22309                  n=1.00000;1.00000;1.00000                  Ith=3.931kA;3.931kA;3.931kA</p> <p><b>DIN EN 60909-0 (VDE 0102):2002-07</b></p>
---	---

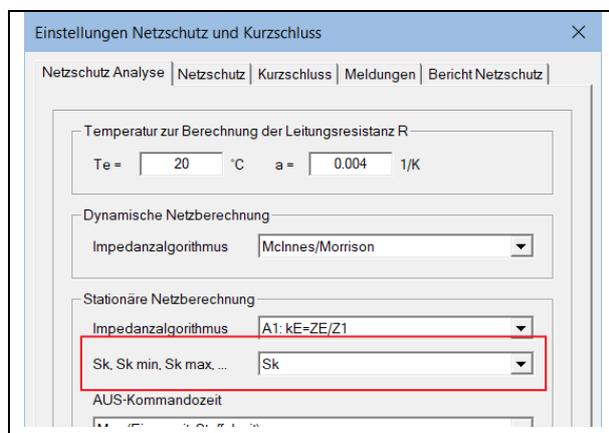
Abbildung 104: Tooltip - Methode der Ersatzfrequenz fc

VDE 0102 (IEC 60909) [fc=20Hz] Methode der Ersatzfrequenz fc	
	Version der Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 <ul style="list-style-type: none"> <li>Stand Juli 2002</li> <li>Stand Dezember 2016</li> </ul>
<b>Ik"PF{...}</b>	Summe der Kurzschlussstrombeiträge von Kraftwerken mit Vollumrichter (Netzwerkelement <b>Erzeugungsanlage (DEA)</b> )
	Ausgewählte Einstellwerte <ul style="list-style-type: none"> <li>Fehlerart z.B. L123E</li> <li>Temperatur Te der Leiterseile am Ende des Kurzschlusses</li> <li>Nennspannung der Ersatzspannungsquelle an der Kurzschlussstelle</li> <li>Spannungsfaktor c der Ersatzspannungsquelle an der Kurzschlussstelle</li> </ul>
<b>Ik"</b>	Anfangs-Kurzschlusswechselstrom Ik"
<b>Zk</b>	Betrag der Kurzschlussimpedanz an der Kurzschlussstelle
	Phasenwinkel der Kurzschlussimpedanz an der Kurzschlussstelle
<b>Re(Zk)</b>	Realteil der Kurzschlussimpedanz an der Kurzschlussstelle
<b>Im(Zk)</b>	Imaginärteil der Kurzschlussimpedanz an der Kurzschlussstelle
<b>Tfn</b>	Zeitkonstante der Kurzschlussimpedanz $\tau = L / R$
<b>Re(Zkfc)</b>	Realteil der Kurzschlussimpedanz an der Kurzschlussstelle für die Ersatzfrequenz fc
<b>Im(Zkfc)</b>	Imaginärteil der Kurzschlussimpedanz an der Kurzschlussstelle für die Ersatzfrequenz fc
<b>Rc/Xc</b>	R/X-Verhältnis: $\frac{R_c}{X_c} = \frac{f_c}{f_n} \cdot \frac{\text{Re}(\underline{Z}_k(f_c))}{\text{Im}(\underline{Z}_k(f_c))}$
<b>Xc/Rc</b>	X/R-Verhältnis
<b>Tfc</b>	Zeitkonstante der Kurzschlussimpedanz $\tau = L / R$ für die Ersatzfrequenz fc
<b>k</b>	k-Faktor für die Ersatzfrequenz fc

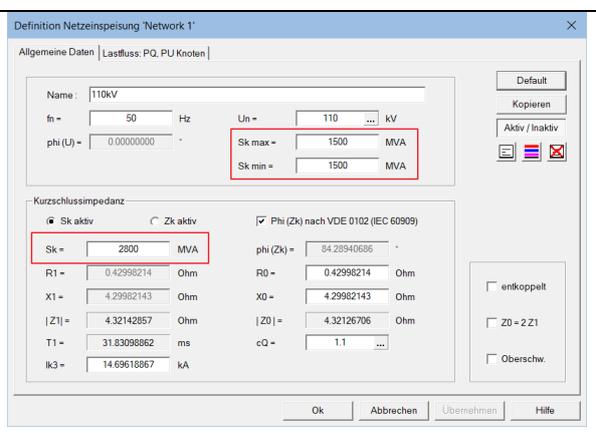
<b>i<sub>p</sub></b>	Stosskurzschlussstrom $i_p$ für die Ersatzfrequenz $f_c$
<b>m</b>	Faktor m zur Berechnung $I_{th}$
<b>n</b>	Faktor n zur Berechnung $I_{th}$
<b>I<sub>th</sub></b>	Thermisch gleichwertiger Kurzschlussstrom $I_{th}$
<b>Sk oder Sk max oder Sk min</b>	Kurzschlussleistung aller <b>Netzeinspeisungen</b> Der Einstellwert <b>Sk</b> , <b>Skmin</b> , <b>Sk max</b> , ... wird im Einstelldialog <b>Einstellungen Netzschutz und Kurzschluss</b> , Registerkarte <b>Netzschutz Analyse</b> eingestellt.

Am Kurzschlussort wird in der Netzgrafik zusätzlich der Betrag des Anfangs-Kurzschlusswechselstrom  $I_k''$  angezeigt.

Nachfolgend ist der Einstelldialog **Einstellungen Netzschutz und Kurzschluss**, Registerkarte **Netzschutz Analyse** dargestellt.



Auswahl der Kurzschlussleistung **Sk**, **Sk<sub>min</sub>** oder **Sk<sub>max</sub>**



Einstellwerte für die Kurzschlussleistung **Sk**, **Sk<sub>min</sub>** oder **Sk<sub>max</sub>** im Einstelldialog **Einstellungen Netzschutz und Kurzschluss**, Registerkarte **Netzschutz Analyse**

**Abbildung 105: Einstellung und Auswahl der Kurzschlussleistung  $S_k$ ,  $S_{kmin}$  oder  $S_{kmax}$**

Durch den Einstellwert **Sk**, **Sk min**, **Sk max**, ... wird für alle Netzwerkelemente **Netzeinspeisung** im Stromnetz der gleiche Einstellwerte in der Registerkarte **Allgemeine Daten** der Netzwerkelemente **Netzeinspeisung** für die Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 verwendet.

Der Einstellwert der Kurzschlussleistung wird nach VDE 0102 zur Berechnung der Kurzschlussimpedanz des Netzwerkelementes **Netzeinspeisung** verwendet. Näheres zur Berechnung der Kurzschlussimpedanz wird im Kapitel **Netzeinspeisung** in [Bd. 2] erläutert.

### 9.3.5.1 Berechnung des $\kappa$ -Faktors und des Stoßkurzschlussstromes $i_p$

Die Berechnung erfolgt nach den folgenden Gleichungen entsprechend VDE 0102 [2]:

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-\frac{R}{X}} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-\left(\frac{f_c}{f_n} \frac{\operatorname{Re}(Z_k(f_c))}{\operatorname{Im}(Z_k(f_c))}\right)}$$

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{kmax}''$$

In Anlehnung an VDE 0102 [2] wird der größte Anfangs-Kurzschlusswechselstrom  $I''_{kmax}$  abhängig von der eingestellten Version der Kurzschlussstromberechnung mit und ohne Berücksichtigung der Kraftwerke mit Vollumrichter ausgewählt und zur Berechnung des Stosskurzschlussstromes  $i_P$  verwendet. Die Berechnung des Stoßkurzschlussstromes  $i_P$  wird für alle Fehlerarten durchgeführt.

### 9.3.6 Berechnung des thermisch gleichwertigen Kurzschlussstromes $I_{th}$

Die Berechnung des thermisch gleichwertigen Kurzschlussstromes  $I_{th}$  erfolgt in Anlehnung an VDE 0102 [2] nur für den 3-poligen Kurzschluss mit und ohne Erdberührung L123E und L123 sowie den 2-poligen Kurzschluss ohne Erdberührung L12, L23 und L13. Die Berechnung des thermisch gleichwertigen Kurzschlussstroms wird nur durchgeführt, wenn die Berechnung des größten Anfangs-Kurzschlusswechselstroms  $I''_{kmax}$  aktiviert ist.

- ⇒ Darüber hinaus müssen einige Einstellwerte in der Registerkarte **VDE 0102 (IEC 60909)** vom Anwender eingestellt werden. Die Vorgehensweise zur Berechnung des thermisch gleichwertigen Kurzschlussstroms für **Leitungen** und **Sammelschienen** ist in Band 1 [2] näher erläutert.

Die Faktoren  $m$  und  $n$  werden nach VDE 0102 [2] berechnet. Der Anfangs-Kurzschlusswechselstrom  $I''_{kmax}$  wird abhängig von der eingestellten Version der Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 mit und ohne Berücksichtigung der Kraftwerke mit Vollumrichter verwendet.

$$I_{th} = I''_{kmax} \cdot \sqrt{m+n}$$

mit  $n = 1$  für generatorferne Kurzschlüsse in Verteilnetzen

$$m = \frac{1}{2 \cdot f \cdot T_k \cdot \ln(\kappa - 1)} \cdot \left( e^{4 \cdot f \cdot T_k \cdot \ln(\kappa - 1)} - 1 \right)$$

Bei der Berechnung des Faktors  $m$  ist zu beachten, dass für  $\kappa = 2$  der Term

$$\frac{1}{2 \cdot f \cdot T_k \cdot \ln(\kappa - 1)} \xrightarrow{\kappa=2} \infty \Rightarrow m \rightarrow \infty$$

gegen unendlich geht und somit eine Polstelle aufweist. Der Faktor  $m$  geht damit ebenfalls gegen unendlich. Dieser Fall kann dann eintreten, wenn für das Verfahren **Verhältnis R/X an der Kurzschlussstelle** ein  $\kappa$ -Faktor  $\geq 2$  berechnet wird. Nach VDE 0102 wird der  $\kappa$ -Faktor für dieses Verfahren auf  $\kappa = 2$  begrenzt. Auch für das Verfahren **Ersatzfrequenz  $f_c$**  kann dieser Fall eintreten, ist aber in realen Netzen eher unwahrscheinlich.

Tritt der Fall  $\kappa \geq 2$  im Verlaufe einer Kurzschlussstromberechnung auf, so wird von ATPDesigner eine Fehlermeldung wie in der nachfolgenden Abbildung dargestellt ausgegeben. Die Fehlermeldung wird auch im Ausgabefenster **Meldungsfenster** ausgegeben.

Die beiden Faktoren  $m$  und  $n$ , die zur Berechnung des thermisch gleichwertigen Kurzschlussstroms  $I_{th}$  benötigt werden, werden wie abgebildet mit dem Wert Null ausgegeben.

```
VDE 0102 (IEC 60909) [Zk]
Stand Juli 2002
L123E; Te=20°; Un=20kV; c=1.1; Sk; Ik"max
Ik"=3.786kA;3.786kA;3.786kA
Zk=3.3550hm;3.3550hm;3.3550hm
84.9595°;84.9595°;84.9595°
Re(Zk)=294.797mOhm;294.797mOhm;294.797mOhm
Im(Zk)=3.3420hm;3.3420hm;3.3420hm
R/X=0.08820;0.08820;0.08820
X/R=11.33775;11.33774;11.33774
T=36.089ms;36.089ms;36.089ms
k=2.00000;2.00000;2.00000
iP=10.707kA;10.707kA;10.707kA
m=0.00000;0.00000;0.00000
n=0.00000;0.00000;0.00000
Ith=ungültig da k=2;;
```

Abbildung 106: Fehlermeldung „Ith=ungültig“ im Tooltip

- ⇒ Es sei hier nochmals explizit darauf hingewiesen, dass die Berechnung des thermisch gleichwertigen Kurzschlussstromes  $I_{th}$  in ATPDesigner nur für generatorferne Kurzschlüsse in Verteilnetzen mit dem Faktor  $n = 1$  verfügbar ist.



```
Ergebnisse der Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 (IEC 60909) [Zk]
> VDE 0102 (IEC 60909) Stand Juli 2002
> Berechnung Grösster Anfangs-Kurzschlusswechselstrom Ikmax
> Kurzschluss L123E; Te=20°; Un=20kV; c=1.1; Sk
>> Ik"=3.786kA;3.786kA;3.786kA
>> Zk=3.3550hm;3.3550hm;3.3550hm
>> 84.9595°;84.9595°;84.9595°
>> Re(Zk)=294.796mOhm;294.796mOhm;294.796mOhm
>> Im(Zk)=3.3420hm;3.3420hm;3.3420hm
>> R/X=0.08820;0.08820;0.08820
>> X/R=11.33779;11.33779;11.33779
>> T=36.089ms;36.089ms;36.089ms
>> k=2.00000;2.00000;2.00000
>> iP=10.707kA;10.707kA;10.707kA
>> m=0.00000;0.00000;0.00000
>> n=0.00000;0.00000;0.00000
>> Ith=ungültig da k=2;;

> Thermisch gleichwertiger Kurzschlussstrom
>> [Bb 1] Ithr=25.000kA; Tkr=1.000s; Tk=0.500s; Ithz=35.355kA : 20kV
```

Abbildung 107: Fehlermeldung: Berechnung  $I_{th}$  ist ungültig im Meldungsfenster

### 9.3.6.1 Berechnung der Kurzschlussbelastbarkeit $I_{thz}$

Die Kurzschlussbelastbarkeit  $I_{thz}$  muss in Anlehnung an VDE 0276 größer oder gleich dem nach VDE 0102 berechneten thermisch gleichwertigen Kurzschlussstrom  $I_{th}$  sein. Der thermisch gleichwertige Kurzschlussstrom  $I_{th}$  wird in Anlehnung an VDE 0276 als thermisch wirksamer Kurzschlussstrom bezeichnet.

$$I_{thz} = I_{thr} \cdot \sqrt{\frac{T_{kr}}{T_k}}$$

mit Bemessungswert des thermisch gleichwertigen Kurzschlussstroms  $I_{thr}$   
 Bemessungswert für die Kurzschlussdauer  $T_{kr}$   
 Kurzschlussbelastbarkeit  $I_{thz}$   
 Maximal zulässige Kurzschlussdauer  $T_k$

$$I_{th} \leq I_{thz}$$

Die Kurzschlussdauer  $T_k$  wird im Einstelldialog zur Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 [2] eingestellt. Der Einstellwert muss abhängig von den verwendeten Schutzeinrichtungen gewählt werden. Die Grundeinstellung von  $T_k = 100\text{ms}$  entspricht der in Hoch- und Höchstspannungsnetzen üblicherweise geforderten maximalen Kurzschlussdauer. Die maximal zulässige Kurzschlussdauer beginnt mit dem Eintritt des Kurzschlusses im Netz und berücksichtigt die Kommandozeit der Schutzeinrichtung sowie das Öffnen der Leistungsschalterkontakte inklusive der Lichtbogenlöschung bis einschließlich dem Unterbrechen des Kurzschlussstroms.

$$I_{thz} = I_{thr} \cdot \sqrt{\frac{T_{kr}}{T_k}} = 25\text{kA} \cdot \sqrt{\frac{1\text{s}}{0,1\text{s}}} = 79,057\text{kA}$$

Betriebsmittel	Bemerkungen
<b>Sammelschiene</b>	Die <b>Bemessungswerte <math>I_{thr}</math> und <math>T_{kr}</math></b> müssen in den zugehörigen Einstelldialogen eingestellt werden.
<b>Leitung</b>	Der <b>Bemessungswert <math>I_{thr}</math></b> wird für im Einstelldialog angezeigt und nach VDE 0276 aus dem Leitermaterial, der Querschnittsfläche und der Bemessungs-Kurzzeitstromdichte für $T_{kr} = 1\text{s}$ berechnet.
<b>Für alle Betriebsmittel außer Sammelschienen</b>	Die <b>Kurzschlussdauer <math>T_k</math></b> wird für alle Betriebsmittel im <a href="#">Einstelldialog für die Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102</a> eingestellt.

### 9.3.6.2 Kurzschlussbelastbarkeit $I_{thz}$ für Sammelschienen

Die Kurzschlussbelastbarkeit  $I_{thz}$  wird für **Sammelschienen** berechnet und im **Meldungsfenster** ausgegeben. Die Ausgabe in das **Meldungsfenster** erfolgt nur, wenn im [Einstell-dialog zur Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102](#) die Option **Alle Knoten** für die Einstellung **Ausgabewerte** eingestellt ist.

```
>> k=1.74600;1.74600;1.74600
>> iP=4.704kA;4.704kA;4.704kA
>> m=0.34029;0.34029;0.34029
>> n=1.00000;1.00000;1.00000
>> Ith=2.206kA;2.206kA;2.206kA

> Thermisch gleichwertiger Kurzschlussstrom
>> [Bb 1] Ithr=30.000kA; Tkr=1.000s; Tk=0.100s; Ithz=94.868kA : Bb 1
>> [Bb 2] Ithr=25.000kA; Tkr=1.000s; Tk=0.100s; Ithz=79.057kA : Bb 2

> Berechnung Kurzschlussleistung Sk: Sammelschienen Bb x
>> [Bb 1] Sk=500.019MVA; Ik3=2624.42A : Bb 1
>> [Bb 2] Sk=362.978MVA; Ik3=1905.14A : Bb 2

<
```



Abbildung 108: Kurzschlussbelastbarkeit  $I_{thz}$  von Sammelschienen

### 9.3.6.3 Thermisch gleichwertiger Kurzschlussstrom $I_{th}$ für Leitungen

ATPDesigner bietet die Möglichkeit, in Anlehnung an VDE 0102 [2] den thermisch gleichwertigen Kurzschlussstrom  $I_{th}$  für den Fall eines 3-poligen Kurzschlusses mit Erde (3pE) für die **Leitungen** eines Stromversorgungsnetzes automatisiert zu berechnen. Die Berechnung wird durch den Menüpunkt **Thermisch wirksamer Kurzschlussstrom berechnen** im Hauptmenü **Prüfungen** gestartet und im Dialog **Liste der Betriebsmitteldaten**, Registerkarte **Kurzschluss** angezeigt.

### 9.3.7 Automatische Erkennung der Nennspannung von Betriebsmitteln

Ist die Option **Automatische Erkennung Un** im Einstelldialog aktiviert und wird der Kurzschlussort mit Hilfe des **Kurzschlusses (roter Blitz)** an Betriebsmittel gelegt, so ermittelt ATPDesigner die Nennspannung  $U_n$  des Betriebsmittels automatisch. Werden mehrere enthaltenen Betriebsmittel an dem Knoten erkannt, so übernimmt ATPDesigner in der Reihenfolge der Erkennung die Nennspannung für die Ersatzspannungsquelle.

- ⇒ Es wird empfohlen, die Nennspannung der Ersatzspannungsquelle vor oder nach einer Kurzschlussstromberechnung zu kontrollieren.
- Ist die Nennspannung der Sammelschienen von der bisher verwendeten Nennspannung der Ersatzspannungsquelle verschieden, so wird die Nennspannung der Sammelschiene als neue Nennspannung der Ersatzspannungsquelle übernommen und davon abhängig der **Spannungsfaktor c** neu ermittelt.
- Bleibt die Nennspannung der Ersatzspannungsquelle unverändert, bleibt auch der **Spannungsfaktor c** unverändert bzw. kann von Hand verändert werden.

### 9.3.8 Berechnung der Ströme beim Erdschluss

Die Berechnung von Erdschlussströmen in isolierten oder kompensiert betriebenen Netzen liegt außerhalb des Anwendungsbereiches der Norm VDE 0102.

*„... Leiter-Erde-Einfacherdschluss, der in einem Netz mit isoliertem Sternpunkt oder in einem Netz mit Erdschlusskompensation auftritt. Dieser Fehler liegt außerhalb des Anwendungsbereiches und wird deshalb von dieser Norm nicht behandelt.“<sup>4</sup>*

### 9.3.9 Behandlung von Kapazitäten in ATPDesigner

ATPDesigner verwendet entweder **keine Kapazitäten in Mit-, Gegen- und Nullsystem** oder **alle Kapazitäten in Mit-, Gegen- und Nullsystem** zur Kurzschlussstromberechnung. Nach VDE 0102<sup>4</sup> führt dies in Netzen mit niederohmiger Sternpunktterdung zu größeren berechneten Kurzschlussströmen als den tatsächlichen Kurzschlussströmen.

Mit dem Einstellwert **Kapazitäten deaktivieren (RLC-PI)** in dem Einstelldialog **VDE 0102 (IEC 60909)** in Abbildung 98 werden für alle Leitungen die Kapazitäten in Mit-, Gegen- und Nullsystem aktiviert oder deaktiviert. Somit ist abweichend von der Norm die Kurzschlussstromberechnung mit allen Kapazitäten in Mit-, Gegen- und Nullsystem möglich.

#### 9.3.9.1 Berücksichtigung von Kapazitäten in Niederspannungsnetzen

*„Die Kapazitäten von Leitungen (Freileitungen und Kabel) dürfen in Niederspannungsnetzen im Mit-, Gegen- und Nullsystem vernachlässigt werden.“<sup>4</sup>*

#### 9.3.9.2 Berücksichtigung von Kapazitäten in Mittel- und Hochspannungsnetzen

*„Bei der Berechnung von unsymmetrischen Kurzschlussströmen in Mittelspannungs- und Hochspannungsnetzen und bei Verwendung der Ersatzspannungsquelle an der Kurzschlussstelle sind in Netzen mit isoliertem Sternpunkt, in Netzen mit Erdschlusskompensation und in niederohmig geerdeten Netzen mit einem Erdfehlerfaktor (siehe IEC*

60071-1) größer als 1,4 die Kapazitäten von Leitungen und Queradmittanzen im Null-System zu berücksichtigen.“<sup>4</sup>

## 9.4 VDE 0102: Hinweise zu den Betriebsmittelmodellen

Die Berechnung der Kurzschlussströme nach VDE 0102 setzt die Verwendung definierter Betriebsmittelmodelle voraus. In den nachfolgenden Kapiteln werden ggfs. vorhandene Unterschiede der Anwendung entsprechend den unterstützten Versionen der VDE 0102 erläutert.

- ⇒ Im Folgenden werden Abweichungen der in ATPDesigner verwendeten Betriebsmittelmodelle zu den in VDE 0102 definierten Betriebsmittelmodellen erläutert, wenn die Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 aktiviert ist.

### 9.4.1 Synchrongenerator

Nach EN 60909-0:2xxx wird der Synchrongenerator im Allgemeinen durch Impedanzen im Mitsystem, Gegensystem und Nullsystem nachgebildet. Dabei gilt wie für rotierende Betriebsmittel üblich  $\underline{Z}_1 \neq \underline{Z}_2 \neq \underline{Z}_0$ . Aus mathematischer Sicht kann der Synchrongenerator im natürlichen System durch eine zyklisch-symmetrische Matrix beschrieben werden.

- ⇒ ATPDesigner verwendet daher nicht das ATP basierte Modell zur Nachbildung des elektromechanischen Verhaltens der Kombination Turbine(n)-Synchrongenerator sondern wie schon erwähnt eine zyklisch-symmetrische Impedanzmatrix.

Die Einstellwerte für die Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 sind in der Registerkarte **VDE 0102 (IEC 60909)** enthalten. Der **Spannungsfaktor  $c_{\max}$** , der für die Berechnung des Impedanzkorrekturfaktors  $K_T$  benötigt wird, wird in Abhängigkeit der in der Registerkarte **VDE 0102 (IEC 60909)** einstellbaren Werte  **$U_n$** ,  **$U_{rG}$**  und  **$\phi_i = \phi_{rG}$**  ermittelt.

Weitere Informationen sowie die Berechnungsvorschriften sind im Einstelldialog **Generator**, Registerkarte **VDE 0102 (IEC 60909)** beschrieben.

### 9.4.2 Verbraucherlast

Der Zustand aktiviert bzw. deaktiviert (der Zustand deaktiviert wird mit der Zeichenfarbe **magenta** angezeigt) wird vor Beginn der Kurzschlussstromberechnung gespeichert und nach der Kurzschlussstromberechnung wiederhergestellt. Während der Kurzschlussstromberechnung werden die Netzwerkelemente **Verbraucherlast** automatisch deaktiviert.

### 9.4.3 Netzeinspeisung

Die Nachbildung der Netzeinspeisung erfolgt nach der Norm EN 60909-0:2xxx durch eine 3-phasige, symmetrische Impedanz  $\underline{Z}_Q$ , die sowohl das Mitsystem wie auch das Nullsystem berücksichtigt. Es wird vorausgesetzt, dass die Impedanzen in Mit- und Gegensystem identisch sind:  $\underline{Z}_2 = \underline{Z}_1$ . Die interne 3-phasige Spannungsquelle wird kurzgeschlossen und die Kurzschlussimpedanz nach der Norm EN 60909-0:2xxx berechnet.

### 9.4.3.1 Spannungsfaktor $c_Q$ für Netzeinspeisungen

Es ist darauf zu achten, dass der **Spannungsfaktor  $c_Q$**  zur Berechnung der Kurzschlussimpedanz sich auf die Nennspannung  $U_n$  der Netzeinspeisung bezieht.

$$Z_Q = c_Q \cdot \frac{U_n^2}{S_k}$$

### 9.4.3.2 Kurzschlussleistung $S_{kmin}$ oder $S_{kmax}$ für Netzeinspeisungen

Es ist weiter zu beachten, dass abhängig von der Berechnung des kleinsten oder größten Anfangs-Kurzschlusswechselstromes für jede **Netzeinspeisung** die kleinste und größte Kurzschlussleistung  $S_{kmin}$  und  $S_{kmax}$  einzustellen ist. Abhängig von der Berechnung des Anfangs-Kurzschlussstromes kann für alle Netzeinspeisungen gleichzeitig  $S_{kmin}$  oder  $S_{kmax}$  im Einstelldialog **Einstellungen Netzschutz und Kurzschluss**, Registerkarte **Netzschutz Analyse** eingestellt werden.

## 9.4.4 Asynchronmaschine

Die Asynchronmaschine wird nach der Norm EN 60909-0:2xxx als 3-phasige, symmetrische Impedanz  $\underline{Z}_M$  nachgebildet. Die Impedanz in Mit- und Gegensystem  $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 = \underline{Z}_M$  kann bestimmt werden mit:

$$Z_M = \frac{1}{\frac{I_{LR}}{I_{rM}}} \cdot \frac{U_{rM}}{\sqrt{3}I_{rM}} = \frac{1}{\frac{I_{LR}}{I_{rM}}} \cdot \frac{U_{rM}^2}{S_{rM}}$$

- $U_{rM}$  die Bemessungsspannung des Motors
- $I_{rM}$  der Bemessungsstrom des Motors
- $S_{rM}$  die Bemessungscheinleistung des Motors:  $S_{rM} = \frac{P_{rM}}{\eta_{rM} \cdot \cos(\varphi_{rM})}$
- $\frac{I_{LR}}{I_{rM}}$  das Verhältnis vom Anzugsstrom zum Bemessungsstrom des Motors.

Die komplexe Größe der Impedanz ist zu berechnen mit:

$$\underline{Z}_M = R_M + jX_M = \left( \frac{R_M}{X_M} + j \right) \cdot \frac{Z_M}{\sqrt{1 + \left( \frac{R_M}{X_M} \right)^2}}$$

Wenn das Verhältnis  $\frac{R_M}{X_M}$  durch den Hersteller nicht angegeben wird, können die Annahmen aus der Norm VDE 0102 mit ausreichender Genauigkeit verwendet werden.

#### 9.4.4.1 Temporäre Deaktivierung von Asynchronmaschinen während KS-Berechnung

Vor Beginn der Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 wird der aktuelle Konfigurationszustand **aktiv/inaktiv** der Asynchronmaschinen intern gespeichert. Während der Kurzschlussstromberechnung werden Asynchronmaschinen temporär deaktiviert, wenn der kleinste Anfangs-Kurzschlusswechselstrom  $I_{kmin}$  berechnet wird. Nach der Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 (IEC 60909) wird der ursprüngliche Zustand aktiv/inaktiv wiederhergestellt.

#### 9.4.5 Transformator 2-Wicklungen

Der Transformator wird **abweichend von der Norm EN 60909-0:2xxx** durch eine Impedanzmatrix nachgebildet, die in Längsrichtung die Kurzschlussimpedanz  $Z_T$  entsprechend der Norm EN 60909-0:2xxx nachbildet. Mit Hilfe der Impedanzmatrix werden die galvanische Trennung und das Übersetzungsverhältnis des Transformators mit Sternpunktbehandlung realisiert. Es handelt sich hier um ein mehrphasiges Modell im natürlichen System. Es ist darauf zu achten, dass die Nachbildung des Querzweiges mit Magnetisierungsreaktanz und Magnetisierungsresistanz in der Gruppe **Leerlaufdaten** in der Registerkarte **Allgemeine Daten** deaktiviert wird.

Der **Impedanzkorrekturfaktor  $K_T$**  nach der Norm EN 60909-0:2xxx wird berücksichtigt:

$$K_T = 0,95 \cdot \frac{c_{max}}{1 + 0,6 \cdot x_T} \quad \text{mit } c_{max} = f(U_{nB})$$

$$x_T = X_T \cdot \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}}$$

Abhängig von der Version der VDE 0102 wird der Impedanzkorrekturfaktor für die Berechnung des kleinsten Anfangs-Kurzschlusswechselstroms zu  $k_T = 1$  gesetzt.

- Der **Spannungsfaktor  $c_{max}$**  bezieht sich nach EN 60909-0:2xxx auf die Nennspannung des Netzes, das an der Unterspannungsseite des Transformators angeschlossen ist. Bei der internen Berechnung des Faktors  $K_T$  wird die Nennspannung **UnB** des Transformators und nicht die Bemessungsspannung **UrB** verwendet.
- Der **Impedanzkorrekturfaktor  $K_T$**  wird in Mit-, Gegen- und Nullsystem verwendet.
- Leerlaufverluste und Leerlaufstrom (d.h. der Querzweig des Transformatormodells) werden nicht berücksichtigt.

#### 9.4.5.1 Transformator 2-Wicklung als Netzstation

Wir der **Transformator als Netzstation**, d.h. mit aktivierter integrierter **Verbraucherlast** an der Wicklung B verwendet, so wird während der Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 die integrierte Verbraucherlast deaktiviert. Nach Beendigung der Kurzschlussstromberechnung wird der Ursprungszustand wiederhergestellt.

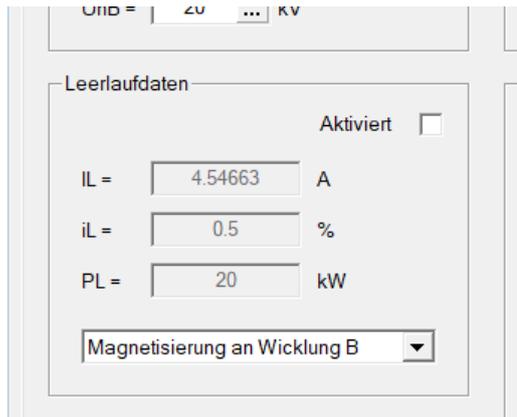


Abbildung 109: Transformator - Deaktivierung von Leerlaufstrom und Leerlaufverlusten

### 9.4.5.2 Einfluss der Anschaltung des Nullsystems an Wicklung A oder B

Mit dem Einstellwert **Magnetisierung an Wicklung A** oder **B** kann die Nullimpedanz entweder bezogen auf die Wicklung A oder B in der 6x6-Impedanzmatrix berücksichtigt werden. Die Wahl der Wicklung kann einen geringen Einfluss auf die Berechnung des Anfangs-Kurzschlusswechselstrom  $I_{k''1pE}$  für den 1-poligen Kurzschluss gegen Erde haben und zu Abweichungen gegenüber den nach VDE 0102 empfohlenen Berechnungsmethoden führen.

- ⇒ Es wird empfohlen, den Einstellwert **Magnetisierung an Wicklung A** oder **B** so zu wählen, dass die die Wicklung eingestellt wird, die galvanisch mit der Spannungsebene verbunden ist, in der der Kurzschluss angeschaltet wird.

### 9.4.5.3 Transformator mit aktivierter interner Verbraucherlast an Wicklung B

Ist eine **Verbraucherlast** an Wicklung B des Transformators aktiviert, so wird der Transformator für die Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 (IEC 60909) deaktiviert und in der Kurzschlussstromberechnung nicht berücksichtigt. In der nachfolgenden Abbildung sind in dem Stromnetz zwei Transformatoren mit aktivierter interner **Verbraucherlast** enthalten.

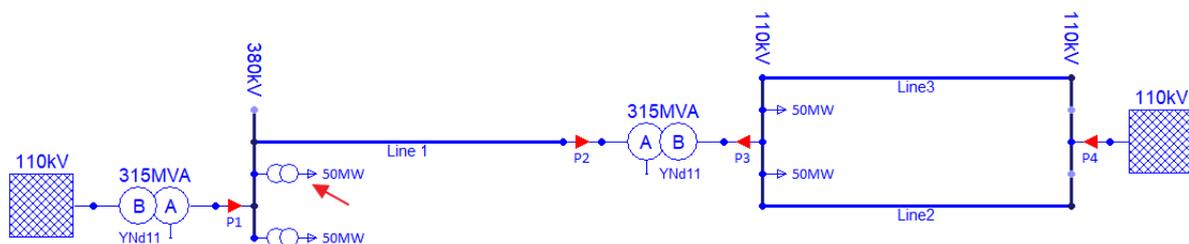


Abbildung 110: Transformator mit aktivierter interner Verbraucherlast

## 9.4.6 Leitung

Es ist darauf zu achten, dass nach VDE 0102 Leitungsmodelle mit und ohne Kapazitäten verwendet werden. In ATPDesigner sind im Einstelldialog diese Leitungsmodelle ohne Kapazitäten durch den Zusatz **RL** (z.B. **Einfachleitung (RL)**) gekennzeichnet, die

mit Kapazitäten durch den Zusatz **RLC-PI** (vollständiges II-Ersatzschaltbild). Leitungsmodelle aus der Leitungstypbibliothek werden mit dem vollständigen II-Ersatzschaltbild nachgebildet.

#### 9.4.6.1 Kapazitäten $C_{LE}$ und $C_{LL}$ der Leitung

Wird für eine Leitung ein Leitungsmodell mit II-Ersatzschaltbild verwendet (siehe Abbildung 584), so werden die Kapazitäten für die Kurzschlussstromberechnung abhängig vom Einstellwert **Kapazitäten deaktivieren (RLC-PI)** aktiviert oder deaktiviert. Es ist hier die [Behandlung der Kapazitäten in ATPDesigner](#) und die normativen Vorgaben nach VDE 0102 zu beachten.

#### 9.4.6.2 Temperaturabhängigkeit der Resistanz

Die Temperaturabhängigkeit der Resistanz wird für die Leitungsmodelle **Homogene Leitung (RLC)** und **Doppelleitung** nicht berücksichtigt.

#### 9.4.6.3 Interne Verbraucherlast des Leitungsmodells Lastfluss: Last

Der Einstellwert **Aktiviert** der internen Last (**Verbraucherlast**) wird vor Beginn der Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 (IEC 60909) gespeichert und danach wiederhergestellt. Während der Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 wird die interne **Verbraucherlast** automatisch deaktiviert und daher in der Netzgrafik kurzfristig in der Zeichenfarbe **magenta** gezeichnet.

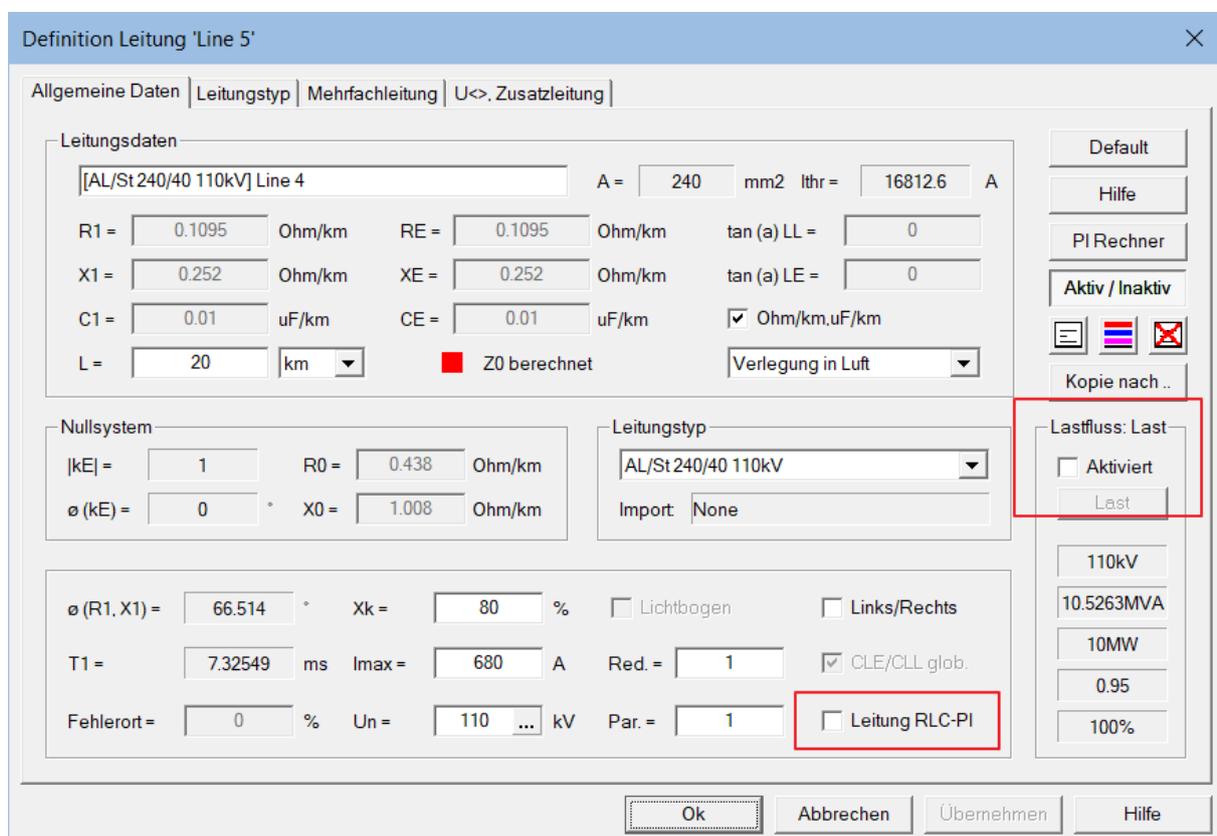


Abbildung 111: Leitungsmodell RLC-PI mit deaktivierten Leitungskapazitäten

#### 9.4.7 2/3-Wicklungstransformator BCTRAN

Der Transformator wird **abweichend von der Norm EN 60909-0:2xxx** mit dem ATP-Modell **BCTRAN** durch eine Impedanzmatrix nachgebildet, die in Längsrichtung die Kurzschlussimpedanz  $Z_T$  entsprechend der Norm EN 60909-0:2xxx, Seite 24 nachbildet. Mit Hilfe der Impedanzmatrix werden die galvanische Trennung und das Übersetzungsverhältnis des Transformators mit Sternpunktbehandlung realisiert.

- ⇒ Es handelt sich hier um ein mehrphasiges Modell im natürlichen System. Es ist darauf zu achten, dass die Nachbildung des Querzweiges mit Magnetisierungsreaktanzen und Magnetisierungsresistanzen von Hand deaktiviert wird.

Mit dem ATP-Modell **BCTRAN** können auch 2-Wicklungs-Transformatoren nachgebildet werden. Es wird aber empfohlen, für 2-Wicklungs-Transformatoren das Netzwerkelement **Transformator** zu verwenden. Es werden entsprechend der Norm EN 60909-0:2xxx die Impedanzkorrekturfaktoren in Mit-, Gegen- und Nullsystem verwendet.

#### 9.4.8 Kurzschlussstrom-Begrenzungsdröselspulen

Derzeit ist in ATPDesigner kein EN 60909-0:2xxx konformes Modell enthalten.

#### 9.4.9 Synchronphasenschieber und -motoren

Derzeit ist in ATPDesigner kein EN 60909-0:2xxx konformes Modell enthalten.

#### 9.4.10 Kraftwerksblöcke mit/ohne Stufenschalter

Derzeit ist in ATPDesigner kein EN 60909-0:2xxx konformes Modell enthalten.

#### 9.4.11 Statische Umrichter

Derzeit ist in ATPDesigner kein EN 60909-0:2xxx konformes Modell enthalten.

#### 9.4.12 Kondensatoren und nichtrotierende Lasten

Nach EN 60909-0:2xxx sind "... Leitungskapazitäten, Queradmittanzen und nichtrotierende Lasten zu vernachlässigen, mit Ausnahme des Nullsystems." [EN 60909-0:2xxx, Seite 35]. Weitere Hinweise sind in EN 60909-0:2xxx nachzulesen. Die in ATPDesigner verfügbaren Betriebsmittel wie z.B. die **Verbraucherlast** ermöglichen es, ein EN 60909-0:2xxx konformes Modell für nichtrotierende Lasten zu verwenden.

#### 9.4.13 Spannungs- und Stromquellen

Das Netzwerkelement **Erzeugungsanlage (DEA)** kann dazu verwendet werden, eine Spannungs- oder Stromquelle nachzubilden. Es sind im Rahmen der Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 nur folgende Betriebsarten zulässig:

- Ideale Spannungsquelle  **$U_n = \text{const.}$**
- Ideale Stromquelle  **$I_n = \text{const.}$**

Eine ideale Spannungsquelle, in Anlehnung an VDE 0102, kann als Netzeinspeisung mit einer Kurzschlussleistung  $S_k'' = \infty$  MVA, also unendlich großer Kurzschlussleistung, interpretiert werden. Bei aktiver Kurzschlussstromberechnung nach EN 60909-0:2xxx wird eine ideale Spannungsquelle durch einen Kurzschluss ( $R = 0\text{Ohm}$ ) ersetzt.

Eine Stromquelle ist in DIN EN 60909-0 (VDE 0102):2xxx nicht vorgesehen und wird aus dem Netzwerk entnommen ( $R = \infty$  Ohm).

- ⇒ Andere Betriebsarten des Netzwerkelementes dürfen im Rahmen der Kurzschlussstromberechnung nach DIN EN 60909-0 (VDE 0102):2002-07 nicht verwendet werden. In der Version **DIN EN 60909-0 (VDE 0102):2016-12** stehen weitere Berechnungsmodelle zur Verfügung.

#### 9.4.14 Kraftwerke mit Vollumrichter (DIN EN 60909-0 (VDE 0102):2016-12)

Das Netzwerkelement **Erzeugungsanlage (DEA)** kann dazu verwendet werden, ein Kraftwerk mit Vollumrichter nach **DIN EN 60909-0 (VDE 0102):2016-12** in der Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 zu berücksichtigen. Es muss hier zwischen den beiden Betriebsarten

- **Stand Dezember 2016** bzw.
- **Stand Dezember 2016 (mod)**

unterschieden werden. Nachfolgend ein Auszug der Regeln nach EN 60909-0:2016-12.

*„Kraftwerke mit Vollumrichter (PF), z.B. Windkraftwerke (WF) und Photovoltaik-Kraftwerke (PV), werden im Mitsystem durch eine Stromquelle nachgebildet. Der Quellenstrom hängt von der Art des Kurzschlusses ab und ist durch den Hersteller anzugeben.“*  
[EN 60909-0:2016-12, Seite 34]

Die Einstellung des Kurzschlussstroms der Erzeugungsanlage (EZA) oder Erzeugungseinheit (EZE) erfolgt abhängig von der Kurzschlussart in der Registerkarte **VDE 0102 (IEC 60909)** des Einstelldialogs des Netzwerkelementes **Erzeugungsanlage (DEA)**. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Einstelldialog. Es ist zu beachten, dass das Netzwerkelement das Erzeugerzählpeilsystem (EZS) verwendet. Entsprechend EN 60909-0:2016-12 wird nur der Betrag des Kurzschlussstroms benötigt. Am Beispiel des 3-poligen **größten Anfangs-Kurzschlusswechselstroms**  $I''_{k\max}$  wird die nach EN 60909-0:2016-12 empfohlene Berechnungsmethode kurz erläutert. Weiteres muss in der Norm nachgelesen werden.

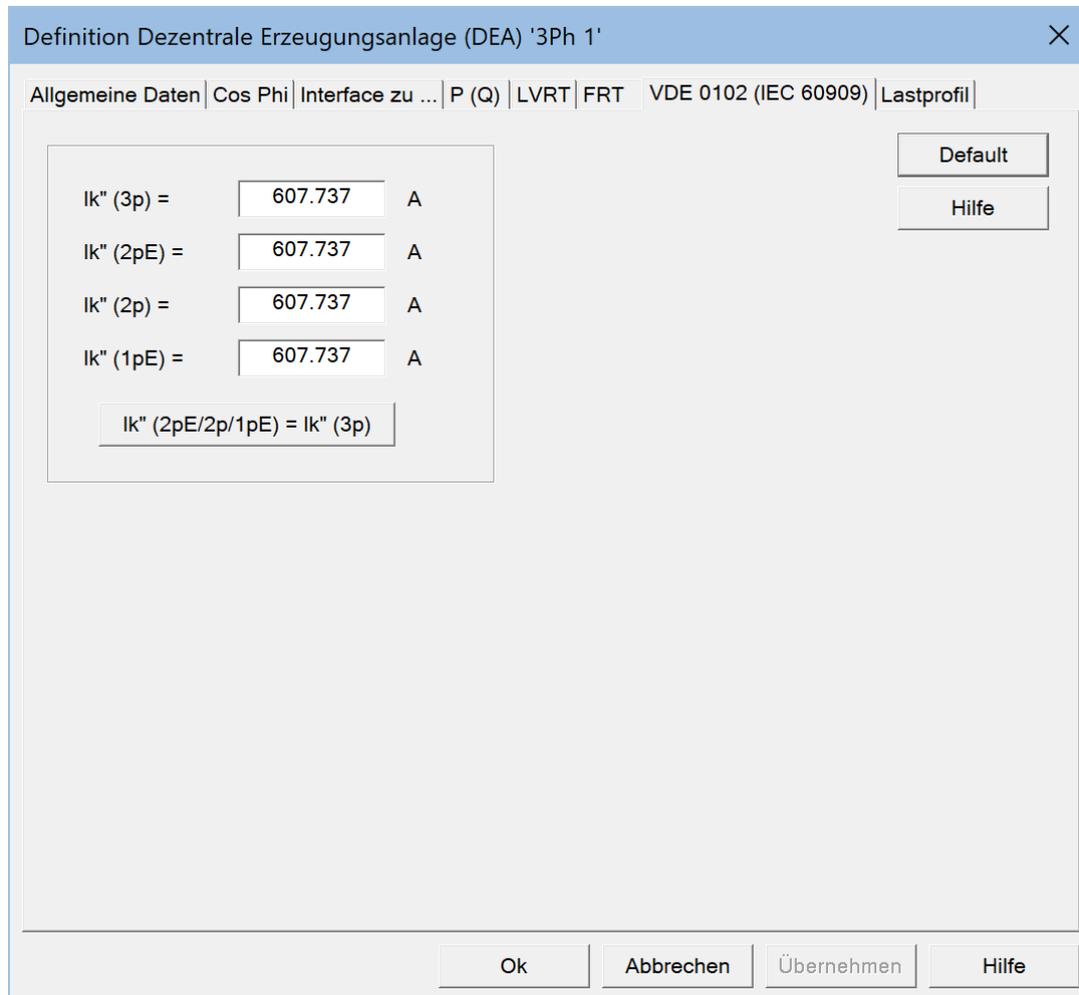
*„Wenn Kraftwerke mit Vollumrichter zu berücksichtigen sind, dann muss der maximale Anfangs-Kurzschlussstrom wie folgt berechnet werden:*

$$I''_{k\max} = \frac{1}{Z_k} \cdot \frac{c_{\max} \cdot U_n}{\sqrt{3}} + \frac{1}{Z_k} \cdot \sum_{j=1}^n Z_{ij} \cdot I''_{skPFj} = I''_{k\max PFO} + I''_{kPF}$$

- $I''_{k\max PFO}$  = der maximale Anfangs-Kurzschlusswechselstrom ohne den Einfluss der Kraftwerke mit Vollumrichter
- $I''_{kPF}$  = die Summe der Beiträge der Kraftwerke mit Vollumrichter zum Anfangs-Kurzschlussstrom

“ [EN 60909-0:2016-12, Seite 42]

Für die Berechnung des **kleinsten Anfangs-Kurzschlusswechselstroms**  $I''_{kmin}$  werden die Beiträge der Kraftwerke mit Vollumrichter nicht berücksichtigt, d.h.  $I''_{kPF} = 0A$  angenommen.



**Abbildung 112: Einstelldialog des Kurzschlussstroms für Kraftwerke als Vollumrichter**

Für den 3-poligen Kurzschluss sind nach EN 60909-0:2016-12 die Impedanzen  $Z$  der Inversen der Knotenadmittanzmatrix  $\underline{Z} = \underline{Y}^{-1}$  des Stromnetzes im Mitsystem zu entnehmen, die entsprechend den Regeln nach EN 60909-0:2016-12 aufzustellen ist.

Die Kurzschlussstromberechnung von ATPDesigner verwendet als internen Rechenkern in allen Fällen das ATP. Die Knotenadmittanzmatrix wird durch das ATP aus der .ATP-Datei, die von ATPDesigner aus der Topologie des Stromnetzes und dessen Einstellwerten generiert wird, erstellt und nur intern im ATP verwendet. Auch die Inversion der Knotenadmittanzmatrix erfolgt nur innerhalb des ATP. Daher kann ATPDesigner weder auf die Knotenadmittanzmatrix  $\underline{Y}$  noch auf die Inverse der Knotenadmittanz  $\underline{Z} = \underline{Y}^{-1}$  des Rechenkerns ATP zugreifen. In Anlehnung an das Regelwerk nach EN 60909-0:2016-12 wurden daher zwei Verfahren entwickelt und in ATPDesigner implementiert, um die Berechnung des größten Anfangs-Kurzschlusswechselstroms unter Berücksichtigung der **Kraftwerke als Vollumrichter** nach EN 60909-0:2016-12 zu ermöglichen.

- ⇒ **Es muss berücksichtigt werden, dass die in den nachfolgenden Kapiteln erläuterten Verfahren eine verschiedene Genauigkeit bzgl. der Berechnung des größten Anfangs-Kurzschlusswechselstroms unter Berücksichtigung der Kraftwerke als Vollumrichter besitzen. Es wird daher empfohlen, vor der Verwendung die Erläuterungen aufmerksam zu lesen.**

#### 9.4.14.1 Kraftwerk mit Vollumrichter: Betriebsart Stand Dezember 2016

Mit dieser Betriebsart wird der **größte Anfangs-Kurzschlusswechselstrom  $I''_{kmax}$**  mit einer Genauigkeit vergleichbar der Genauigkeit nach EN 60909-0:2016-12 ermittelt.

- ⇒ **Es wird empfohlen, diese Betriebsart zur genaueren Berechnung des größten Anfangs-Kurzschlusswechselstroms  $I''_{kmax}$  zu verwenden.**

Nachteilig an dieser Methode ist ein erhöhter Rechenaufwand, der mit der Anzahl der Kraftwerke mit Vollumrichter linear ansteigt. Es müssen mehrere Kurzschlussstromberechnungen durchgeführt und deren Ergebnisse zu einem Endergebnis überlagert werden.

- Eine erste Kurzschlussstromberechnung zur Berechnung des größten Anfangs-Kurzschlusswechselstroms  $I''_{kmaxPFO}$  ohne Einfluss der Kraftwerke mit Vollumrichter

Die Kurzschlussstromberechnung wird nach dem Verfahren der Ersatzspannungsquelle an der Kurzschlussstelle durchgeführt.

- Für jedes einzelne im Stromnetz enthaltene Netzwerkelement **Erzeugungsanlage (DEA)** eine weitere Kurzschlussstromberechnung zur Berechnung des Beitrages des Kraftwerkes mit Vollumrichter zum größten Anfangs-Kurzschlusswechselstrom

An der Kurzschlussstelle wird ein metallischer Kurzschluss ( $10^{-12}\Omega$ ) zwischen dem kurzschlussbetroffenen Netzknoten und dem Bezugspotential verwendet, keine Ersatzspannungsquelle. Es wird davon ausgegangen, dass eine Erzeugungsanlage (EZA) bzw. Erzeugungseinheit (EZE) mit dem Netzwerkelement **Erzeugungsanlage (DEA)** nachgebildet wird. Die Netzwerkelemente **Erzeugungsanlage (DEA)** werden durch eine 3-phasige symmetrische Stromquelle mit einem absoluten Phasenwinkel  $\varphi=0^\circ$  nachgebildet. Der Betrag der Stromquelle wird abhängig von der Kurzschlussart aus dem Einstelldialog der **Erzeugungsanlage (DEA)**, Registerkarte **VDE 0102 (IEC 60909)** entnommen.

Die Schaltgruppen der Transformatoren **Transformator 2-Wicklung** und **Transformator 2/3-Wicklungen (BCTAN)** werden temporär auf die Schaltgruppe Yy0 umgestellt. Damit wird der Einfluss der Phasendrehung verschiedener Schaltgruppen eliminiert. Andere Transformatoren dürfen nicht verwendet werden. Nach erfolgter Kurzschlussstromberechnung werden die Schaltgruppen der Transformatoren wiederhergestellt.

Nach EN 60909-0:2016-12 wird der gesamte Beitrag aller Kraftwerke mit Vollumrichter als Summe der Beträge der Kurzschlussströme jedes einzelnen Kraftwerkes mit Vollumrichter an der Kurzschlussstelle berechnet.

$$I''_{kPF} = \sum_{j=1}^n |I''_{skPFj}|$$

Um diese Berechnungsvorschrift zu realisieren, wird nacheinander jeweils nur ein einziges Netzwerkelement **Erzeugungsanlage (DEA)** aktiviert und in einer Kurzschlussstromberechnung der Betrag des an der Kurzschlussstelle fließenden Kurzschlussstroms berechnet. ATPDesigner berechnet abschließend die Summe der Beträge der Teilkurzschlussströme.

Sind in einem Stromnetz z.B. 3 Kraftwerke mit Vollumrichter durch vier Netzwerkelemente **Erzeugungsanlage (DEA)** enthalten, so werden insgesamt 4 Kurzschlussstromberechnungen durchgeführt. Die Beiträge jedes einzelnen Kraftwerkes mit Vollumrichter wird im **Meldungsfenster** ausgegeben.

```

>> Rc/Xc=0.15327;0.15327;0.15327
>> Xc/Rc=6.52434;6.52431;6.52432
>> Tfc=19.682ms;19.683ms;19.683ms
>> k=1.63877;1.63877;1.63877
>> iP=9.019kA;9.019kA;9.019kA
>> m=0.22308;0.22308;0.22308
>> n=1.00000;1.00000;1.00000
>> Ith=4.542kA;4.542kA;4.542kA

> Thermisch gleichwertiger Kurzschlussstrom
>> [Bb 1] Ithr=25.000kA; Tkr=1.000s; Tk=0.100s; Ithz=79.057kA :
>> [Bb 2] Ithr=25.000kA; Tkr=1.000s; Tk=0.100s; Ithz=79.057kA :
>> [Bb 3] Ithr=25.000kA; Tkr=1.000s; Tk=0.100s; Ithz=79.057kA :

> Ergebnisse der Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 (IEC 60909) : Erzeugungsanlage
>> 1 : [3Ph 1] 3Ph 1, Ik"maxPF=430.399A, Einstellwert: Ik"=607.737A, L123
>> 2 : [3Ph 2] 3Ph 2, Ik"maxPF=82.5014A, Einstellwert: Ik"=419.891A, L123
>> 3 : [3Ph 3] 3Ph 3, Ik"maxPF=39.0829A, Einstellwert: Ik"=524.864A, L123

LF> Rechenzeit der Lastflussberechnung = 1578ms

```

Abbildung 113: Beiträge der Kraftwerke mit Vollumrichter zum Kurzschlussstrom

#### 9.4.14.2 Kraftwerk mit Vollumrichter: Betriebsart *Stand Dezember 2016 (mod)*

Mit dieser Betriebsart wird der **größte Anfangs-Kurzschlusswechselstrom**  $I''_{kmax}$  mit einer Genauigkeit berechnet, die von der Genauigkeit der Berechnungsmethode nach EN 60909-0:2016-12 nach unten, d.h. zu kleineren Kurzschlussströmen abweicht.

- ⇒ **Es wird empfohlen, diese Betriebsart zur Berechnung des größte Anfangs-Kurzschlusswechselstroms  $I''_{kmax}$  nur für schnelle Abschätzungen mit geringem Rechenaufwand bei geringerer Genauigkeit zu verwenden.**

Vorteilhaft an dieser Methode ist ein niedriger Rechenaufwand. Es müssen nur zwei Kurzschlussstromberechnungen durchgeführt und deren Ergebnisse zu einem Endergebnis überlagert werden.

- Eine erste Kurzschlussstromberechnung zur Berechnung des größten Anfangs-Kurzschlusswechselstroms  $I''_{k\max PFO}$  ohne Einfluss der Kraftwerke mit Vollumrichter

Die Kurzschlussstromberechnung wird nach dem Verfahren der Ersatzspannungsquelle an der Kurzschlussstelle durchgeführt.

- Eine zweite Kurzschlussstromberechnung zur Berechnung des Beitrages der Kraftwerke mit Vollumrichter  $I''_{kPF}$  zum größten Anfangs-Kurzschlusswechselstroms

An der Kurzschlussstelle wird ein metallischer Kurzschluss ( $10^{-12}\Omega$ ) zwischen dem kurzschlussbetroffenen Netzknoten und dem Bezugspotential verwendet, keine Ersatzspannungsquelle. Es wird davon ausgegangen, dass eine Erzeugungsanlage (EZA) bzw. Erzeugungseinheit (EZE) mit dem Netzwerkelement **Erzeugungsanlage (DEA)** nachgebildet wird. Die Netzwerkelemente **Erzeugungsanlage (DEA)** werden durch eine 3-phasige symmetrische Stromquelle mit einem absoluten Phasenwinkel  $\varphi=0^\circ$  nachgebildet. Der Betrag der Stromquelle wird abhängig von der Kurzschlussart aus dem Einstelldialog der **Erzeugungsanlage (DEA)**, Registerkarte **VDE 0102 (IEC 60909)** entnommen.

Die Schaltgruppen der Transformatoren **Transformator 2-Wicklung** und **Transformator 2/3-Wicklungen (BCTRAN)** werden auf die Schaltgruppe Yy0 umgestellt. Damit wird der Einfluss der Phasendrehung verschiedener Schaltgruppen eliminiert. Andere Transformatoren dürfen nicht verwendet werden. Nach erfolgter Kurzschlussstromberechnung werden die Schaltgruppen der Transformatoren wiederhergestellt.

In einem 1-Schritt-Verfahren wird mit einer einzigen Kurzschlussstromberechnung der Betrag des Kurzschlussstroms  $I''_{kPF}$  an der Kurzschlussstelle berechnet, der durch die aktivierten Netzwerkelemente **Erzeugungsanlage (DEA)** als Stromquellen eingespeist wird und zur Kurzschlussstelle fließt. Durch die gleichzeitige Aktivierung der Netzwerkelemente überlagern sich die Teilkurzschlussströme der Stromquellen als komplexe Zeiger an der Kurzschlussstelle geometrisch, d.h. als Addition von Vektoren der Kurzschlussstrombeiträge der einzelnen Stromquellen. ATPDesigner berechnet den Betrag des resultierenden Vektors.

$$I''_{kPF} = \left| \sum_{j=1}^n I_{skPFj} \right|$$

Da der Betrag eines Vektors, der durch geometrische Addition von mehreren Vektoren berechnet wurde, immer kleiner gleich der Addition der Beträge der einzelnen Vektoren ist ergibt sich:

$$\left| \sum_{j=1}^n I_{skPFj} \right| \leq \sum_{j=1}^n |I_{skPFj}|$$

$$I''_{kPF} = \left| \sum_{j=1}^n I_{skPFj} \right| \leq \sum_{j=1}^n |I_{skPFj}|$$

Es ist zu erkennen, dass mit dieser Methode der berechnete Kurzschlussstrom kleiner ist als der Kurzschlussstrom, der nach EN 60909-0:2016-12 als größter Anfangs-Kurzschlusswechselstrom zu berechnen ist.

#### 9.4.15 Allgemeine Hinweise zur VDE 0102 und den Betriebsmittelmodellen

Im Folgenden werden ausgewählte Hinweise zu der Berechnungsmethodik nach VDE 0102 aufgelistet. Diese Liste der Hinweise erhebt nicht den Anspruch der Vollständigkeit.

##### 9.4.15.1 EN 60909-0 (VDE 0102):2016-12: Impedanzkorrekturfaktoren<sup>6</sup>

Die Impedanzkorrekturfaktoren sind für die Berechnung des kleinsten Anfangs-Kurzschlusswechselstroms gleich 1.

#### 9.5 VDE 0102: Beispiel für die Kurzschlussstromberechnung

Die Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 (IEC 60909) wird an einem Beispiel erläutert. In dem nachfolgenden Stromnetz wird an einem Netzknoten ein 3-poliger Kurzschluss (L123) (**roter Blitz**) mit dem Mauscursor gesetzt.

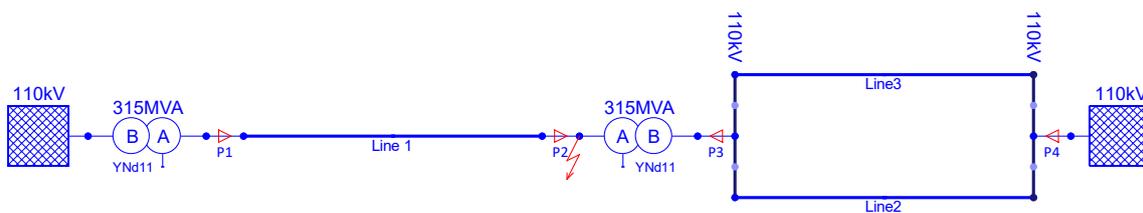


Abbildung 114: Stromnetz mit 3-poligem Kurzschluss (L123) an einem Netzknoten

Die Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 wird im Einstelldialog **ATP Einstellwerte**, Registerkarte **VDE 0102 (IEC 60909)** für den größten Anfangs-Kurzschlusswechselstrom  $I_{k\max}$  eingestellt. Darüber hinaus wird der **Stoßkurzschlussstrom  $i_p$**  nach der Methode der **Ersatzfrequenz  $f_c$**  berechnet. Der nachfolgende Einstelldialog zeigt die Einstellwerte.

<sup>6</sup> EN 60909-0 (VDE 0102):2016-12: Kapitel 7.1.2

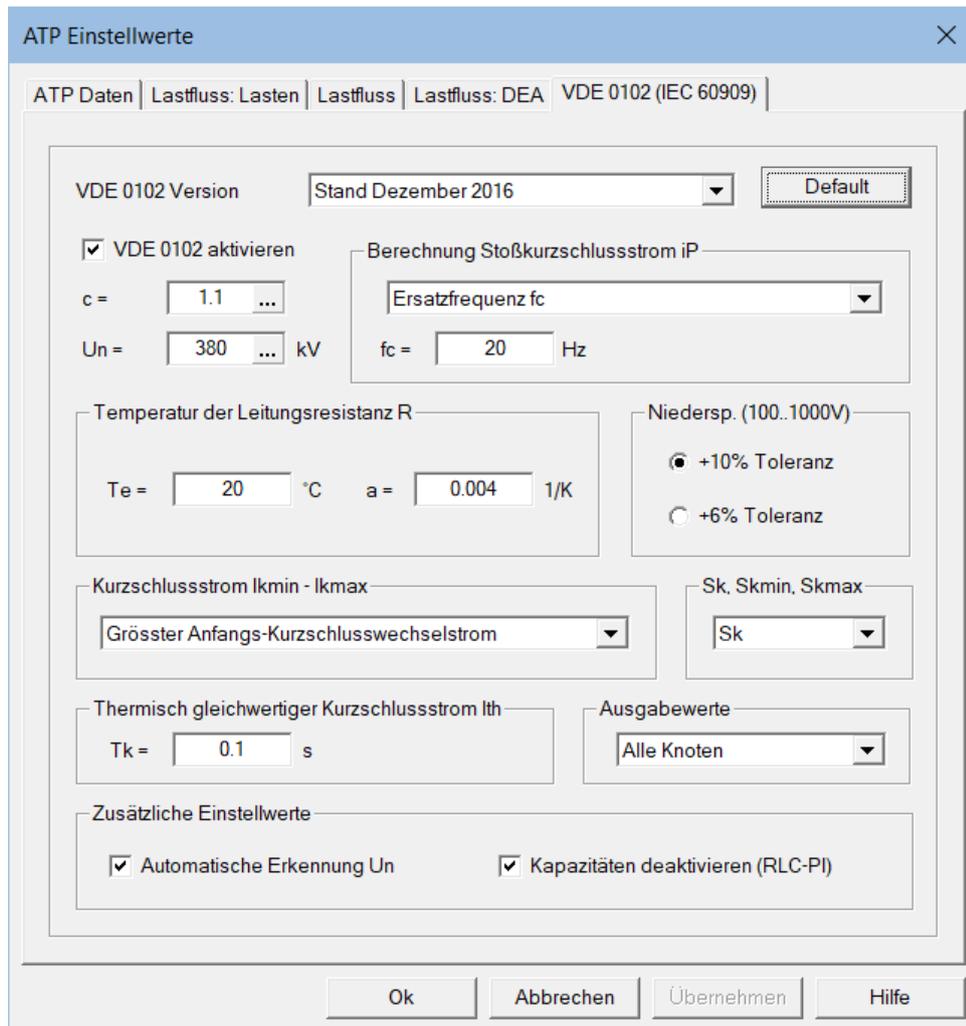


Abbildung 115: Einstellwerte - Grösster Anfangs-Kurzschlusswechselstroms  $I_{k\max}$

Die Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 wird mit dem Toolbar-Button  oder mit den Tasten **Strg + E** gestartet. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Darstellung ausgewählter Ergebnisse der Kurzschlussstromberechnung in der Netzgrafik.

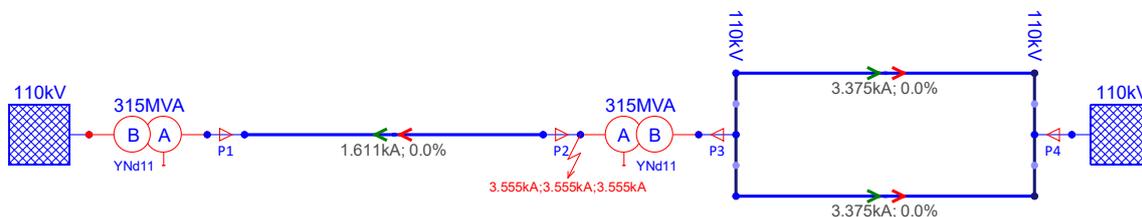


Abbildung 116: Ergebnisse der Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 in der Netzgrafik

Zusätzlich werden die vollständigen Ergebnisse im **Meldungsfenster** ausgegeben. Die nachfolgende Abbildung zeigt das **Meldungsfenster**. Der Inhalt des Meldungsfensters können wie bei Texteditoren üblich mit einer Maus zeilenweise oder auch mehrere Zeilen zusammen markiert und mit den Tasten **Strg + C** in die Zwischenablage kopiert werden.

```

Ergebnisse der Kurzschlussstromberechnung nach [fc=20Hz]
> VDE 0102 (IEC 60909) Stand Dezember 2016
> Berechnung Grösster Anfangs-Kurzschlusswechselstrom Ikmax
> Kurzschluss L123E; Te=20°; Un=380kV; c=1.1; Sk
>> Ik"PF(Erzeugungsanlage (DEA))=0A
>> Ik"=3.555kA;3.555kA;3.555kA
>> Zk=67.8900hm;67.8900hm;67.8900hm
>> 80.8156°;80.8156°;80.8156°
>> Re(Zk)=10.8360hm;10.8360hm;10.8360hm
>> Im(Zk)=67.0190hm;67.0190hm;67.0190hm
>> Tfn=19.687ms;19.687ms;19.687ms
>> Re(Zkfc)=10.5600hm;10.5600hm;10.5600hm
>> Im(Zkfc)=27.5610hm;27.5610hm;27.5610hm
>> Rc/Xc=0.15327;0.15327;0.15327
>> Xc/Rc=6.52462;6.52461;6.52462
>> Tfc=19.687ms;19.687ms;19.687ms
>> k=1.63878;1.63878;1.63878
>> iP=8.239kA;8.239kA;8.239kA
>> m=0.22309;0.22309;0.22309
>> n=1.00000;1.00000;1.00000
>> Ith=3.931kA;3.931kA;3.931kA

> Thermisch gleichwertiger Kurzschlussstrom
>> [Bb 1] Ithr=25.000kA; Tkr=1.000s; Tk=0.100s; Ithz=79.057kA : 110kV
>> [Bb 2] Ithr=25.000kA; Tkr=1.000s; Tk=0.100s; Ithz=79.057kA : 110kV

LF> Rechenzeit der Lastflussberechnung = 559ms

```

Abbildung 117: Ergebnisse der Kurzschlussstromberechnung im Meldungsfenster

Die Ergebnisse der Kurzschlussstromberechnung werden auch in einem **Bericht** (.XML-Datei) [21] im **Projektverzeichnis** gespeichert. Der Dateiname des Berichtes ist wie folgt definiert. Der **NetDateiname** ist der Dateiname der zugehörigen **.NET-Datei**.

**JJJJMMThhmmss\_NetDateiname\_KS0102.xml**

Der Bericht kann direkt mit einem Textverarbeitungsprogramm wie z.B. Word eingele- sen und weiterverarbeitet werden. Nachfolgend wird der Inhalt des Berichtes darge- stellt.

**Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 (IEC 60909)**

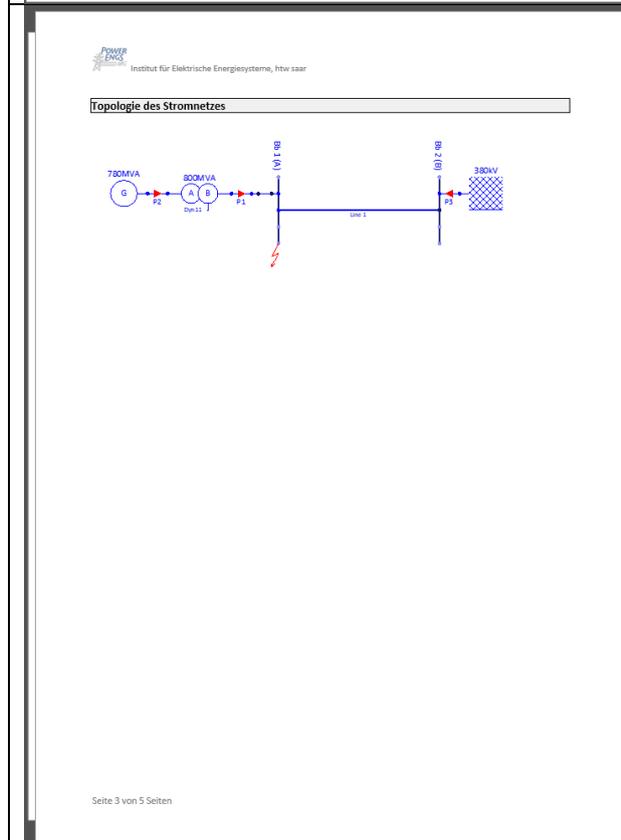
29.09.2024, 22:46:05:798  
 C:\ATPDesigner\09\_1\_VDE0102\_EEV2\KurzschlussNetz4.net  
 ATPDesigner Version 4.01.95 - 28.09.2024  
 Version NET File 5.6 - 25.02.2017

Seite 1 von 5 Seiten

**Bezeichner und Erläuterungen**

U <sub>L1, U<sub>L2, U<sub>L3</sub></sub></sub>	Betrag der Leiter-Erd-Spannungen in V und %Un/V3
U <sub>12, U<sub>23, U<sub>31</sub></sub></sub>	Betrag der Leiter-Leiter-Spannungen in V und %Un
U <sub>min, U<sub>max</sub></sub>	Betrag der kleinsten und größten Leiter-Erd- und Leiter-Leiter-Spannung U <sub>L123</sub> in V und %Un
U <sub>L1, U<sub>L2, U<sub>L3</sub></sub></sub>	Betrag der Leiter-Leiter-Spannungen U <sub>12, U<sub>23</sub> und U<sub>31</sub> in V und %Un</sub>
I <sub>L1, I<sub>L2, I<sub>L3</sub></sub></sub>	Betrag der Leiter-Erd-Spannungen U <sub>1, U<sub>2</sub> und U<sub>3</sub> in V und %Un/V3</sub>
I <sub>A, I<sub>B, I<sub>C</sub></sub></sub>	Betrag der Leiterströme in A und %In
I <sub>1, I<sub>2, I<sub>0</sub></sub></sub>	Betrag der Mitsystem-, Gegensystem- und Nullsystemspannung in V und %Un/V3
I <sub>1, I<sub>2, I<sub>0</sub></sub></sub>	Betrag des Mitsystem-, Gegensystem- und Nullsystemstroms in A und %In
I <sub>Lmax</sub> [A], [%]	Betrag des größten der Leiterströme I <sub>L123</sub> in A und %In <sub>max.Bed.</sub>
Maximale Auslastung [%]	Betrag des größten der Leiterströme I <sub>L123</sub> in %In
S [VA]	Betrag der Scheinleistung in VA
P [W]	Betrag der Wirkleistung in W
Q [var]	Betrag der Blindleistung in var
cosPhi	Verschiebungsfaktor cos phi = P / S
Auslastung [%]	Auslastung der Windungen A und B in %In
S <sub>L1, S<sub>L2, S<sub>L3</sub></sub> [VA]</sub>	Einphasige Scheinleistung der drei Leiter L1, L2, L3 in VA
P <sub>L1, P<sub>L2, P<sub>L3</sub></sub> [W]</sub>	Einphasige Wirkleistung der drei Leiter L1, L2, L3 in W
Q <sub>L1, Q<sub>L2, Q<sub>L3</sub></sub> [var]</sub>	Einphasige Blindleistung der drei Leiter L1, L2, L3 in var
HB	Handlungsbedarf
I <sub>Lmax</sub> [%]	Maximaler Leiterstrom I <sub>L123</sub> in %In
IN [%]	Netzfaktor (Grid Health) in %
m [p.u.]	Belastungsgrad nach VDE 0276
LF	Status Lastflussberechnung: Konvergenz=1, Divergenz=0, Abbruch=2, ungueltig=-1
TRIP	Netzschutz: AUS-Kommando - 0=gehend, 1=kommend
GEN	Netzschutz: Generallarmung - 0=gehend, 1=kommend
DSZ	Netzschutz: Distanz des Distanzschutzes mit AUS-Kommando
R <sub>ik</sub>	Netzschutz: Resistanz der Kurzschlussimpedanz im Mitsystem
X <sub>ik</sub>	Netzschutz: Reaktanz der Kurzschlussimpedanz im Mitsystem
DST	Daylight Saving Time: Sommerzeit = S, Winterzeit = W

Seite 2 von 5 Seiten



**Kurzschluss**

Kurzschluss	L1E
Betriebsmittel	Bb.1 Bb.1 (A)
Kurzschlussknoten	rechts

Seite 4 von 5 Seiten

POWER ENGS  
Institut für Elektrische Energiesysteme, htw saar

**Kurzschluss**

Kurzschluss	LIE
Betriebsmittel	[Bb 1] Bb 1 (A)
Kurzschlussnoten	rechts

Seite 4 von 5 Seiten

POWER ENGS  
Institut für Elektrische Energiesysteme, htw saar

**Ergebnisse der Kurzschlussstromberechnung nach [fc=20Hz]**

VDE 0102 (IEC 60909) Stand Juli 2002  
 Berechnung Kleinsten Anfangs-Kurzschlusswechselstrom  $I_{kmin}$   
 Kurzschluss LIE,  $T_e=140^\circ$ ,  $U_n=380kV$ ,  $c=1$ ,  $S_k$   
 $I_k=6.574kA$   
 $Z_k=33.375\Omega$   
 $\phi=95.28^\circ$   
 $Re(Z_k)=1.774\Omega$   
 $Im(Z_k)=33.328\Omega$   
 $T_{cr}=59.795ms$   
 $Re(Z_{eq})=2.237\Omega$   
 $Im(Z_{eq})=13.485\Omega$   
 $R/X=0.06635$   
 $X/R=15.07175$   
 $T_{cr}=59.795ms$

Thermisch gleichwertiger Kurzschlussstrom  
 [Bb 1]  $I_{thkr}=25.000kA$ ,  $T_{kr}=1.000s$ ,  $T_k=0.100s$ ;  $I_{thkr}=79.057kA$  - Bb 1 (A)  
 [Bb 2]  $I_{thkr}=25.000kA$ ,  $T_{kr}=1.000s$ ,  $T_k=0.100s$ ;  $I_{thkr}=79.057kA$  - Bb 2 (B)

**Ergebnisse der Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 (IEC 60909): Leitung**

Name	IL1 [A]	IL2 [A]	IL3 [A]	ILmax [A]	ILmax [%]	I1 [A]	I2 [A]	I0 [A]	Zustand
[Line 4] Line 1	1811.69	734.43	734.43	1811.69	0.00	848.52	848.52	116.56	Ohne

Name	Un [kV]	ULEnom [%]	ULEmax [%]	Zustand
[Line 4] Line 1	380.0	4.09	100.00	Ohne

**Ergebnisse der Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 (IEC 60909): Transformator 2-Wicklung**

Name	S [MVA]	S [MVA]	P [kW]	Q [kvar]	Umax [%]	Umin [%]	ILmax(A) [%]	ILmax(B) [%]	Zustand
[Tra 1] 800MVA	457720.33	57.22	-7.13	-457720.33	100.00	0.00	15.25	392.71	Ohne

Name	IL1(A) [A]	IL2(A) [A]	IL3(A) [A]	IL1(B) [A]	IL2(B) [A]	IL3(B) [A]	I(A) [A]	I(B) [A]	Zustand
[Tra 1] 800MVA	45534.17	3354.13	3354.13	4773.38	734.43	734.43	21994.50	1215.47	Ohne

Name	Position Stufenschalter	dUges [%U]	Wicklung A	dUges [%U]	Wicklung B	dUj [%U]	pro Stufe
[Tra 1] 800MVA	Spannungregler ausgeschaltet	---	---	---	---	---	---

Seite 5 von 5 Seiten

Abbildung 118: Ergebnisse der Kurzschlussstromberechnung in einem Bericht

## 10 Berechnung dynamischer Netzvorgänge

Der Rechenkern ATP (**A**lternative **T**ransients **P**rogramm, [www.eeug.org](http://www.eeug.org), [www.emtp.org](http://www.emtp.org)) wurde und wird auch weiterhin entwickelt, um dynamische Ausgleichsvorgänge in Stromversorgungsnetzen, die sog. Transienten zu berechnen. Die Berechnung dynamischer Ausgleichsvorgänge und insbesondere deren Validierung ist allerdings ungleich schwieriger und komplexer als die [Berechnung stationärer Netzzustände](#). Zur Berechnung der dynamischen Ausgleichsvorgänge bietet das ATP eine große Anzahl numerischer Modelle für Betriebsmittel wie z.B. Leitungen oder Synchrongeneratoren, die intern durch Differentialgleichungen beschrieben werden und mit der Sehnens-Trapez-Methode numerisch integriert werden. Näheres kann dem **ATP Rule Book** entnommen werden.

### 10.1 Integrationsmethode mit konstanter Rechenschrittweite $\Delta T$

Das ATP kann wegen der Integrationsmethode (Sehnens-Trapez-Formel) während eines Berechnungsvorgangs nur mit einer konstanten Schrittweite  $\Delta T$  arbeiten. Dies hat zur Folge, dass Schaltvorgänge und hier insbesondere das Öffnen von Schaltern numerische Oszillationen verursachen können, die als hochfrequente in aller Regel dreieckförmige Signalverläufe in den Diagrammen zu erkennen sind. Andererseits stellt die verwendete Integrationsmethode eine konvergente Lösung der Differentialgleichungen sicher.

Zusätzlich zu den vorhandenen Betriebsmittelmodellen bietet das ATP die Möglichkeit, anwenderspezifische numerische Modelle z.B. durch Laplace-Übertragungsfunktion mit Hilfe des Netzwerkelementes **TACS** oder der ATP eigenen Programmiersprache **MODELS** [Bd. 2] zu implementieren. ATPDesigner stellt programmintern für die Berechnung dynamischer Ausgleichsvorgänge eine große Anzahl von **MODELS** basierten numerischen Algorithmen automatisch zur Verfügung.

### Diskrete Fourier Transformation (DFT) zur Betragsberechnung

So können mit Hilfe der Diskreten Fourier Transformation, die für das **Mess/Schutzgerät** zur Verfügung steht, z.B. die netzfrequenten Beträge von Strömen, Spannungen und Leistungen berechnet und in Diagrammen als Zeitsignal dargestellt werden.

### 10.2 Berechnung eines Leitungskurzschlusses für die Leitungen *Line 1..3*

Mit Hilfe des Netzberechnungsprogramms ATP können die dynamischen Ausgleichsvorgänge in Stromversorgungsnetzen z.B. im Kurzschlussfall berechnet werden. In der nachfolgenden Abbildung wird ein 3-poliger Kurzschluss L123E an einer Leitung angenommen. Das hier beschriebene komplexe Kurzschlussmodell **Fehlerart** ist Bestandteil nur der Leitungen **Line 1..3**.

- ⇒ Der Kurzschluss an den Netzwerkelementen **Line 1..3** (Kurzschlussort) unterscheidet sich wesentlich von dem **Kurzschluss**<sup>7</sup> (**roter Blitz**), der durch den Mauscursor mit einem **Left Mouse Button Click** an einen beliebigen Netzknoten oder einen Ort entlang einer Leitung gesetzt werden kann.

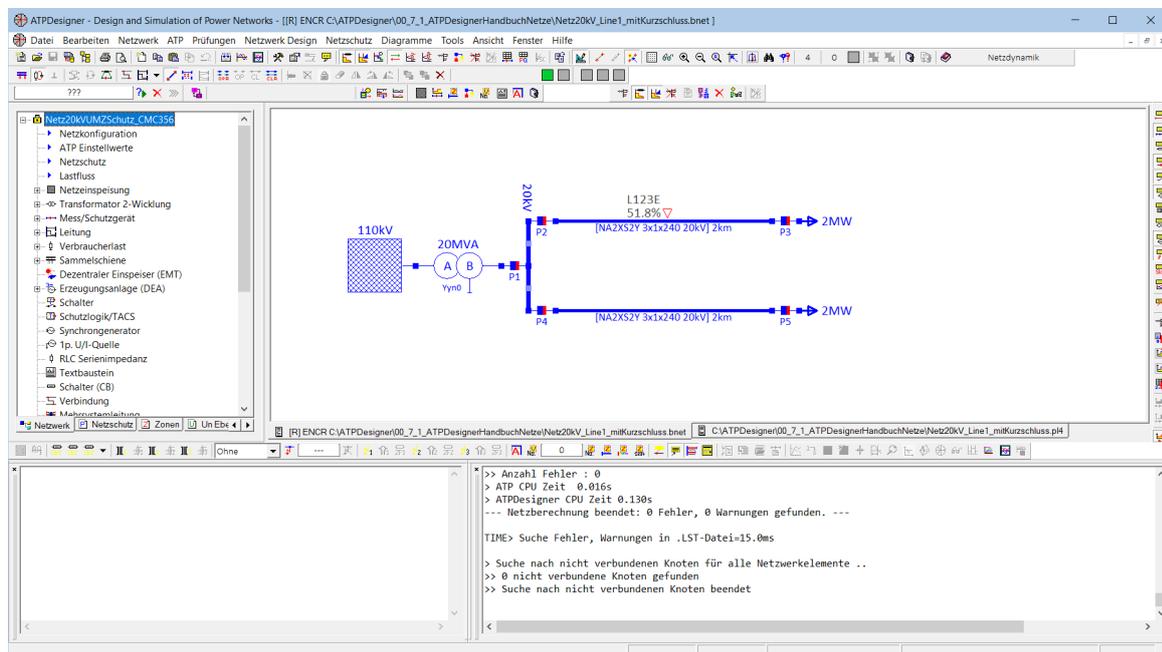
---

<sup>7</sup> **Kurzschluss (roter Blitz)**: Einstelldialog **Netzkonfiguration**, Registerkarte **Kurzschluss**, [Bd. 2]

Der Kurzschluss wird mit Hilfe des an der Leitung **Line 1** einstellbaren Fehlers (**Left Mouse Button Click** auf den Toolbar-Button  in der unteren Toolbar, um den Einstelldialog des Kurzschlusses zu öffnen) nachgebildet (siehe **rotes Dreieck** mit Fehlerart L123E in der nachfolgenden Abbildung). Diese Methode, Leitungsfehler einzustellen, kann nur für die Leitungen **Line 1..3** verwendet werden. Die zugehörigen Fehlerarten können per Toolbar oder im Hauptmenü eingestellt werden. Die Menüpunkte sind nur aktiv, wenn die zugehörige Leitung **Line 1..3** aktiv ist.

- Hauptmenü **Netzwerk**
- Menüpunkt **Fehlerart, Fehlerart Leitung 1..3**

Die Messung der Spannungen und Ströme erfolgt am Leitungsanfang mit Hilfe des **Mess/Schutzgerätes P2**. Die Pfeilrichtung zeigt die positive Strommessrichtung an. Die am Messort gemessenen Leiterströme sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

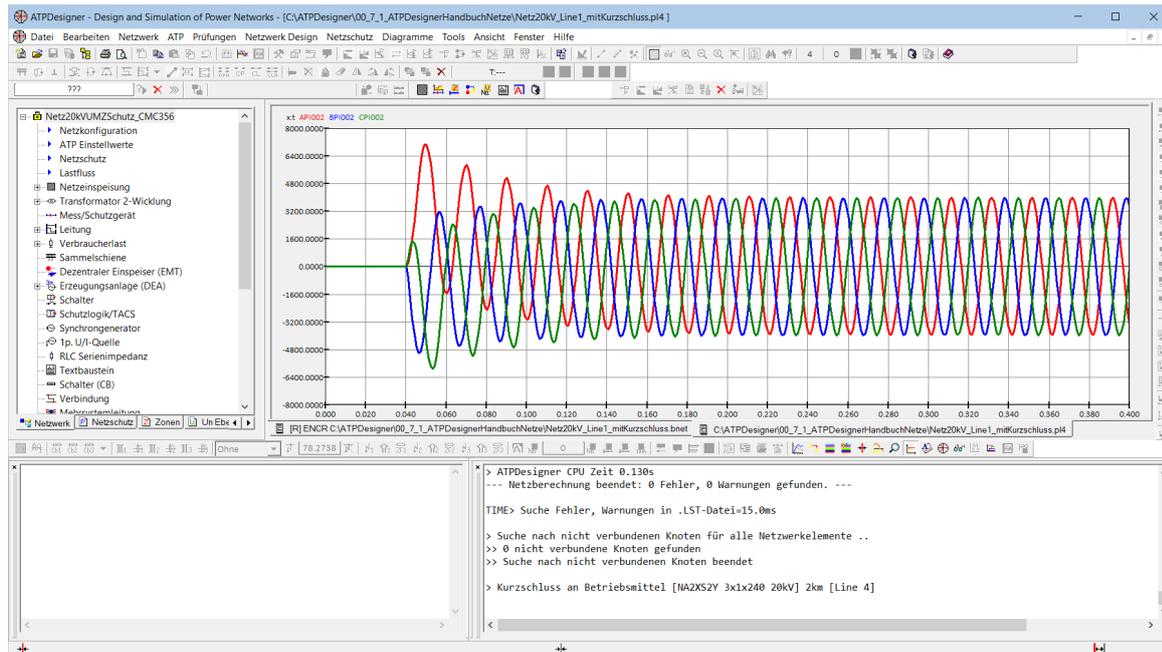


The screenshot displays the ATPDesigner interface. The main window shows a power network diagram with a 110kV source, a 20MVA transformer, and two 20kV lines (Line 1 and Line 2) connected to 2MW loads. A fault (L123E) is indicated on Line 1 with a 51.8% fault level. The console window shows the following output:

```

>> Anzahl Fehler : 0
> ATP CPU Zeit 0.016s
> ATPDesigner CPU Zeit 0.130s
--- Netzberechnung beendet: 0 Fehler, 0 Warnungen gefunden. ---
TIME> Suche Fehler, Warnungen in .LST-Datei=15.0ms

> Suche nach nicht verbundenen Knoten für alle Netzwerkelemente ...
>> 0 nicht verbundene Knoten gefunden
>> Suche nach nicht verbundenen Knoten beendet
  
```



**Abbildung 119: Leiterströme beim 3-poligem Kurzschluss L123E**

Der Kurzschlussort (**rotes Dreieck**) kann per Maus verschoben werden. Dazu wird der Mauscursor „über“ den roten Pfeil bewegt und die linke Maustaste gedrückt. Mit gedrückter linker Maustaste kann der Fehlerort zwischen 0% und 100% der Leitungslänge bewegt werden. Um die dynamischen Ausgleichsvorgänge zu analysieren, können die zeitlichen Verläufe der Leiter-Erd-Spannungen  $u_{L123}(t)$  und Leiterströme  $i_{L123}(t)$  berechnet und in einem Diagramm dargestellt werden.

Die Berechnung der Zeitverläufe wird mit Hilfe des Toolbar-Buttons  oder per Menüpunkt gestartet.

- Hauptmenü **ATP**
- Menüpunkt **.ATP-Datei schreiben und ATP ausführen**

Das ATP berechnet die zeitlichen Verläufe als Abtastwerte und speichert diese in einer Diagrammdatei (.PL4-Datei). Mit Hilfe des in ATPDesigner integrierten **Diagrammviewers** können die Zeitverläufe dargestellt und z.B. bzgl. der Frequenzspektren analysiert werden.

- ⇒ Die für die Berechnung der Zeitverläufe relevanten allgemeinen Simulations-Einstellwerte werden im Einstelldialog **ATP Einstellwerte** eingestellt. 

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Einstelldialog **Fehlerart von Leitung 1** zur Einstellung eines Kurzschlusses für Leitung 1 **Line 1**. In diesem Beispiel ist nur einer der bis zu drei möglichen Fehlern mit der Fehlerart L123E aktiviert. Der Fehler tritt ein nach Ablauf der fehlerfreien Vorlaufzeit = **Vorlauf + Startzeit**. Der fehlerfreie **Vorlauf** ist im Einstelldialog **ATP Einstellwerte** im Hauptmenü **Netzwerk** einstellbar. Der Fehler endet nach Ablauf der Fehlerstandzeit = **Vorlauf + Endezeit**. Es muss beachtet werden, dass die gesamte Simulationszeit **Zeit** im Einstelldialog **ATP Einstellwerte** größer ist als die Fehlerstandzeit.

**Fehlerart von Leitung 1**

Definition Fehlerart und Fehlerzeiten

Fehlerart	Winkel	Startzeit	Endezeit
L123E	0	0 ms	5 ms
Ohne	0	0 ms	1e+15 ms
Ohne	0	0 ms	1e+15 ms

Off  On

Leiterspezifischer Fehlerschalter

Schließen		Öffnen			
Leiter L1 =	0 ms	Leiter L1 =	5 ms	Fehlerstart =	0 ms
Leiter L2 =	0 ms	Leiter L2 =	5 ms	Fehlerende =	5 ms
Leiter L3 =	0 ms	Leiter L3 =	5 ms	Vorlauf =	400 ms
Leiter E =	0 ms	Leiter E =	5 ms	Sim.zeit =	800 ms

OK  
Abbrechen  
Default  
Hilfe  
Alles löschen

**Abbildung 120: Dialog zum Einstellen des Leitungsfehlers L123E**

Alternativ zum Einstellwert **Startzeit** kann auch der Einstellwert **Winkel** verwendet werden, um die Startzeit des Kurzschlusses festzulegen. Um jetzt die fehlerfreie Vorlaufzeit zu berechnen, muss der elektrische Winkel in Grad mit der Netznennfrequenz  $f_n$  in Millisekunden umgerechnet und wie schon vorher zur fehlerfreien Vorlaufzeit **Vorlauf** hinzuzaddiert werden.

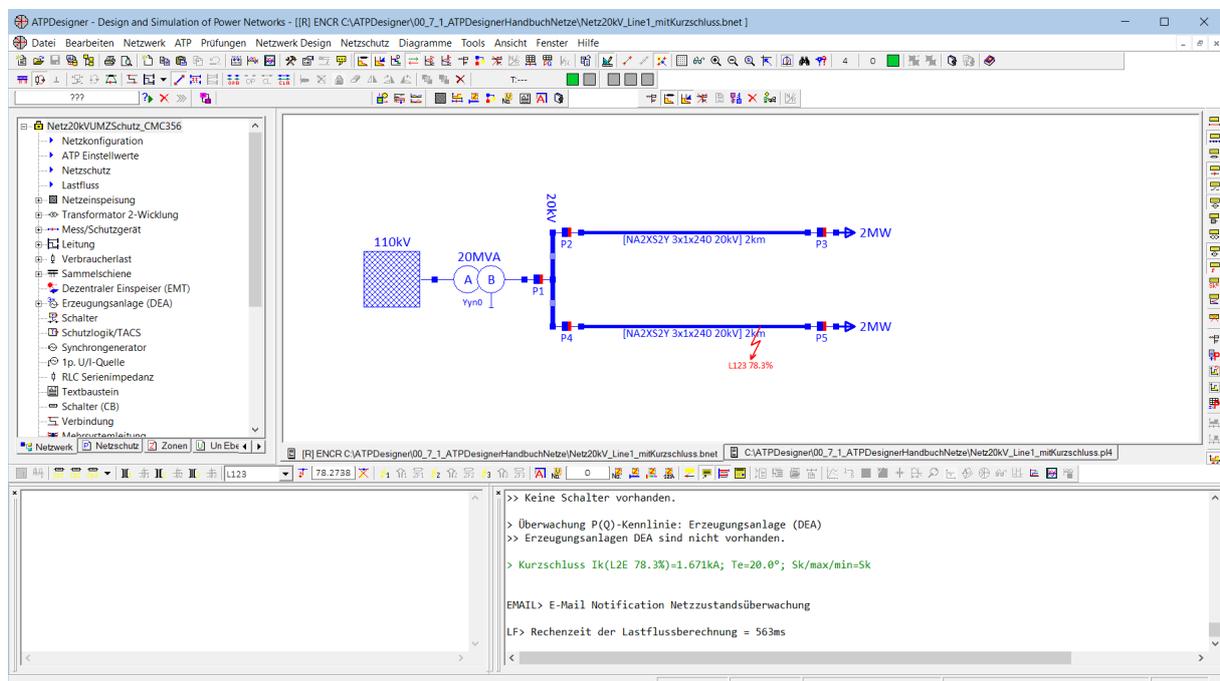
- ⇒ ATPDesigner bildet je nach Lage des Fehlerortes auf den Leitungen **Line 1..3** die fehlerbetroffene Leitung durch zwei Leitungsabschnitte des gleichen Leitungstyps mit gleichem Leitungsmodell unterschiedlicher Länge nach. Die Aufteilung in zwei Leitungsabschnitte erfolgt nur für Fehlerorte im Intervall [0,1%...99,9%] der Leitungslänge. Für alle anderen Fehlerorte wird der Fehlerort auf den Knoten am Leitungsanfang oder am Leitungsende gelegt.

### 10.3 Berechnung eines Netzkurzschlusses an einem beliebigen Netzknoten

Eine weitere Methode zur Berechnung von Netzkurzschlüssen kann mit Hilfe des **Kurzschluss** durchgeführt werden. Diese Methode hat den Vorteil, dass der Kurzschluss

- an jedem Netzknoten und
- an jedem Ort einer **Leitung** mit Ausnahme der Leitungen **Line 1..3**

durch den Mauscursor positioniert werden kann. Es muss beachtet werden, dass der Kurzschluss<sup>7</sup> im Einstelldialog **Netzkonfiguration**, Registerkarte **Kurzschluss** eingestellt werden kann, z.B. der Zeitpunkt des Fehlereintrittes, die Fehlerart, der Fehlerübergangswiderstand, etc. Der Einstelldialog kann auch durch einen **Left Mouse Button Double Click** auf das grafische Symbol des Kurzschlusses, d.h. auf den **roten Blitz** geöffnet werden.



**Abbildung 121: Berechnung eines Netzkurzschlusses**

Die Abbildung zeigt einen **Kurzschluss** an einer Leitung. ATPDesigner teilt auch hier die Leitung entsprechend dem Fehlerort in zwei Leitungsabschnitte auf, sofern sich der Fehlerort im Intervall [0,1%...99,9%] der Leitungslänge befindet.

Im Falle der **Berechnung stationärer Netzzustände** werden Einstelldaten wie z.B. der **Kurzschlusseintritt [ms] in einem Tooltip** angezeigt, wenn der Mauscursor über das grafische Symbol des **Kurzschlusses** bewegt wird.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die zeitlichen Verläufe der Kurzschlussströme, die am Messort des **Mess/Schutzgerätes P1** berechnet wurden.

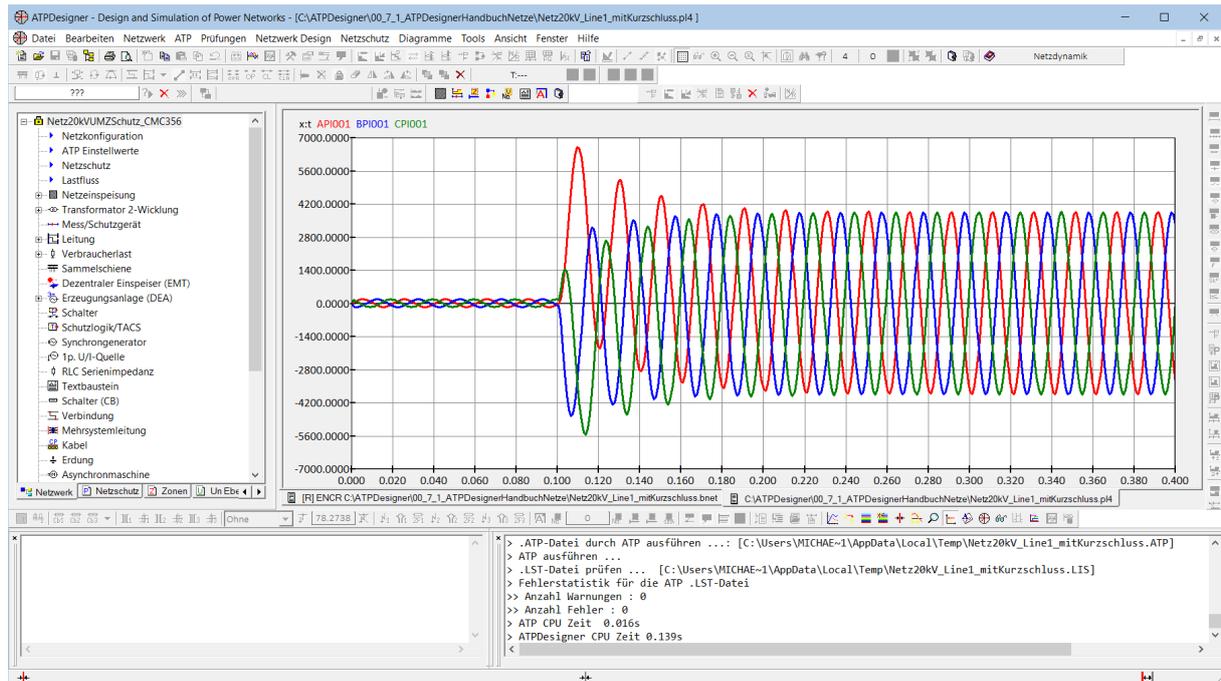


Abbildung 122: Kurzschlussstrom am Messort P1

Signal	Bedeutung
<b>API001</b>	Leiterstrom $i_{L1}(t)$
<b>BPI001</b>	Leiterstrom $i_{L2}(t)$
<b>CPI001</b>	Leiterstrom $i_{L3}(t)$

## 10.4 Darstellung der Zeitsignale als Diagramm

Nachdem die Spannungen, Ströme, Leistungen, etc.

- durch **STRG + R** oder
- den Menüpunkt **.ATP-Datei schreiben und ATP ausführen** im Hauptmenü **ATP** oder
- den Toolbar-Button 

berechnet wurden, kann die zugehörige Diagrammdatei (.PL4-Datei), in der die berechneten Abtastwerte gespeichert sind, durch einen **Left Mouse Button Click** auf den Toolbar-Button  geöffnet werden. ATPDesigner bietet die vorhandenen Signale in einem Dialog zur Auswahl an. Nach dem ATP-spezifischen Signalnamen wie z.B. **TACS-APV001** wird sofern verfügbar der anwenderspezifische Name des Netzwerkelementes z.B. **[P1]** für das zugehörige **Mess/Schutzgerät** angezeigt.

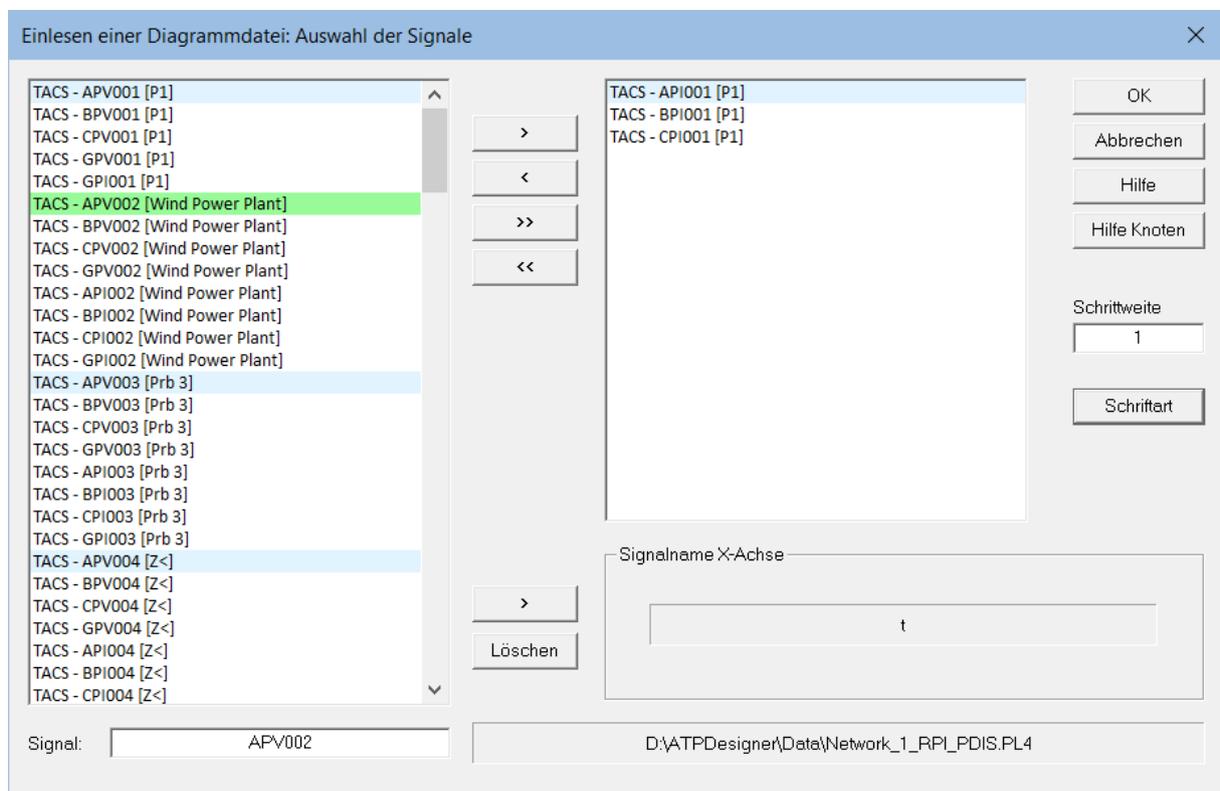


Abbildung 123: Dialog zur Auswahl der Zeitsignale für ein Diagramm

Bedienelement	Bedeutung
<b>OK</b>	Dialog schließen und Diagramm zeichnen
<b>Abbrechen</b>	Dialog schließen und Diagramm nicht zeichnen
<b>Schrittweite</b>	Mit dem Einstellwert kann eine Schrittweite festgelegt werden, die für das Zeichnen des Polygonzuges der Signale im Diagramm verwendet wird. Dadurch ist es möglich, nur jeden n-ten Abtastwert aus der Diagrammdatei zu zeichnen.
<b>Schriftart</b>	Die Schriftart zur Darstellung der Bezeichner in den beiden Listen kann eingestellt werden.

Die darzustellende Zeitsignale müssen in der linken Liste mit einem **Left Mouse Button Click** ausgewählt und mit Hilfe der Pfeil-Buttons oder per **Left Mouse Button Double Click** auf den Signalnamen in die rechte Liste verschoben werden. Durch das Drücken des Buttons **OK** wird das Diagramm erstellt und angezeigt.

#### 10.4.1.1 Eingabefeld Signal

Um ein Signal in der linken Liste zu suchen, kann der Signalname im unteren Editierfeld **Signal** eingetragen werden. ATPDesigner markiert den Signalnamen **hellgrün** und verschiebt die Liste so, dass der Signalname in der Mitte der Auswahlliste zu finden ist.

#### 10.4.1.2 Darstellung der Signale in einem Diagramm als Polygonzug

Die Signalverläufe im Diagramm werden als Polygonzug gezeichnet. Zwischen den berechneten Augenblickswerten der Ströme, Spannungen, etc. wird mit Hilfe einer Geraden eine Verbindung gezeichnet. In Abhängigkeit der physikalischen (Pixel)Auflösung des Bildschirms wählt ATPDesigner automatisch eine Schrittweite  $\geq 1$  aus, mit der die berechneten Augenblickswerte zur Darstellung der Signalverläufe im Diagramm verwendet werden.

#### 10.4.2 Schließen eines Diagramms – Diagrammansicht, Netzwerkansicht

Ein Diagramm kann auf die gleiche Art und Weise geschlossen werden wie die Netzansicht z.B. durch einen **Left Mouse Button Click** auf die rechte obere Ecke des Diagrammrahmens. Wird eine Netzwerkansicht geschlossen, so wird automatisch auch die zugehörige Diagrammansicht geschlossen.

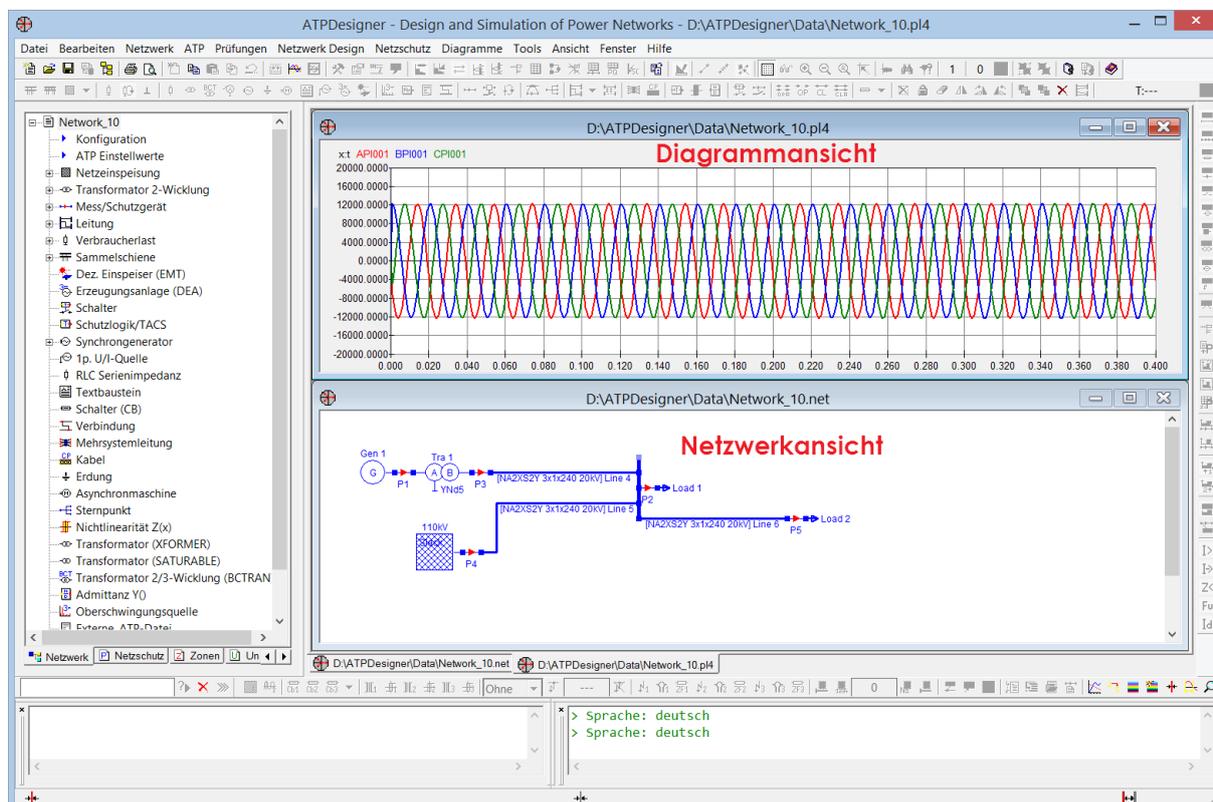


Abbildung 124: Diagrammansicht und Netzwerkansicht

### 10.4.3 Darstellung von X/Y-Diagrammen mit anwenderspezifischer X-Achse

Die Bedeutung der X-Achse ist in der Grundeinstellung als Zeit  $t$  eingestellt, um zeitabhängige Signalverläufe z.B.  $u(t)$  darzustellen.

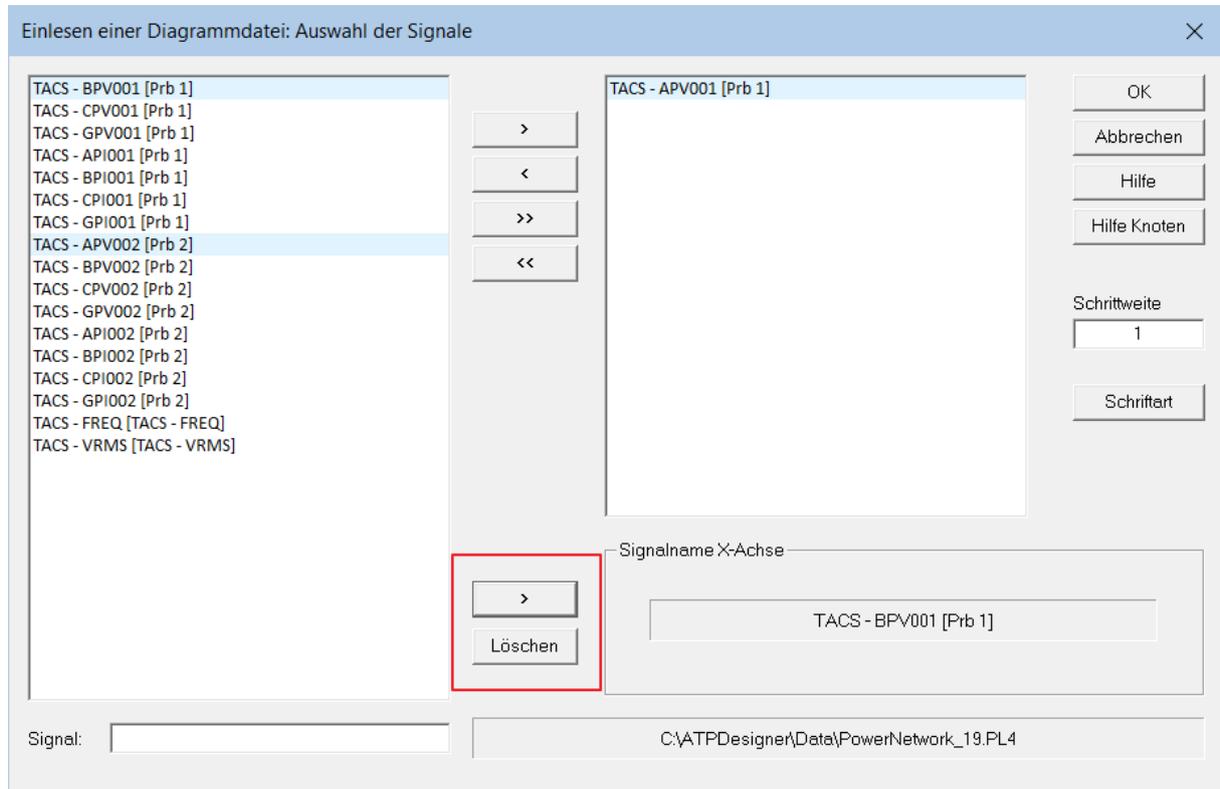


Abbildung 125: Änderung der Bedeutung der X-Achse für ein Diagramm

Bezeichner	Bedeutung
	Der in der linken Auswahlliste markierte Signalname wird als <b>Signalname X-Achse</b> verwendet.
	Der <b>Signalname X-Achse</b> wird in die Grundeinstellung $t$ zurückgesetzt.

Die Bedeutung der X-Achse kann aber mit Hilfe der beiden unteren Buttons verändert werden. In der nachfolgenden Abbildung ist beispielhaft ein entsprechendes Diagramm dargestellt. Diese Diagrammart eignet sich insbesondere für die Ortskurven  $X=f(R)$ , die im Bereich der Netzschutztechnik als **Impedanz-Trajektorien** bekannt sind.

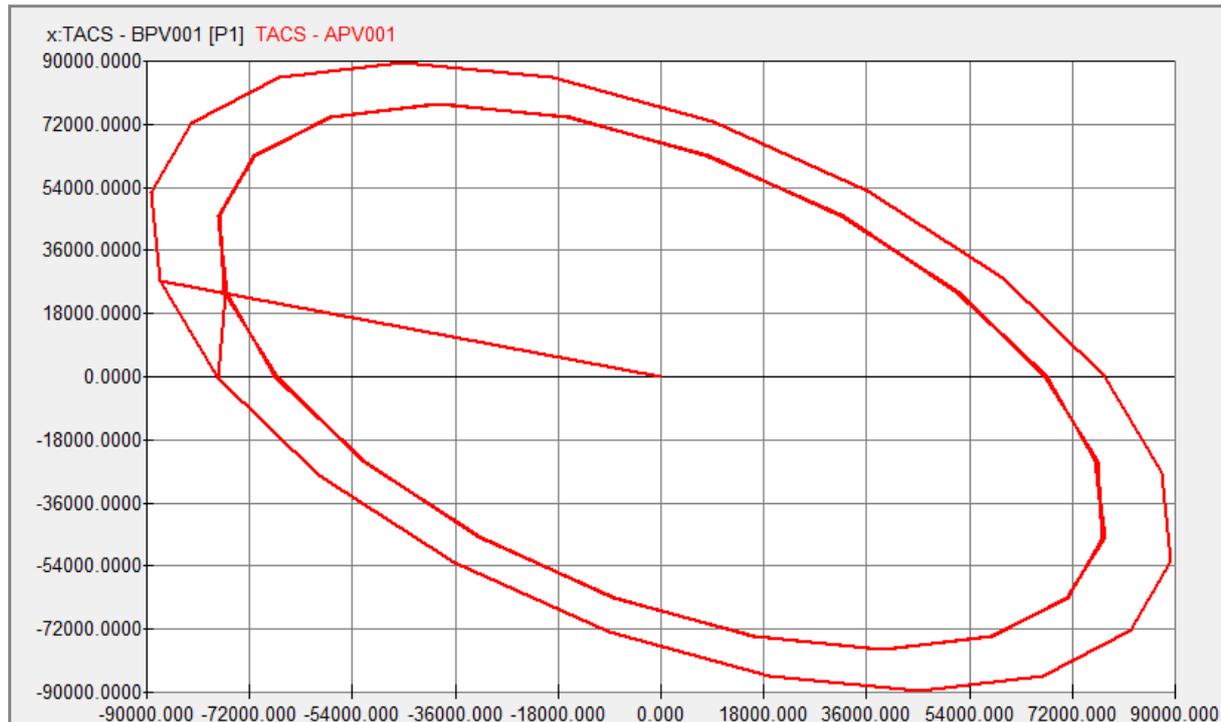


Abbildung 126: Diagramm mit anwenderspezifischer X-Achse

## 10.5 Zeitsignale im Diagramm ändern

Die Auswahl, der in einem Diagramm dargestellten Zeitsignale kann jederzeit verändert werden. Dazu muss mit Hilfe des Buttons  der [Dialog zur Auswahl der Zeitsignale](#) geöffnet und die Auswahl der Signale in der rechten Liste geändert werden. Der rechte Teil der unteren Toolbar wird nur aktiv, wenn ein Diagramm als oberstes Fenster (Top Most Window) per **Left Mouse Button Click** ausgewählt wurde.

## 10.6 Ermittlung der Augenblickswerte von Zeitsignalen

Sind Spannungen und Ströme als Zeitsignale in einem Diagramm dargestellt, so können die Augenblickswerte mit Hilfe der beiden Grafikkursor ermittelt werden. Die beiden Grafikkursor werden durch Drücken des Buttons  aktiviert und durch ein **Left Mouse Button Click** im Diagramm positioniert.

Die beiden Grafikkursor liegen je nach Skalierung der Zeitachse sehr dicht zusammen oder sogar übereinander und könnten optisch als gemeinsame Linie erkannt werden. ATPDesigner ermittelt die Augenblickswerte (Abtastwerte) der Zeitsignale an den beiden Cursor-Positionen und gibt die Zahlwerte in SI-Einheiten (aber ohne Ausgabe der physikalischen Einheit) in der Statuszeile aus:



Die Augenblickswerte der Zeitsignale an der Position des roten und grauen Grafikkursor werden in der Statuszeile ausgegeben. Zusätzlich wird die Breite des durch die beiden Grafikkursor definierten Zeitbereiches angegeben:  0.0200 = 20ms.

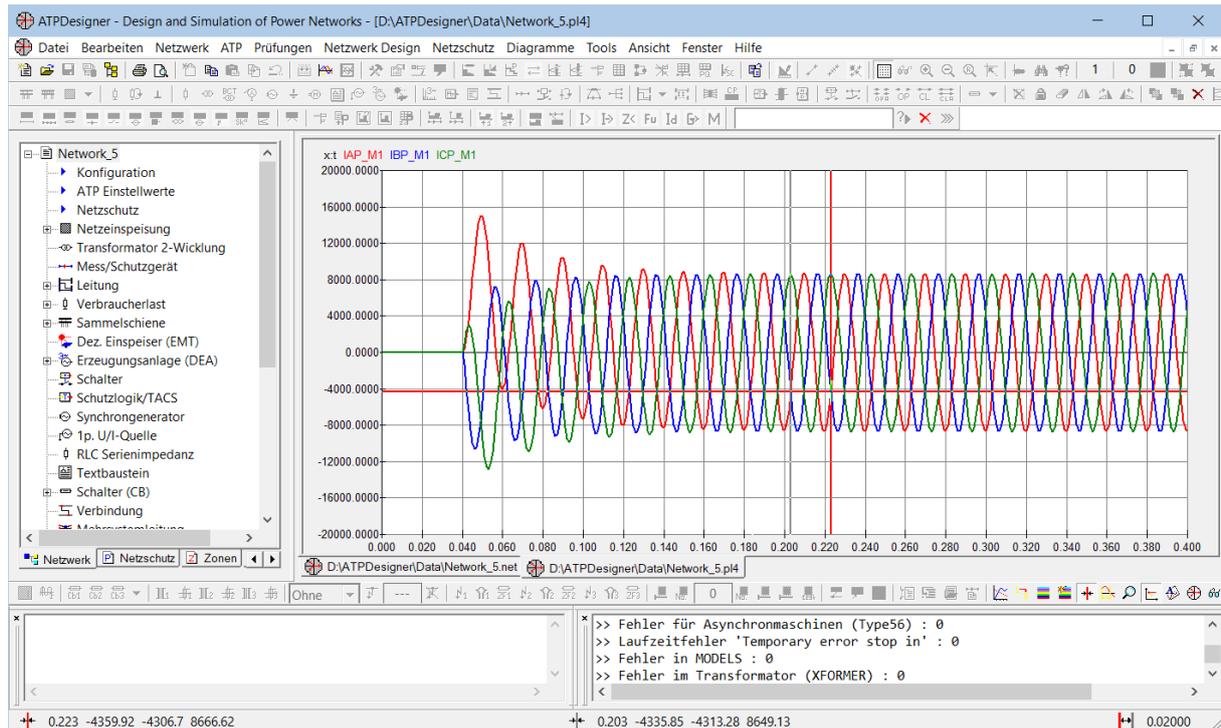


Abbildung 127: Ausgabe der Augenblickswerte in SI-Einheiten in der Statusbar

## 10.7 Zoomen von Teilen des Diagramms

Durch Drücken des Toolbar-Buttons  kann bei permanent gedrücktem **Left Mouse Button** ein Zoom-Frame aufgezogen werden. Beim Loslassen der linken Maustaste wird der Teil des Diagramms, der in dem Zoom-Frame enthalten war, vergrößert dargestellt.

## 10.8 Neuzeichnen des Diagramms

Das Diagramm kann durch Drücken des Toolbar-Buttons  wieder in den originalen Zustand zurückversetzt werden. Während des Neuzeichnens (Refresh) werden die Abtastwerte aus der [Diagrammdatei](#) erneut eingelesen.

## 10.9 Berechnung von Amplitude, Phasenwinkel und Frequenzspektrum

Sind Spannungen und Ströme als Zeitsignale  $u(t)$  und  $i(t)$  in einem Diagramm dargestellt, so können die komplexen Zeiger d.h. die Amplituden und Phasenlagen der im Diagramm dargestellten Zeitsignale mit Hilfe der in ATPDesigner integrierten Signalanalyse ermittelt werden. Dazu muss zunächst, der Zeitbereich, für den die komplexen Zeiger  $\underline{U}$  und  $\underline{I}$  mit Hilfe der **Diskreten Fourier Transformation** (DFT) berechnet werden sollen, mit Hilfe der beiden Grafikkursor definiert werden.

Nach einem **Left Mouse Button Down**  in der unteren Toolbar können die beiden Grafikkursor durch Drücken der linken Mouse Taste im Diagramm positioniert werden. Als Grundeinstellung umfasst der durch die beiden Grafikkursor eingegrenzte Zeitbereich eine Periode der Netznennfrequenz  $f_n$ . Für die Netznennfrequenz  $f_n = 50\text{Hz}$  ergibt sich ein Zeitbereich von 20ms.

Die Ergebnisse der Spektralanalyse werden in einem nicht-modalen Dialog dargestellt, der parallel zu dem Hauptprogramm ATPDesigner geöffnet bleiben kann. Netzwerk und Diagramme können weiterbearbeitet werden, ohne den nicht-modalen Dialog zu schließen. Der nachfolgend dargestellte Dialog **Signalanalyse** wird durch einen **Left Mouse Button Down**  geöffnet. Der Dialog wird automatisch geschlossen, wenn die Ansicht des zugehörigen Netzes oder ATPDesigner geschlossen wird.

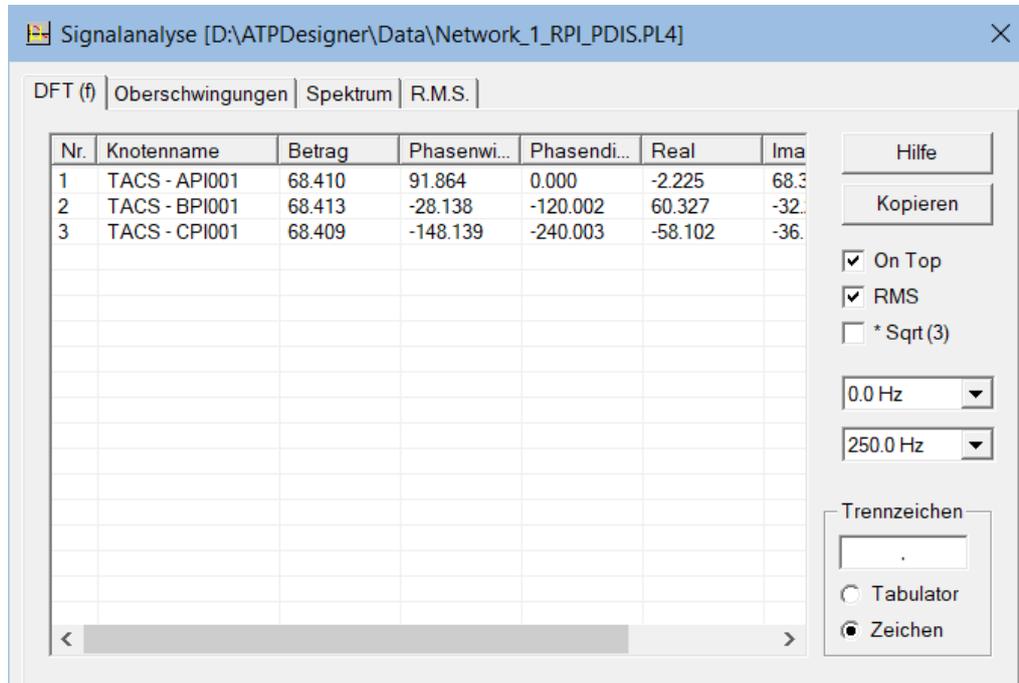


Abbildung 128: Nicht-modaler Dialog **Signalanalyse**

Einstellwert	Bedeutung
<b>On Top</b>	Ist diese Option aktiviert, so ist der Einstelldialog <b>Signal Analysis</b> das <b>Top Most Window</b> und überlagert alle anderen Programmfenster.
<b>RMS</b>	Die Werte werden als Effektivwerte in der Tabelle ausgegeben.
<b>* Sqrt (3)</b>	Die Werte werden mit dem Wert $\sqrt{3}$ multipliziert. Damit ist eine Umrechnung z.B. der Leiter-Erd-Spannungen und Leiter-Leiter-Größen möglich.
<b>Kopieren</b>	Der Inhalt der Tabelle wird als .CSV-Datei in die Zwischenablage kopiert. Die Spalten der .CSV-datei werden durch ein Trennzeichen getrennt. <ul style="list-style-type: none"> <li>Das Trennzeichen kann frei durch den Anwender definiert werden.</li> <li>Als Trennzeichen wird ein Tabulator verwendet.</li> </ul>

### 10.9.1 Registerkarte **DFT(f)**

In Registerkarte DFT (f) werden wie oben dargestellt die komplexen Zeiger der Grundschwingungen aller Zeitsignale, die in dem Diagramm enthalten sind, in SI-Einheiten ohne Angabe der physikalischen Einheit angegeben. Der Messwert **Phasendifferenz** ist die Phasendifferenz der Signale Nr. 2...N bezogen auf das Signale Nr. 1, das in der ersten Zeile angegeben ist. Die Berechnung der Werte erfolgt mit Hilfe einer Diskreten Fourier Transformation für die Filterfrequenz **DFT f**.

- ⇒ Die hier benannte Grundschiwingung ist nicht zwangsweise identisch mit der Netznenfrequenz  $f_n$  des Stromversorgungsnetzes, die im Einstelldialog der **Netz-einspeisung Network 1** mit dem Einstellwert  $f_n$  eingestellt wird. Die Grundschiwingung wird im Einstelldialog **Diagramm Einstellwerte** mit dem Einstellwert **DFT f** eingestellt.

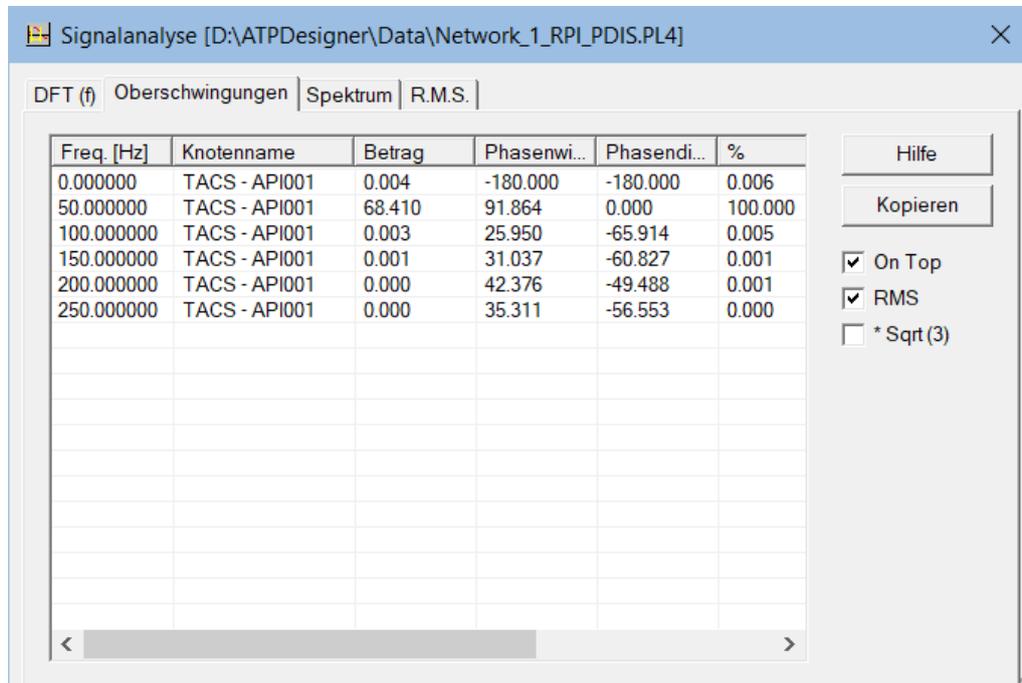


Abbildung 129: Oberschwingungsspektrum für ein ausgewähltes Signal

### 10.9.2 Registerkarte **Oberschwingungen**

Wird in der Registerkarte **DFT(f)** ein Signal durch einen **Left Mouse Button Click** auf die entsprechende Zeile der Tabelle markiert und danach bei weiterhin markierter Zeile die Registerkarte **Oberschwingungen** ausgewählt, so wird für das ausgewählte Signal das Frequenzspektrum angezeigt.

Die Frequenzen des Oberschwingungsspektrums sind entsprechend der Theorie der Fourier Transformation von der Abtastfrequenz  $f_a$ , die bei der Berechnung der Zeitsignale durch das ATP verwendet wird, und der zeitlichen Länge des durch die beiden Grafikkursor eingegrenzten Zeitbereiches  $T$  abhängig. Der durch die beiden Grafikkursor eingegrenzte **Zeitbereich T** definiert die **Auflösung des Betragspektrums  $df$** .

$$df = \frac{1}{T} = \frac{1}{N \cdot dt} = \frac{f_a}{N}$$

mit der **Abtastfrequenz**  $f_a = \frac{1}{dt}$

Der Parameter  $dt$  entspricht dem Einstellwert **dt** im Einstelldialog **ATP Daten**.

Da die Fourier-Transformation streng genommen nur für periodische Signale der **Periodendauer  $T_M$**  definiert ist, muss der durch die beiden Grafikkursor eingegrenzte Zeitbereich  $T$  mit der Periodendauer  $T_M$  des zu betrachtenden Signals identisch sein, um den Leckeffekt (Leakage) zu vermeiden.

$$T = T_M$$

Ist die Netzfrequenz  $f_n = 50\text{Hz}$  (entweder Einstelldialog **Network 1** oder **Einstellungen Elektrisches Netz**) eingestellt, so muss die Auflösung des Betragsspektrums  $df = 50\text{Hz}$  betragen. Als Konsequenz sollte der Einstellwert **DFT(f)** = 50Hz ebenfalls auf die Netzfrequenz eingestellt werden. Im Weiteren muss darauf geachtet werden, dass die Anzahl Abtastwerte  $N$  innerhalb des durch die beiden Grafikkursor eingegrenzten Zeitbereiches  $T$  immer eine ganze Zahl ist.

$$N = \frac{f_a \cdot T}{f_n} = \text{Ganze Zahl}$$

Dies kann z.B. dann erreicht werden, wenn die Abtastfrequenz  $f_a = 1000\text{Hz}$  gewählt wird. Aus der Abtastfrequenz  $f_a$  kann dann direkt der Einstellwert  $dt$  ermittelt werden.

$$dt = \frac{1}{f_a}$$

Ist der Zeitbereich  $T$  der beiden Grafikkursor auf  $DFT(f) = 50\text{Hz}$  eingestellt, so ergibt sich:

$$T = \frac{1}{DFT(f) = 50\text{Hz}} = 20\text{ms}$$

$$df = \frac{1}{20\text{ms}} = 50\text{Hz}$$

Darüber hinaus muss die Abtastfrequenz  $f_a$  und die Netzfrequenz  $f_n$

- $f_a = 1.000\text{Hz}$ ,  $T = 20\text{ms}$  :  $df = 50\text{Hz}$ ,  $f_{\text{max}} = 500\text{Hz}$
- $f_a = 10.000\text{Hz}$ ,  $T = 20\text{ms}$  :  $df = 50\text{Hz}$ ,  $f_{\text{max}} = 5000\text{Hz}$

### 10.9.3 Registerkarte Spektrum

Wird in der Registerkarte **DFT(f)** ein Signal durch einen **Left Mouse Button Click** auf die entsprechende Zeile der Tabelle markiert und danach bei weiterhin markierter Zeile die Registerkarte **Spektrum** ausgewählt, so wird für das ausgewählte Signal das Frequenzspektrum als Balkendiagramm angezeigt. Es werden nur die Beträge der Spektrellinien dargestellt.

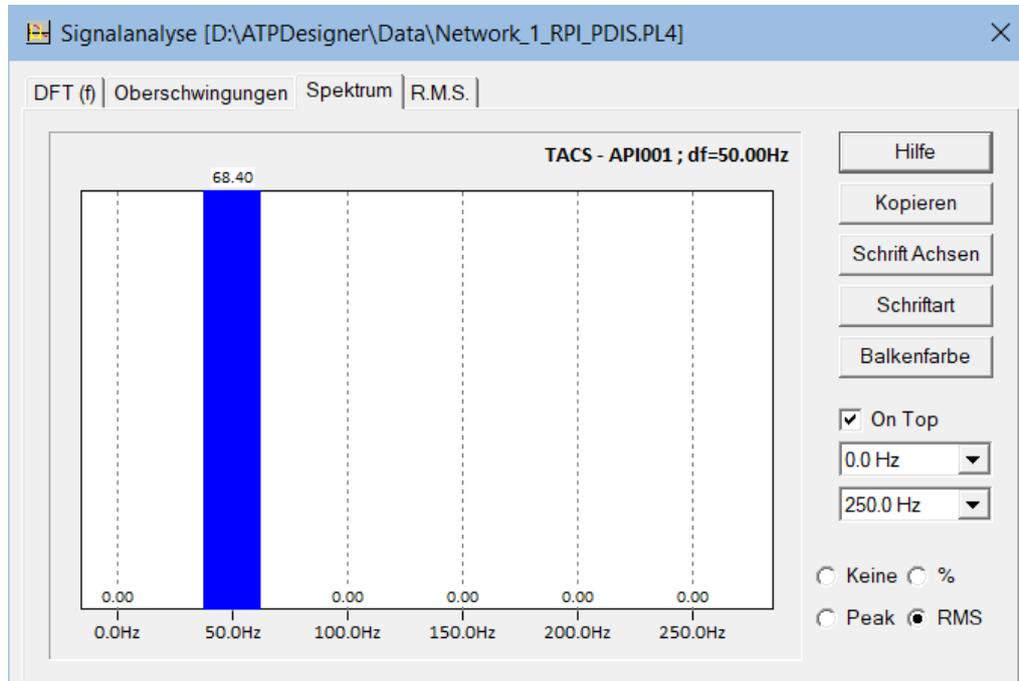


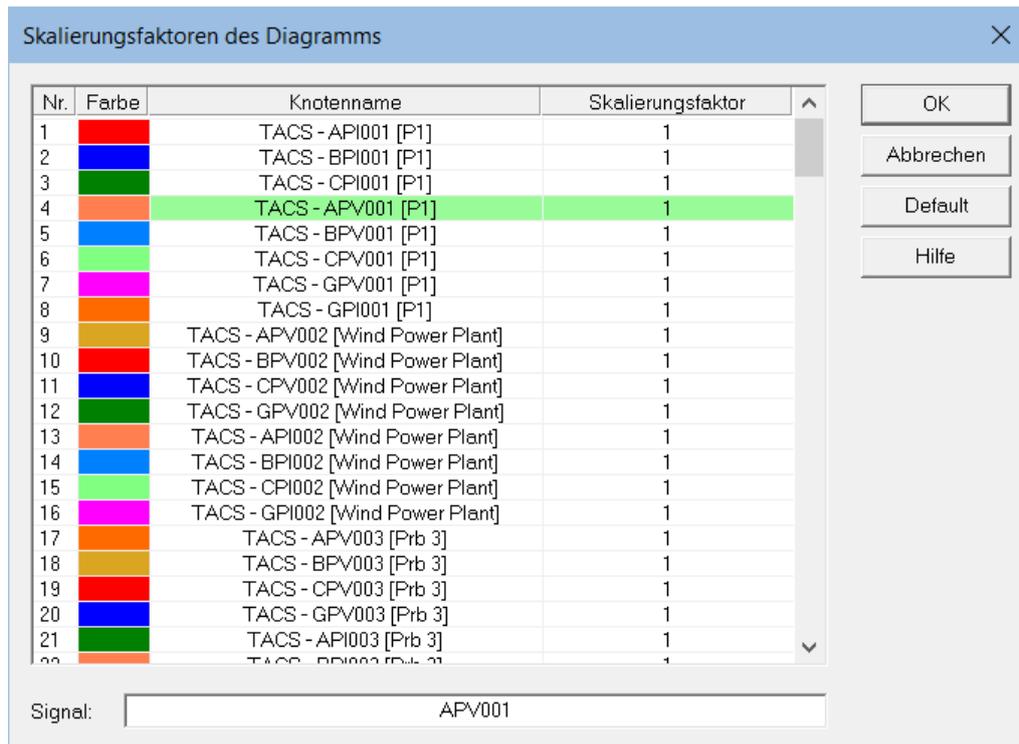
Abbildung 130: Frequenzspektrum als Balkendiagramm

Bedienelement	Bedeutung
<b>Schriftart</b>	Die Schriftart der Texte an den Balken kann eingestellt werden.
<b>Balkenfarbe</b>	Die Zeichenfarbe des Balkens kann eingestellt werden.
<b>Schriftart Achsen</b>	Die Schriftart der Achsen kann eingestellt werden.

- Der dargestellte Frequenzbereich des Balkendiagramms (hier von 0Hz bis 1000Hz) kann mit Hilfe der beiden rechten Auswahllisten eingestellt werden.
- Die Amplitudenwerte können als Effektivwert in SI-Einheiten (**RMS**), als Spitzenwert in SI-Einheiten (**Peak**) oder in Prozent der Grundschiwingung (**%**) dargestellt werden.
- Die Größe des nicht-modalen Dialogs kann an der rechten unteren Ecke per **Left Mouse Button** verändert werden.

Der im Diagramm durch die beiden Grafikkursor definierte Zeitbereich kann per rechte und linke Cursortaste der Tastatur verschoben werden. Das Oberschwingungsspektrum wird von ATPDesigner dabei kontinuierlich neu berechnet und das Balkendiagramm ebenfalls kontinuierlich aktualisiert.





**Abbildung 132: Einstelldialog zur Definition der Skalierungsfaktoren**

Die Skalierungsfaktoren werden ausschließlich für die Skalierung der grafischen Darstellung im Diagramm verwendet, nicht in der Signalanalyse z.B. für die Berechnung der Augenblickswerte, der komplexen Zeiger oder der Oberschwingungsspektren, etc.

## 10.11 Einstellungen für Diagramme *Einstellwerte Diagramm*

Für Diagramm spezifischen Einstellwerte sind im Einstelldialog **Einstellwerte Diagramm** enthalten.

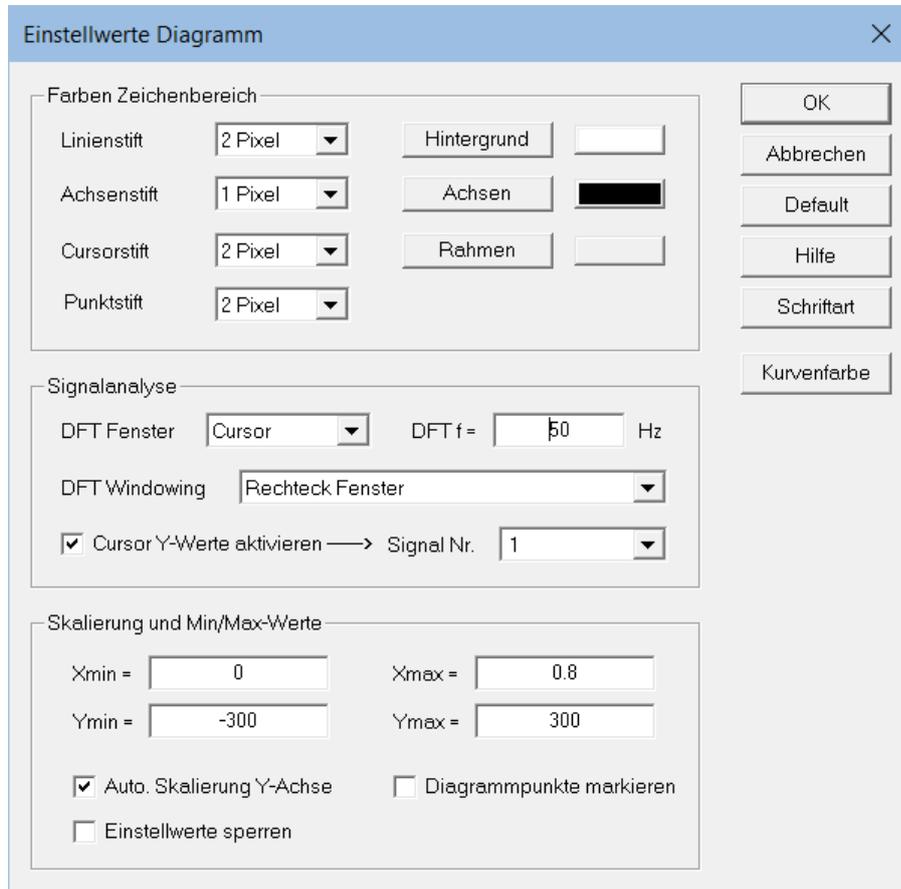


Abbildung 133: Einstellwerte für Diagramme *Einstellwerte Diagramm*

Einstellwert	Bedeutung
<b>Linienstift</b>	Zeichenstärke der Signalkurven in Pixel
<b>Achsenstift</b>	Zeichenstärke der X/Y-Achsen in Pixel
<b>Cursorstift</b>	Zeichenstärke der Grafikkursor in Pixel
<b>Punktstift</b>	Wird ein Fahrplandiagramm dargestellt, so werden die berechneten Punkte als Treppenfunktion dargestellt. Die Größe der Punkte kann hier eingestellt werden.
<b>Diagrammpunkte markieren</b>	Die tatsächlich berechneten Augenblickswerte der Ströme, Spannungen, Leistungen, etc. werden durch ein "x" markiert.
<b>DFT Fenster</b>	Zeitliche Breite des Zeitbereiches (= Filterfenster), das durch die beiden Grafikkursor automatisch definiert wird, in Vielfachen der Netzperiode.

Bezeichner	Bedeutung
<b>Schriftart</b>	Auswahl einer Schriftart für die Achsenbeschriftungen und die Legende des Diagramms
<b>Kurvenfarbe</b>	Der Einstelldialog <b>Farben des Diagramms</b> wird geöffnet.

[Cursor Y-Werte aktivieren](#)

Die Amplitudenwerte des ausgewählten Signals wird an der Position des Graficursors mit einer horizontalen Linie markiert, um z.B. den Y-Wert einfacher ablesen zu können

Die Skalierung des Diagramms in X- und Y-Richtung kann auch manuell eingestellt werden. Werden zeitveränderliche Größen wie z.B. ein Spannungsverlauf  $u(t)$  dargestellt, so entspricht die X-Achse der Zeitachse, die Y-Achse der Wertachse der Spannung. Werden z.B. Impedanz Trajektorien  $X = f(R)$  dargestellt, so ist die Bedeutung der Achsen anwenderspezifisch.

Einstellwert	Bedeutung
<b>Xmin</b>	Kleinsten dargestellter Wert auf der X-Achse
<b>Xmax</b>	Größter dargestellter Wert auf der X-Achse
<b>Ymin</b>	Kleinsten dargestellter Wert auf der Y-Achse
<b>Ymax</b>	Größter dargestellter Wert auf der Y-Achse

### 10.11.1 Einstellwert *Auto. Skalierung Y-Achse*

Ist diese Option aktiviert, so skaliert ATPDesigner automatisch die X- und Y-Achse. Die ggfs. manuell eingestellten Werte  $X_{min}$ ,  $X_{max}$ ,  $Y_{min}$  und  $Y_{max}$  werden dabei ignoriert.

### 10.11.2 Einstellwert *Einstellwerte sperren*

Die ggfs. manuell eingestellten Werte  $X_{min}$ ,  $X_{max}$ ,  $Y_{min}$  und  $Y_{max}$  werden von ATPDesigner nicht verändert.

### 10.11.3 Einstellwert *DFT f*

Einstellwert für die Grundschiwingung der Spektralanalyse (= Filterfrequenz). Entsprechend der Theorie der Fourier-Transformation legt die Filterfrequenz die Auflösung des dargestellten Spektrums im Frequenzbereich fest.

### 10.11.4 Einstelldialog *Farben des Diagramms*

Der nachfolgend dargestellte Einstelldialog wird geöffnet. In diesem Dialog werden die jedem Signal (Spannungen, Ströme, etc.) zugeordneten Farben dargestellt. Die Farben können vom Anwender durch eine **Left Mouse Button Double Click** auf die entsprechende Zeile geändert werden.

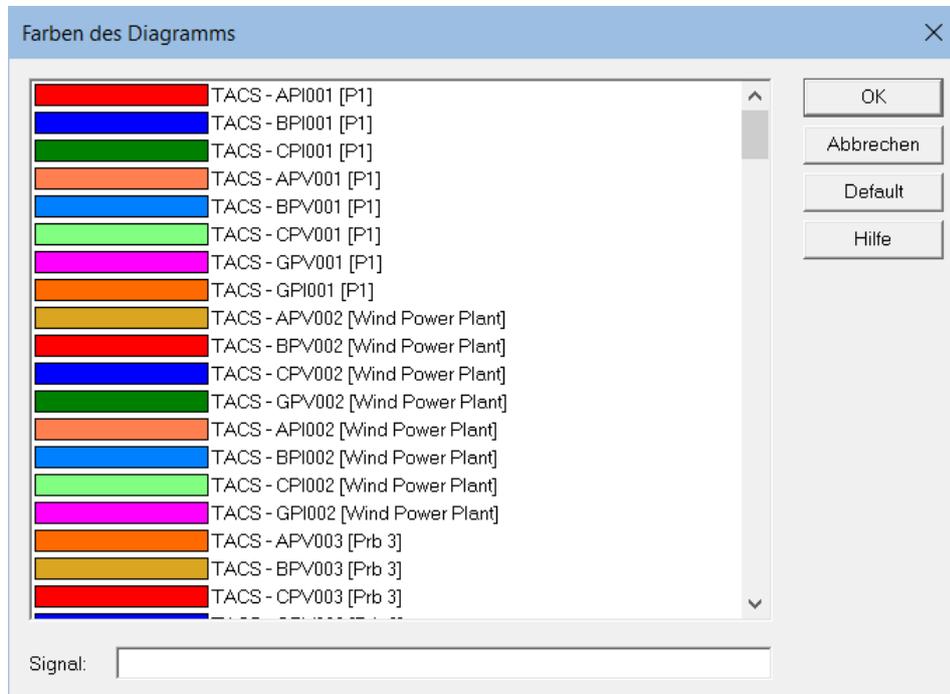


Abbildung 134: Einstellwerte für die Zeichenfarbe der Signale in einem Diagramm

### 10.11.5 Einstellwert *Cursor Y-Werte aktivieren*

Mit dieser Option kann eine zusätzliche horizontale Linie im Diagramm dargestellt werden. Die Abbildung zeigt den **Cursor Y-Wert** als **horizontale rote Linie**. Der **Cursor Y-Wert** wird ausgehend von dem Schnittpunkt des rechten vertikalen Datencursor mit dem ausgewählten Signal **Signal Nr.** gezeichnet. Die **Signal Nr.** kann in dem Einstelldialog für Diagramme ausgewählt werden.

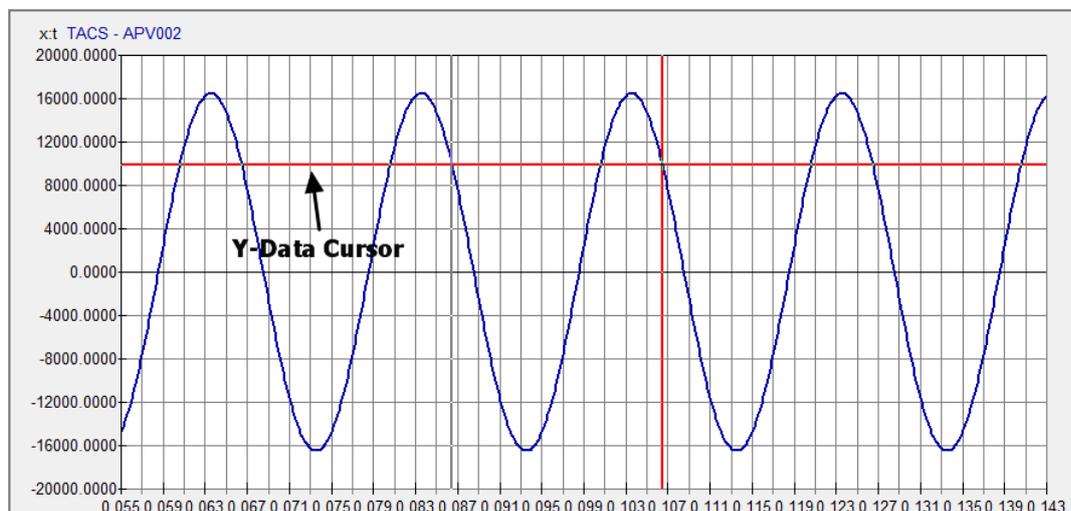


Abbildung 135: Aktivieren des Cursors Y-Werte

### 10.11.6 Einstellwert *DFT Fenster*

Zur Vermeidung bzw. Reduktion des Leckeffektes (Leakage) bei der Berechnung eines Spektrums können hier spezielle Fensterfunktionen (Windowing) ausgewählt werden. Als Grundeinstellung ist das Rechteckfenster voreingestellt d.h. jeder Augenblickswert im Auswertintervall zwischen den beiden Datencursor wird mit dem Wichtungsfaktor 1 multipliziert.

- Rectangular Window
- Hamming Window
- Hann Window

Einstellwert	Bedeutung
Hintergrund	Hintergrundfarbe des Diagrammbereiches
Achsen	Zeichenfarbe der X/Y-Achsen
Rahmen	Zeichenfarbe des äußeren Rahmens

## 10.12 Einstellwerte Signalanalyse *Signal Analysis*

Die signalanalytischen Verfahren können im Einstelldialog **ATP Einstellwerte**, Registerkarte **ATP Daten**, Gruppe **Signalanalyse** [Bd. 2] oder im nachfolgend dargestellten Einstelldialog Einstellwerte Signalanalyse Gruppe **Signalanalyse** eingestellt werden.

⇒ Es muss beachtet werden, dass diese Methoden nur für die Messorte **M1..3** der **Schalter (Cb) Cb1..3** zur Verfügung stehen.

Durch Analyse der berechneten zeitlichen Verläufe von Spannungen und Strömen können Resistanzen, Reaktanzen sowie die Spannungen und Ströme in Mit- und Gegensystem berechnet werden.

Weitere Informationen zu den Einstellwerten, den Verfahren und den Signalnamen in der Diagrammdatei sind im Kapitel zum Einstelldialog **ATP Einstellwerte** [Bd. 2] enthalten.

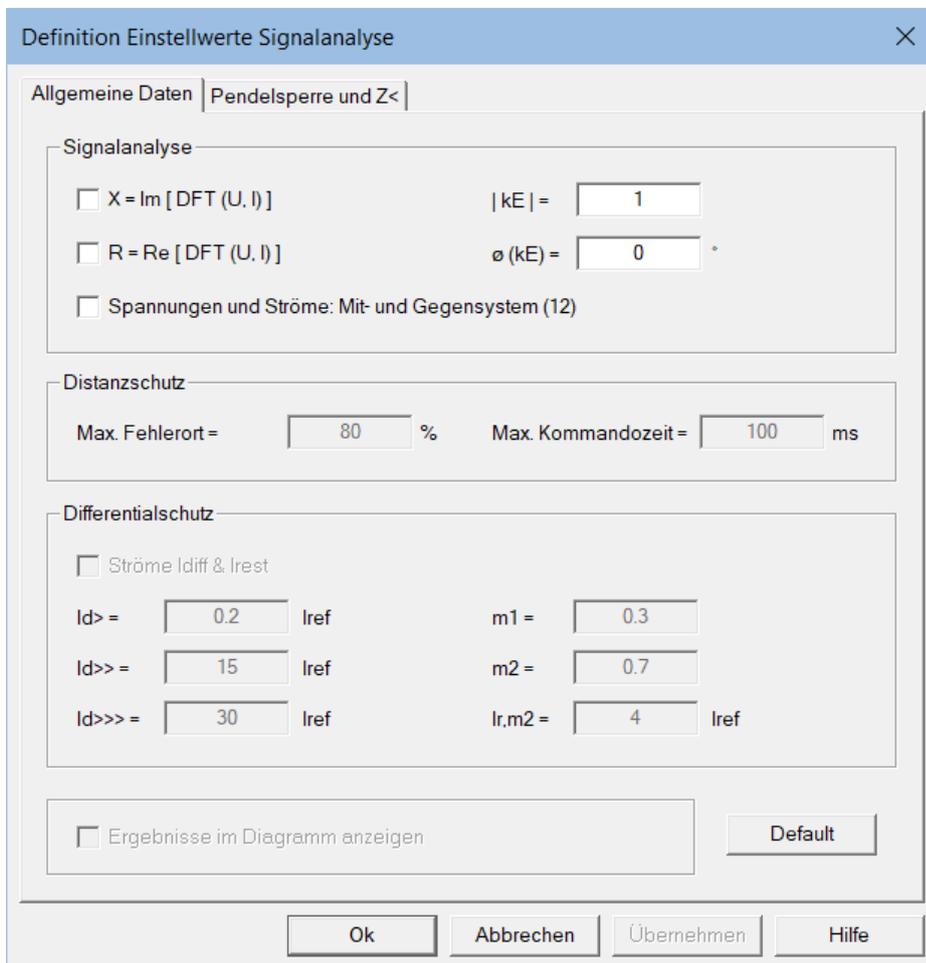


Abbildung 136: Einstelldialog *Einstellwerte Signalanalyse*

Einstellwert	Bedeutung
$k_E$	Betrag des Erdstromkompensationsfaktors $k_E$ zur Kompensation der Erdimpedanz $Z_E$ bei der Berechnung der Mitimpedanz $Z_1$ einer Leiter-Erd-Messschleife

$\phi(kE)$	Phasenwinkel des Erdstromkompensationsfaktors $k_E$ zur Kompensation der Erdimpedanz $Z_E$ bei der Berechnung der Mitimpedanz $Z_I$ einer Leiter-Erd-Messschleife
------------	---

⇒ Der hier einstellbare Erdstromkompensationsfaktor  $k_E$  wird nicht für die Schutzfunktionen des Netzwerkelementes **Mess/Schutzgerät** verwendet. Der Erdstromkompensationsfaktor für die Messfunktion wird im zugehörigen Einstelldialog sowohl für die Berechnung der stationären Netzzustände als auch für die Berechnung der dynamischen Netzvorgänge eingestellt.

Einstellwert	Bedeutung
<b>X = Im [DFT (V, I)]</b>	Es werden die Reaktanzen der Mitimpedanzen $Z_{1k} = R_{1k} + jX_{1k}$ der Leiter-Erd- und Leiter-Leiter-Messschleifen berechnet.
<b>R = Re [DFT (V, I)]</b>	Es werden die Resistenzen der Mitimpedanzen $Z_{1k} = R_{1k} + jX_{1k}$ der Leiter-Erd- und Leiter-Leiter-Messschleifen berechnet.
<b>Spannungen und Ströme: Mit- und Gegensystem (12)</b>	Berechnungen des zeitlichen Verlaufes der Spannungen und Ströme in Mit-, Gegen- und Nullsystem

### 10.12.1 Berechnung der Mitimpedanz $Z_{1k} = R_{1k} + jX_{1k}$

ATPDesigner bietet dem Anwender die Möglichkeit, für die **Schalter (CB) Cb1..3**, die jeweils mit einem integrierten Messort **M1..3** ausgestattet sind, aus den netzfrequenten komplexen Vektoren der Leiter-Erd-Spannungen  $\underline{U}_{L1}$ ,  $\underline{U}_{L2}$  und  $\underline{U}_{L3}$  und den zugehörigen Leiterströmen  $\underline{I}_{L1}$ ,  $\underline{I}_{L2}$  und  $\underline{I}_{L3}$  den zeitlichen Verlauf der komplexen Impedanz Mitimpedanz  $Z_{1k}(t)$  mit Hilfe der ATP Programmiersprache **MODELS** zu berechnen, in der Diagrammdatei zu speichern und in einem Diagramm anzuzeigen. Weitere Erläuterungen siehe Einstelldialog **ATP Einstellwerte** [Bd. 2].

Die Berechnung der Impedanzen des Mitsystems erfolgt mit den sekundären Leiter-Erd-Spannungen und Leiterströmen, die an den Messorten **Mx** der **Schalter (CB)** gemessen werden. Die Funktion kann in den Einstelldialogen **Einstellwerte Signalanalyse** oder **ATP Daten** aktiviert werden.

Einstellwert	Bedeutung
<b>X = Im [DFT (V, I)]</b>	Es werden die Reaktanzen der Mitimpedanzen $Z_{1k} = R_{1k} + jX_{1k}$ der Leiter-Erd- und Leiter-Leiter-Messschleifen berechnet. Die Bezeichner der MODELS Signale sind [Bd. 2] erläutert.
<b>R = Re [DFT (V, I)]</b>	Es werden die Resistenzen der Mitimpedanzen $Z_{1k} = R_{1k} + jX_{1k}$ der Leiter-Erd- und Leiter-Leiter-Messschleifen berechnet. Die Bezeichner der MODELS Signale sind in [Bd. 2] erläutert.

Die Berechnung der Impedanzen erfolgt nach dem **Algorithmus von Phadke/Ibrahim** [1], der auf der die komplexen Grundschwingungszeiger mittels Fourier Analyse über eine vollständige Netzperiode berechnet. Für Real- und Imaginärteil der Spannungen  $\underline{U} = U_{Re} + jU_{Im}$  und Ströme  $\underline{I} = I_{Re} + jI_{Im}$  gelten die nachfolgenden Gleichungen hier am Beispiel einer Spannung dargestellt.

$$\text{Re}(\underline{U}) = U_{Re} = \frac{2}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} \left( u_k \cdot \cos\left(\frac{2\pi k}{N}\right) \right)$$

$$\text{Im}(\underline{U}) = U_{Im} = \frac{2}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} \left( u_k \cdot \sin\left(\frac{2\pi k}{N}\right) \right)$$

- N = Anzahl Abtastwerte je Periode der netzfrequenten Grundschwingung
- $u_k$  = k-ter Abtastwerte der Spannung (Augenblickswert)

Für die Impedanz einer Leiter-Erd- oder Leiter-Leiter Messschleife gilt:

$$\underline{Z} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}} = \frac{U_{Re} + jU_{Im}}{I_{Re} + jI_{Im}} = \frac{(U_{Re} + jU_{Im}) \cdot (I_{Re} - jI_{Im})}{I_{Re}^2 + I_{Im}^2}$$

$$\underline{Z} = \frac{(U_{Re} \cdot I_{Re} + U_{Im} \cdot I_{Im}) + j(U_{Im} \cdot I_{Re} - U_{Re} \cdot I_{Im})}{I_{Re}^2 + I_{Im}^2}$$

Die Mitimpedanz  $\underline{Z}_{1k}$  der Leiter-Erd-Messschleife zwischen Messort und dem Kurzschlussort wird wie folgt

$$\underline{Z}_{1k} = R_{1k} + jX_{1k} = \frac{\underline{U}_{LE}}{\underline{I}_L + \underline{k}_E \cdot \underline{I}_E}$$

mit dem Erdstromkompensationsfaktor  $\underline{k}_E$

$$\underline{k}_E = \frac{\underline{Z}_0 - \underline{Z}_1}{3 \cdot \underline{Z}_1}$$

- $\underline{Z}_1$  = Mitsystemimpedanz des zu schützenden Betriebsmittels
- $\underline{Z}_0$  = Nullsystemimpedanz des zu schützenden Betriebsmittels

und dem Summenstrom  $\underline{I}_E$

$$\underline{I}_E = \underline{I}_{L1} + \underline{I}_{L2} + \underline{I}_{L3}$$

berechnet. Mit Hilfe des Erdstromkompensationsfaktors  $\underline{k}_E$  kann der korrigierte Strom  $\underline{I}_{KE}$  definiert und zur Berechnung der Impedanz verwendet werden.

$$\underline{I}_{KE} = \underline{I}_L + \underline{k}_E \cdot \underline{I}_E$$

Die Mitimpedanz der Leiter-Leiter-Messschleife zwischen Messort des **Mess/Schutzgerätes** und dem Kurzschlussort wird wie folgt berechnet.

$$\underline{Z}_{1k} = R_{1k} + jX_{1k} = \frac{\underline{U}_{LL}}{\underline{I}_{LL}}$$

Beispielhaft ist die Berechnung des verketteten Stromes  $\underline{I}_{12}$  aus den komplexen Zeigern der Leiterströme  $\underline{I}_{L1}$  und  $\underline{I}_{L2}$  angegeben.

$$\underline{I}_{12} = \underline{I}_{L1} - \underline{I}_{L2}$$

### 10.12.2 Spannungen und Ströme: Mit- und Gegensystem (12)

ATPDesigner bietet dem Anwender die Möglichkeit, für die **Schalter (CB) Cb1..3**, die jeweils mit einem integrierten Messort **M1..3** ausgestattet sind, aus den zeitlichen Verläufen der Leiter-Erd-Spannungen  $u_{L1}(t)$ ,  $u_{L2}(t)$ ,  $u_{L3}(t)$  und den Leiterströmen  $i_{L1}(t)$ ,  $i_{L2}(t)$ ,  $i_{L3}(t)$  den zeitlichen Verlauf der Spannungen und Ströme von Null-, Mit- und Gegensystem mit Hilfe der ATP Programmiersprache **MODELS** zu berechnen.

Die Berechnung der Spannungen und Ströme in Mit- und Gegensystem erfolgt mit den sekundären Leiter-Erd-Spannungen und Leiterströmen, die an den Messorten **Mx** der **Schalter (CB)** gemessen werden. Die Funktion kann in den Einstelldialogen **Einstellwerte Signalanalyse** oder **ATP Daten** aktiviert werden.

### 10.12.3 Beispiel: 20kV-Netz mit Signalanalyse

Die nachfolgende Abbildung zeigt beispielhaft die Verwendung des Netzwerkelementes **Schalter (CB) Cb1** [Bd. 2], um die Verfahren der Signalanalyse verwenden zu können.

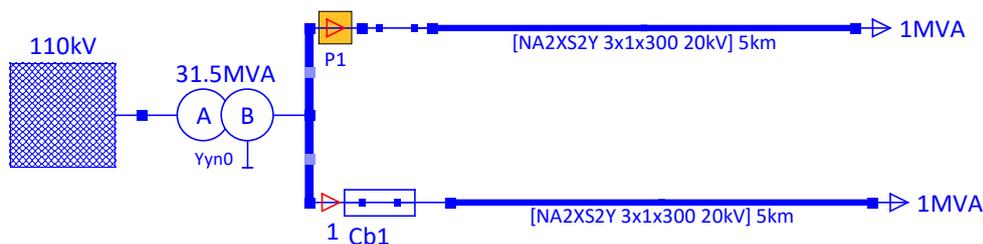


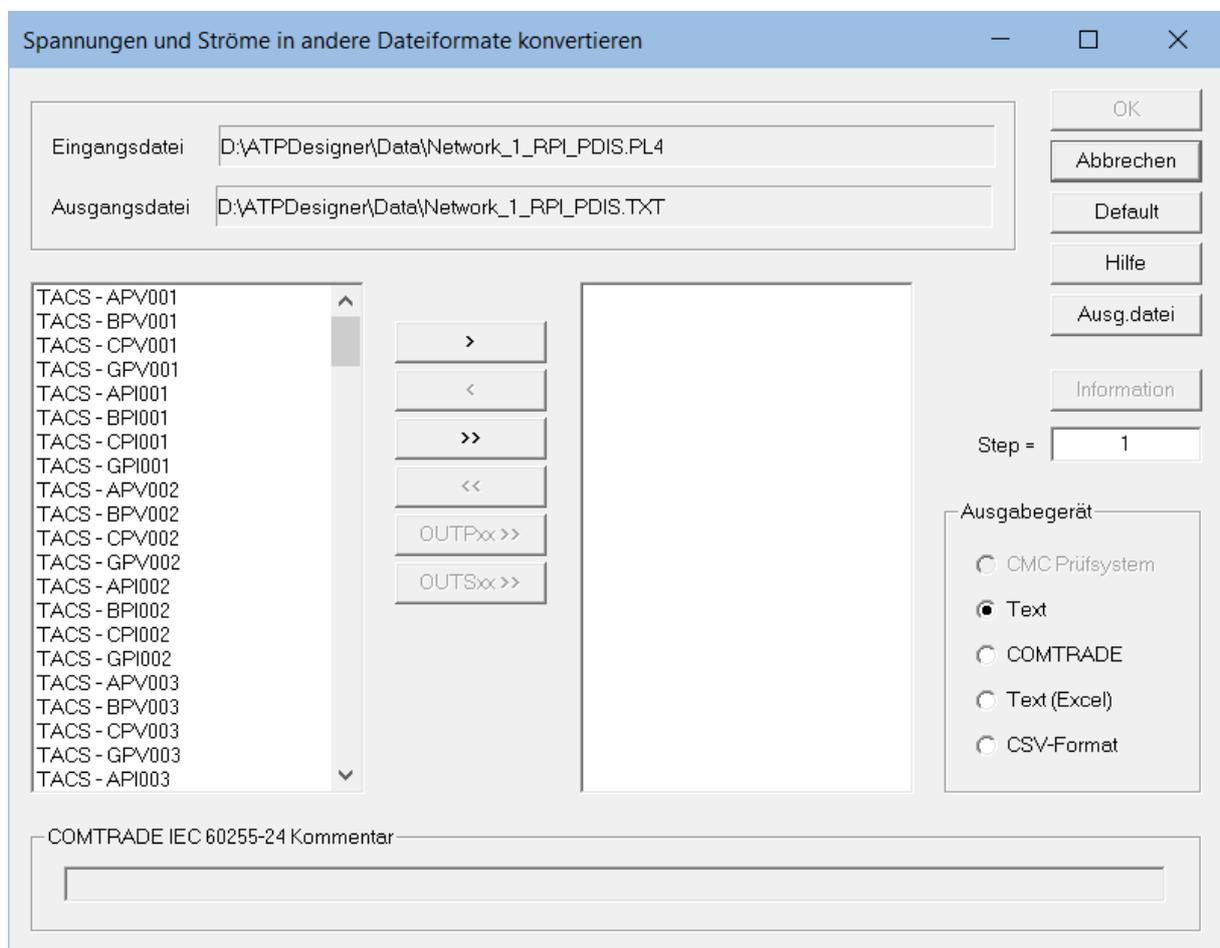
Abbildung 137: Einfaches 20kV-Netz mit **Schalter (CB)** zur Signalanalyse

### 10.13 Ausgabe der Zeitsignale mit andere Dateiformaten

ATPDesigner ermöglicht es dem Anwender, die Zeitverläufe von Signalen, die in den nachfolgend angegebenen Dateiformaten gespeichert sind einzulesen und [in andere Dateiformate zu konvertieren](#). Die Dateiformate sind identisch mit den [Dateiformaten zur Erstellung eines Diagramms](#).

- **Diagrammdatei** (.PL4-Datei)
- **JSON-Prognosedatei** (.JSON-Datei)
- Textdatei (.TXT-Datei)
- COMTRADE-Datei (.CFG-Datei)
- CSV-Datei (.CSV-Datei)

In der nachfolgenden Abbildung ist der dazu gehörende Dialog zu sehen. Der Dialog kann mit einem **Left Mouse Button Click** auf den Toolbar-Button  oder im Hauptmenü **ATP** mit dem Menüpunkt **U/I konvertieren und exportieren** aufgerufen werden.



**Abbildung 138: Dialog zur Ausgabe der berechneten Zeitverläufe in andere Dateiformate**

Nach dem Öffnen des Dialogs sind in der linken Liste die verfügbaren Ausgabesignale dargestellt. Einzelne Ausgabesignale können z.B. durch einen **Left Mouse Button Double Click** in die rechte Liste verschoben werden, auch ein Markieren eines Ausgabesignals mit Drücken eines Richtungs-Buttons ist möglich.

Einstellwert	Bedeutung
<b>Ausg.datei</b>	ATPDesigner erzeugt automatisch den Namen der Ausgabedatei. Mit Hilfe des Buttons kann eine andere Ausgabedatei ausgewählt werden.
<b>Information</b>	Wird eine <b>COMTRADE</b> -Datei erzeugt, so werden <b>COMTRADE</b> -spezifische Informationen in einem Dialog angezeigt.
<b>Step</b>	Um z.B. die Größe der Ausgabedatei zu verringern, kann eine Ausgabeschrittweite eingestellt werden.

In der Gruppe **Ausgabegerät** kann das Format der Ausgabedatei oder ein Ausgabegerät ausgewählt werden.

### 10.13.1 Ausgabegerät CMC Test System

Das Ausgabeformat kann nur ausgewählt werden, wenn eine Sekundärprüfeinrichtung der Fa. Omicron mit ATPDesigner verbunden ist.

### 10.13.2 Ausgabegerät Text

Die Signale werden durch Leerzeichen getrennt ausgeben. In jeder Zeile sind die Momentanwerte eines Zeitpunktes enthalten. Der erste Wert einer Zeile ist die Zeit in Sekunden, danach sind die ausgewählten Signale in der Auswahlreihenfolge enthalten.

0	0	0	0
0.001	27695.43945	-87812.625	60117.19141
0.002	52732.12891	-89299.09375	36566.96094
0.003	72607.07813	-82044.39844	9437.323242

### 10.13.3 Ausgabegerät COMTRADE

ATPDesigner schreibt die vom Anwender ausgewählten Ausgabesignale entsprechend dem **COMTRADE** Format nach IEC 60255-24 [36] in die .CFG- und .DAT-Ausgabedateien.

```
,ATPDesigner Version 3.04.16 - 30.04.2015,2001
3,3A,0D
1,TACS - APV001,,,V,0.997615,0.00390625,0,-90000,90000,1,1,P
2,TACS - BPV001,,,V,0.992212,-0.046875,0,-90000,90000,1,1,P
3,TACS - CPV001,,,V,0.992089,0,0,-90000,90000,1,1,P
50
1
1000,401
30/04/2015,18:01:02.000000
30/04/2015,18:01:02.000000
ASCII
1

1,0,-0,0,0
2,1000,27762,-88502,60597
3,2000,52858,-90000,36859
4,3000,72781,-82688,9513
5,4000,85579,-67283,-18765
6,5000,90000,-45291,-45205
```

### 10.13.4 Ausgabegerät Text (Excel)

Die Signale werden durch Leerzeichen getrennt ausgegeben. In jeder Zeile sind die Momentanwerte eines Zeitpunktes enthalten. Der erste Wert einer Zeile ist die Zeit in Sekunden, danach sind die ausgewählten Signale in der Auswahlreihenfolge enthalten.

0	0	0	0
0,001	27695,43945	-87812,625	60117,19141
0,002	52732,12891	-89299,09375	36566,96094
0,003	72607,07813	-82044,39844	9437,323242

Das Zahlformat verwendet ein Komma, um Vorkomma- und Nachkommastellen zu trennen.

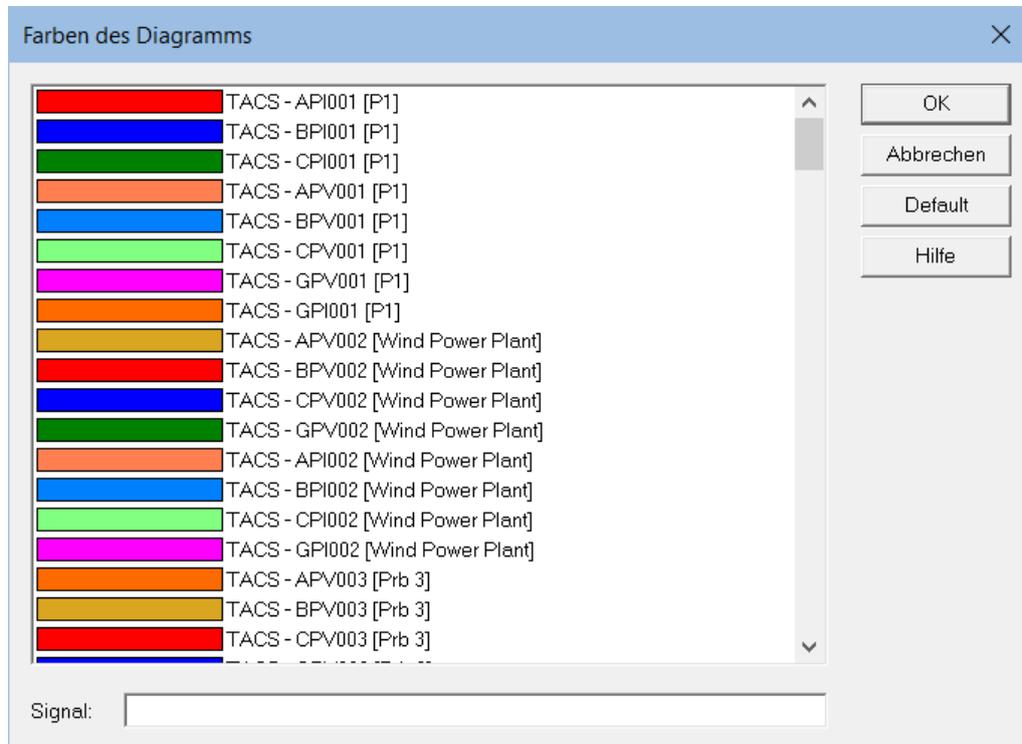
### 10.13.5 Ausgabegerät CSV-Format

Die Signale werden durch ein Semikolon „;“ getrennt ausgegeben. In jeder Zeile sind die Momentanwerte eines Zeitpunktes enthalten. Der erste Wert einer Zeile ist die Zeit in Sekunden, danach sind die ausgewählten Signale in der Auswahlreihenfolge enthalten.

```
Time [s];APV001;BPV001;CPV001;GPV001
0;0;0;0;0
0.001;27695.4;-87812.6;60117.2;3.5822e-011
0.002;52732.1;-89299.1;36567;-4.23688e-011
0.003;72607.1;-82044.4;9437.32;3.37232e-011
0.004;85374.8;-66758.7;-18616.1;-3.9003e-011
```

## 10.14 Zeichenfarbe für die Zeitsignale *Farben des Diagramms*

In dem in der nachfolgenden Abbildung dargestellten Einstelldialog kann für jedes Signal die Zeichenfarbe im Diagramm eingestellt werden.



**Abbildung 139: Einstelldialog für die Zeichenfarben der Zeitsignale**

In dem Editierfeld **Signal** kann der Name eines zu suchenden Signals eingegeben werden. ATPDesigner sucht den Signalnamen und verschiebt den Inhalt der Liste so, dass der gesuchte Signalname mit **hellgrünem** Hintergrund markiert in der Mitte der Liste sichtbar wird. In den Klammern [...] hinter dem Signalnamen wird falls vorhanden der anwenderspezifische Name **Name** des **Mess/Schutzgerätes** angezeigt.

## 10.15 Erstellen eines Diagramms aus weiteren Dateiformaten

ATPDesigner kann Diagramme nicht nur aus der Diagrammdatei des **ATP** (.PL4-Datei) sondern auch aus anderen Dateiformaten erstellen und anzeigen. Um ein Diagramm aus einem anderen Dateiformat zu erstellen kann wie folgt vorgegangen werden.

- Hauptmenü **Datei**
- Menüpunkt **Öffnen ..**
- Dateierweiterung z.B. **.CSV-Datei** als Dateifilter auswählen

Nach dem Einlesen der Datei wird der Dialog zur Auswahl der darzustellenden Signale geöffnet. Unter einem Signal wird hier eine Zeitfunktionen z.B. einer Spannung oder eines Stromes verstanden.

- Signale in der Signalauswahlliste auswählen
- **Diagramm** erstellen
- ggfs. Skalierungsfaktoren anpassen
  - Hauptmenü **Diagramme**
  - Menüpunkt **Diagramm Skalierungsfaktoren**
- ggfs. Zeichenfarben anpassen
  - Hauptmenü **Diagramme**
  - Menüpunkt **Diagrammfarben**

Dateifilter	Bedeutung
<a href="#">Diagrammdatei (.PL4-Datei) (*.PL4)</a>	Das ATP speichert die berechneten Zeitsignale in einer .PL4-Datei.
<b>.TXT-Datei (*.TXT)</b>	ATPDesigner kann eine spaltenorientiert ausgebaute Textdatei einlesen und daraus ein Diagramm erzeugen.
<b>.CSV-Datei (*.CSV)</b>	ATPDesigner kann eine spaltenorientiert ausgebaute .CSV-Datei einlesen und daraus ein Diagramm erzeugen.
<b>COMTRADE (*.CFG)</b>	ATPDesigner kann Textdateien entsprechend dem COMTRADE Format nach IEC 60255-24 [36] (.CFG- und .DAT-Dateien) einlesen und daraus ein Diagramm erzeugen. Es werden Textdateien nach dem Standard 1999 und 2001 unterstützt.
<b>JSON (*.JSON)</b>	ATPDesigner kann die <a href="#">JSON-Prognosedatei</a> einlesen und als Diagramm darstellen.

### 10.15.1 Dateiformat: .TXT-Datei

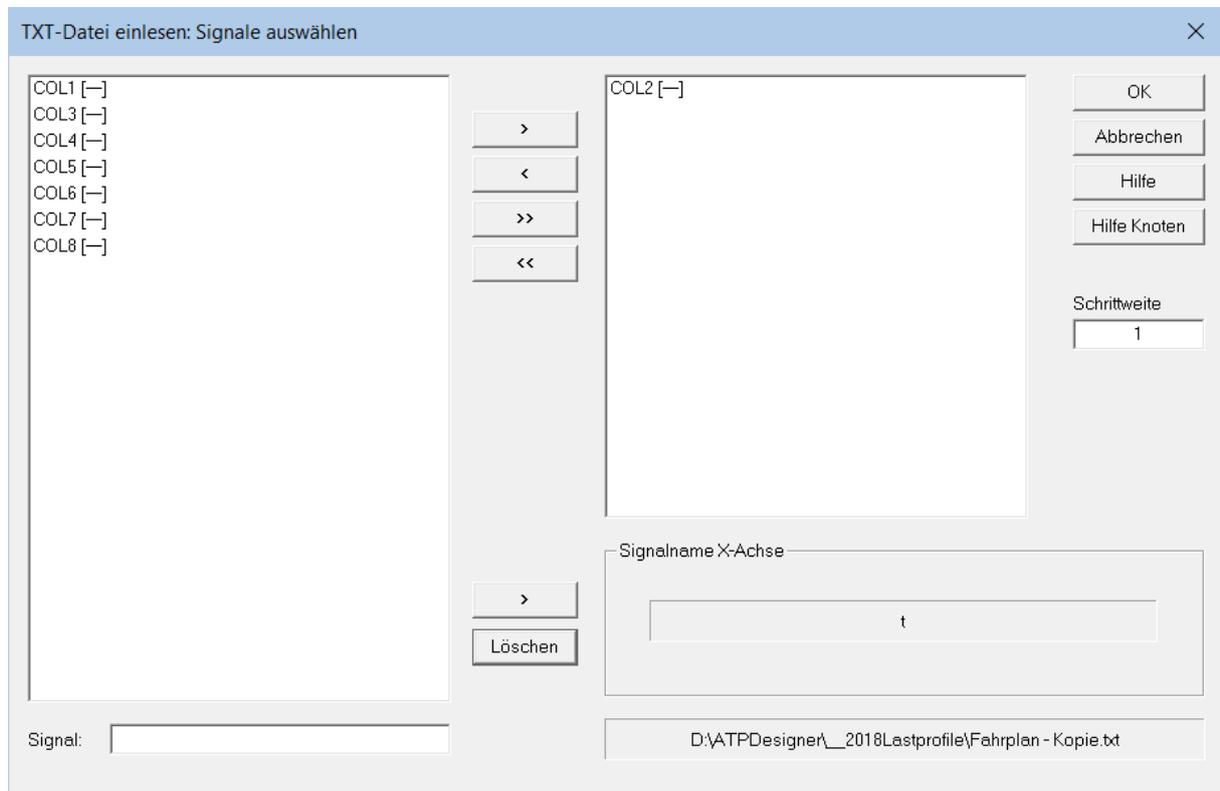
ATPDesigner geht davon aus, dass die Zeitsignale durch Leerzeichen getrennt in der Textdatei enthalten sind. Jede Zeile muss mit einem Zeilenvorschub (LF) mit optional nachfolgendem Wagenrücklauf (CR) beendet werden. In jeder Zeile sind die Momentanwerte eines Zeitpunktes enthalten. Der erste Wert einer Zeile wird als Zeit in Sekunden interpretiert, jede durch mindestens ein Leerzeichen nachfolgende getrennte Spalte als Zeitsignal.

```

0 0 0 0
0.001 27695.43945 -87812.625 60117.19141
0.002 52732.12891 -89299.09375 36566.96094
0.003 72607.07813 -82044.39844 9437.323242

```

Nach dem Einlesen wird der Dialog zur Signalauswahl geöffnet. Nach Auswahl der Signale wird durch einen **Left Mouse Button Click** auf die **OK**-Taste ein Diagramm erzeugt. ATPDesigner verwendet für die Zeitsignale den Bezeichner **COLx** (x = Spaltennummer).



**Abbildung 140: Signalauswahlliste nach dem Einlesen einer .TXT-Datei**

Es muss darauf geachtet werden, dass die Werte einen Dezimalpunkt und kein Dezimalkomma verwenden.

### 10.15.2 Dateiformat: .CSV-Datei

ATPDesigner geht davon aus, dass die Zeitsignale durch **ein Semikolon** getrennt in der Textdatei enthalten sind. Jede Zeile muss mit einem Zeilenvorschub (LF) mit optional nachfolgendem Wagenrücklauf (CR) beendet werden. In jeder Zeile sind die Momentanwerte eines Zeitpunktes enthalten. Der erste Wert einer Zeile wird als Zeit in Sekunden interpretiert, jede durch genau ein Semikolon getrennte Spalte als ein Zeitsignal.

```
0;0;0;0
0.001;27695.43945;-87812.625;60117.19141
0.002;52732.12891;-89299.09375;36566.96094
0.003;72607.07813;-82044.39844;9437.323242
```

Nach dem Einlesen wird der Dialog zur Signalauswahl geöffnet. Nach Auswahl der Signale wird durch einen **Left Mouse Button Click** auf die **OK**-Taste ein Diagramm erzeugt. ATPDesigner verwendet für die Zeitsignale den Bezeichner **COLx** (x = Spaltennummer).

⇒ Es muss darauf geachtet werden, dass die Werte einen Dezimalpunkt und kein Dezimalkomma verwenden.

### 10.15.3 Dateiformat: .JSON-Datei

Das Format der ,JSON-Datei ist in [Format der JSON-Prognosedatei](#) erläutert.

### 10.15.4 Dateiformat: .CFG-Datei (COMTRADE)

ATPDesigner bietet die Möglichkeit, COMTRADE-Dateien [36] einzulesen und die darin enthaltenen analogen und binären Signale in einem [Diagramm](#) darzustellen. Es müssen folgende COMTRADE-Dateien vorhanden sein.

- .CFG-Konfigurationsdatei
- .DAT-Datendatei

Es werden die COMTRADE-Formate 1999 und 2001 [36] als Textdateien unterstützt.

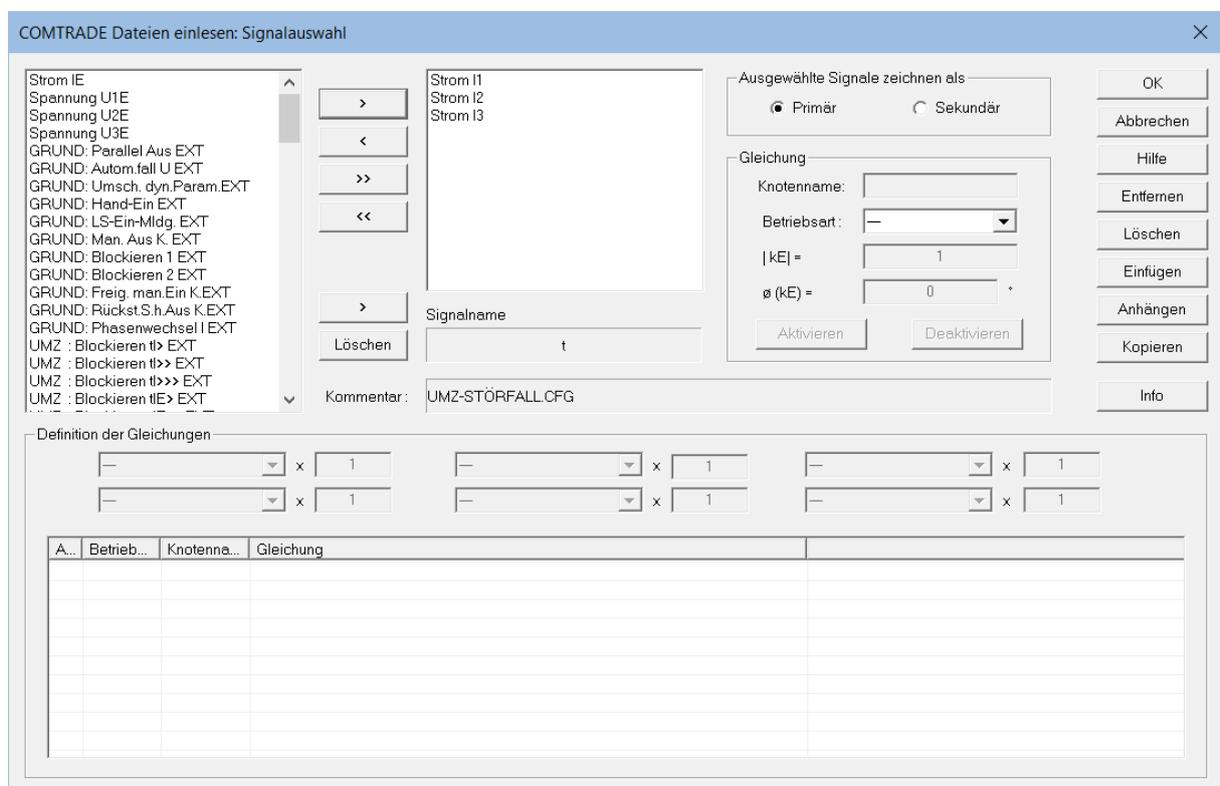


Abbildung 141: Auswahlliste der Signale in den COMTRADE-Dateien

Während des Einlesens der COMTRADE-Dateien werden Informationen über die analogen und binären Kanäle der COMTRADE-Dateien im Meldungsfenster ausgegeben.

```

> Diagramm aus CFG-Datei erstellen: C:\ATPDesigner\00_23_15 COMTRADE Diagramm\UMZ-Störfall.cfg
>> Einlesen einer CFG-Datei: C:\ATPDesigner\00_23_15 COMTRADE Diagramm\UMZ-Störfall.cfg

> COMTRADE: Einlesen der .CFG-Datei: C:\ATPDesigner\00_23_15 COMTRADE Diagramm\UMZ-Störfall.cfg
>> COMTRADE: Revision: 2001
>> COMTRADE: Analoge Kanäle: 7
>> COMTRADE: Binäre Kanäle: 111
>>> COMTRADE: 1, GRUND: Parallel Aus EXT, , , 0 [1,GRUND: Parallel Aus EXT,,0]
>>> COMTRADE: 2, GRUND: Autom.fall U EXT, , , 0 [2,GRUND: Autom.fall U EXT,,0]
>>> COMTRADE: 3, GRUND: Umsch. dyn.Param.EXT, , , 0 [3,GRUND: Umsch. dyn.Param.EXT,,0]
>>> COMTRADE: 4, GRUND: Hand-Ein EXT, , , 0 [4,GRUND: Hand-Ein EXT,,0]
>>> COMTRADE: 5, GRUND: LS-Ein-Mldg. EXT, , , 0 [5,GRUND: LS-Ein-Mldg. EXT,,0]
>>> COMTRADE: 6, GRUND: Man. Aus K. EXT, , , 0 [6,GRUND: Man. Aus K. EXT,,0]
>>> COMTRADE: 7, GRUND: Blockieren 1 EXT, , , 0 [7,GRUND: Blockieren 1 EXT,,0]
>>> COMTRADE: 8, GRUND: Blockieren 2 EXT, , , 0 [8,GRUND: Blockieren 2 EXT,,0]

```

```

> Diagramm aus CFG-Datei erstellen: C:\...\00_23_15 COMTRADE Diagramm\UMZ-Störfall.cfg
>> Einlesen einer CFG-Datei: C:\ATPDesigner\00_23_15 COMTRADE Diagramm\UMZ-Störfall.cfg

> COMTRADE: Einlesen der .CFG-Datei: C:\...\00_23_15 COMTRADE Diagramm\UMZ-Störfall.cfg
>> COMTRADE: Revision: 2001
>> COMTRADE: Analoge Kanäle: 7
>> COMTRADE: Binäre Kanäle: 111
>>> COMTRADE: 1, GRUND: Parallel Aus EXT, , , 0 [1,GRUND: Parallel Aus EXT,,0]
>>> COMTRADE: 2, GRUND: Autom.fall U EXT, , , 0 [2,GRUND: Autom.fall U EXT,,0]
>>> COMTRADE: 3, GRUND: Umsch. dyn.Param.EXT, , , 0 [3,GRUND: Umsch. dyn.Param.EXT,,0]
..
>>> COMTRADE: 110, UMZ : Aus Mldg. tIgegen>>, , , 0 [110,UMZ : Aus Mldg. tIgegen>>,,0]
>>> COMTRADE: 111, UMZ : Aus Mldg. tIgegen>>, , , 0 [111,UMZ : Aus Mldg. tIgegen>>,,0]
>>> COMTRADE: fn=50.000000Hz, N(fa)=1
>>> COMTRADE: 1, fa=1000.000000Hz, N=588
>>> COMTRADE: 01/01/1997,02:05:21.208000, 01/01/1997,02:05:21.208000, ASCII, 1.000000

```

Abbildung 142: Ausgaben im Meldungsfenster beim Einlesen von COMTRADE-Dateien

In der nachfolgenden Abbildung ist ein **Diagramm** dargestellt, das aus den drei Leiterströmen  $i_{L123}(t)$  als analoge Kanäle und dem binären Kanal **General-AUS-Kommando** erstellt wurde.

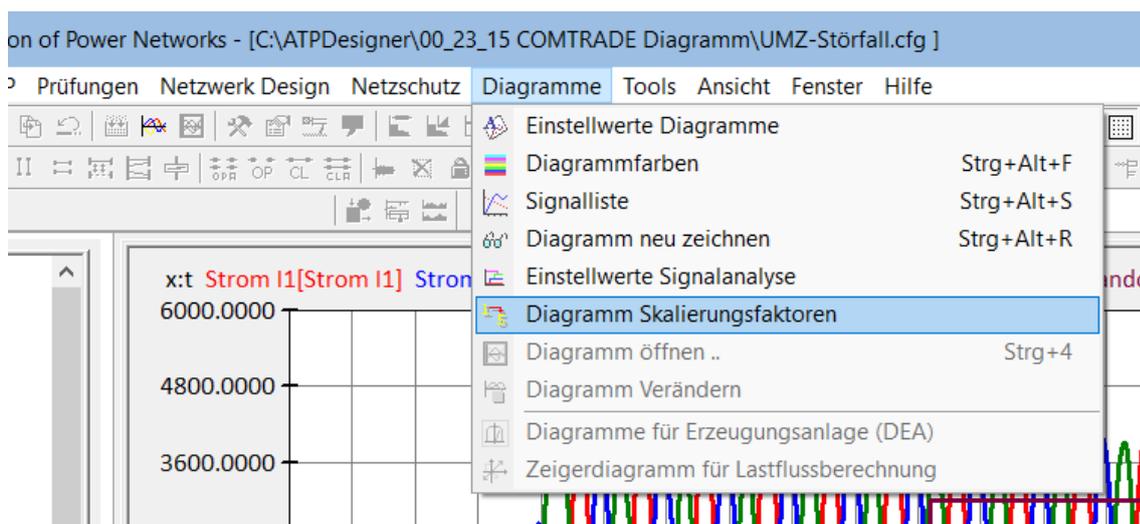


Abbildung 143: Einstelldialog für Diagramm Skalierungsfaktoren öffnen

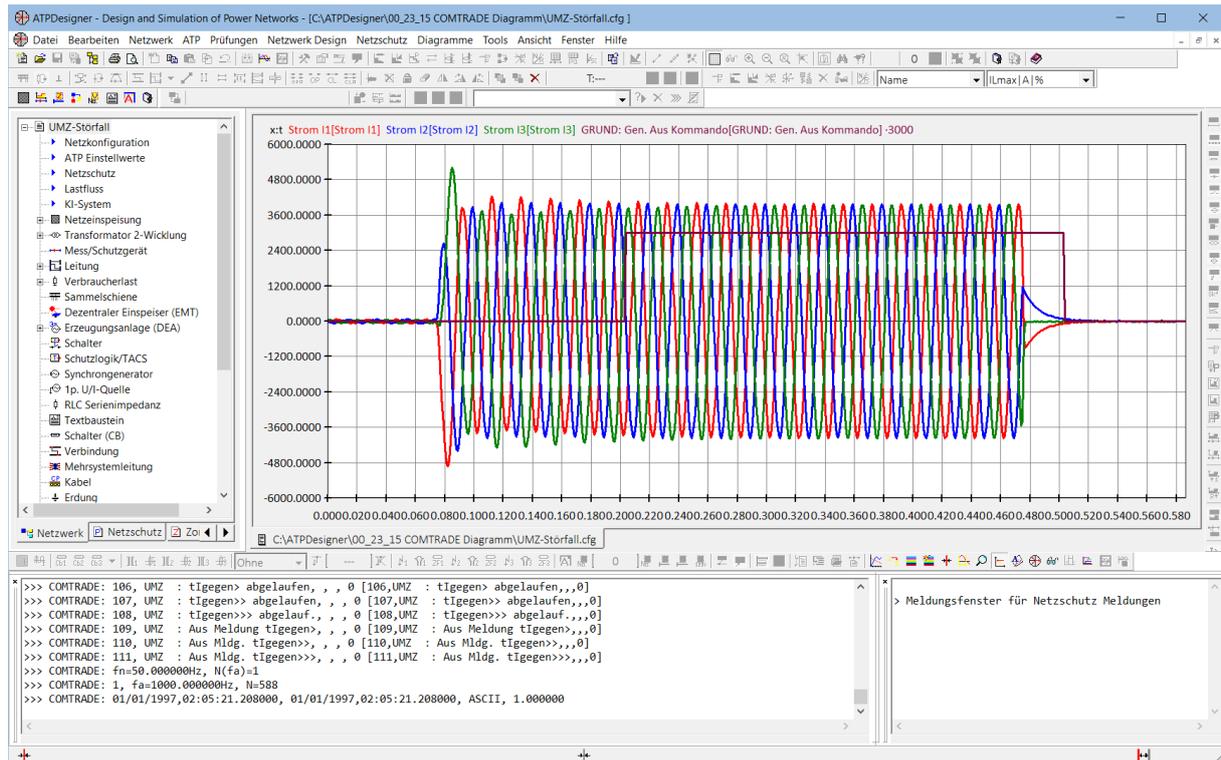


Abbildung 144: COMTRADE – Leiterströme  $i_{L123}(t)$  und AUS-Kommando als Diagramm

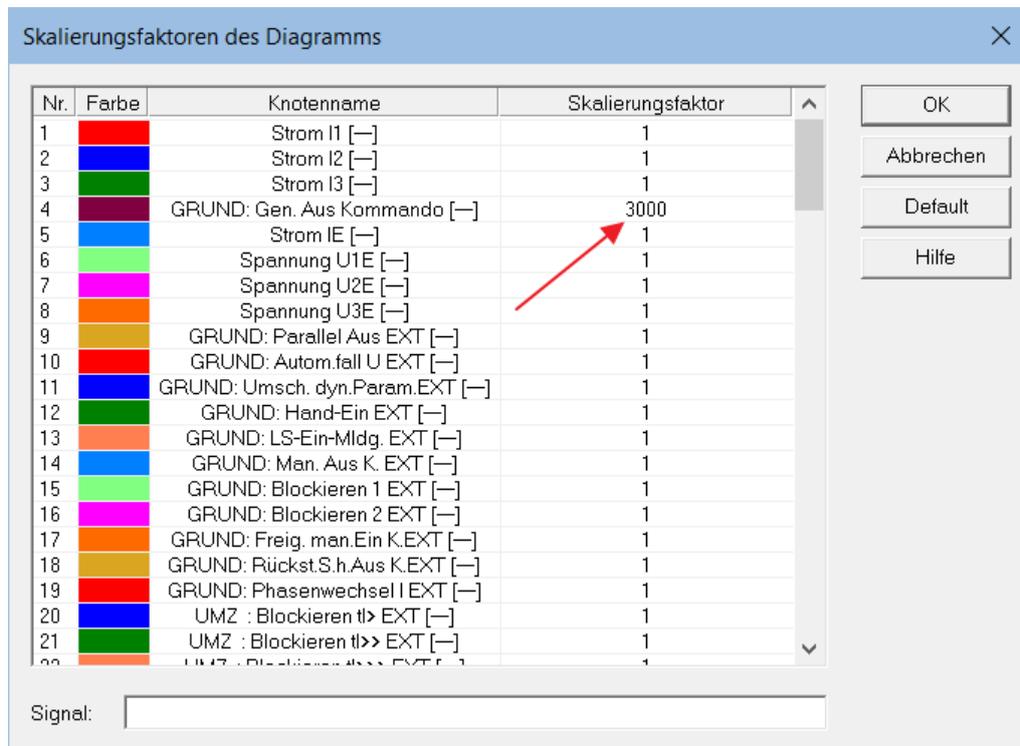


Abbildung 145: Diagramm - Skalierungsfaktoren für Signale einstellen

Um den binären Kanal **General-AUS-Kommando**, das als binäres Signal nur die Werte 0 und 1 annehmen kann, im Diagramm sichtbar darzustellen, wurde das Signal mit dem Multiplikationsfaktor 3000 verstärkt.

- Hauptmenü **Diagramme**
- Menüpunkt **Diagramm Skalierungsfaktoren**
- Toolbar-Button 



Nach dem Schließen des Einstelldialogs wird das **Diagramm** neu gezeichnet. Die Einstellung von Skalierungsfaktoren für Signale in einem Diagramm ist unabhängig vom eingelesenen Dateiformat möglich.

## 11 Lastflussberechnung mit Dezentralen Erzeugungsanlagen

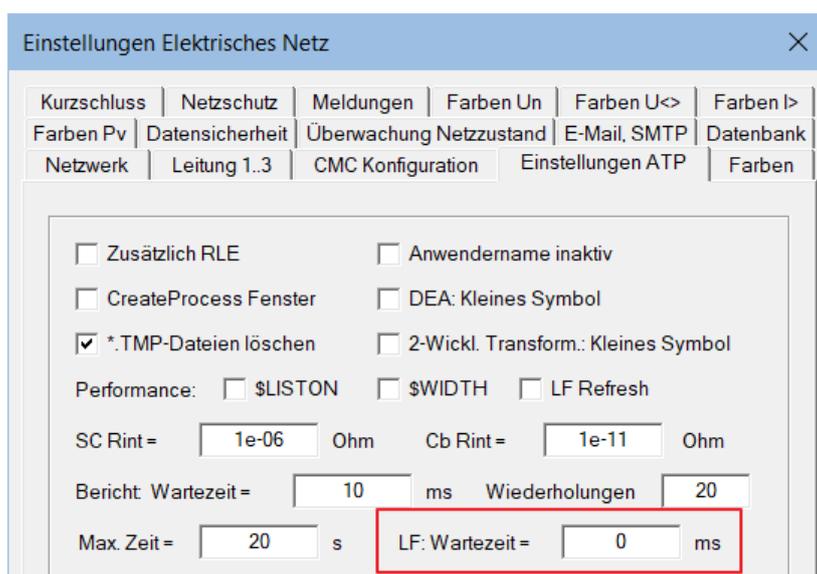
Dezentrale Erzeugungsanlagen wie Solarstrom- und Windkraftanlagen, die mit Hilfe eines 1- oder 3-phasigen Netzstromrichters elektrische Energie in das Stromnetz einspeisen, werden in ATPDesigner mit dem Netzwerkelement **Erzeugungsanlage (DEA)** als Stromquellen konstanter Wirk- und Blindleistung, d.h. als **Konstantleistungsquellen** nachgebildet und in der Lastflussberechnung berücksichtigt. Dabei wird der stationäre Netzzustand wie bei **Lastflussberechnungen** üblich iterativ, d.h. durch eine Folge mehrerer stationärer Netzberechnungen ermittelt. Im Falle einer 3-phasig symmetrisch einspeisenden Erzeugungsanlage wird eine Lastflussiteration im Mitsystem ausgeführt. Im Falle von 1/2/3 1-phasig einspeisenden Erzeugungsanlagen wird eine leiterselektive Lastflussiteration im natürlichen System, d.h. in Leitergrößen durchgeführt. Die Lastflussberechnung als iterativer Rechenprozess wird beendet, wenn Konvergenz, d.h. die vom Anwender definierte Genauigkeit, erreicht wurde. Wird nach Erreichen der maximal zulässigen Anzahl von Iterationsschritten keine Konvergenz erreicht, wird die Lastflussberechnung mit Divergenz abgebrochen. Bei Divergenz werden keine Ergebnisse in der Netzgrafik oder in Berichten ausgegeben.

Die Konvergenzbedingungen und Konvergenzgenauigkeiten sind in den folgenden Einstelldialogen zu finden und können dort eingestellt werden.

- Hauptmenü **ATP**
- Menüpunkt **Einstellung Lastflussberechnung**
- Registerkarte **Lastfluss: Lasten, Lastfluss: DEA**

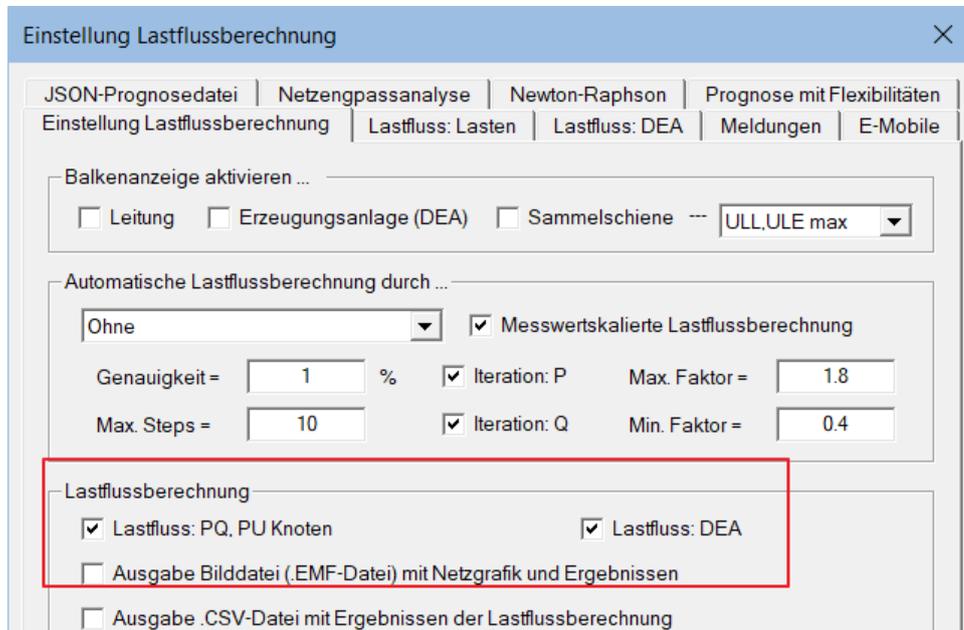
Bei Rechnersystemen mit geringer Performance können bei der schnellen Abfolge der Netzberechnungen der Iterationsschritte zeitbedingte Zugriffsprobleme auf temporäre Dateien auftreten. Mit Hilfe des Einstellwertes **LF: Wartezeit** kann eine Wartezeit zwischen zwei Iterationsschritten eingestellt werden.

- Hauptmenü **Netzwerk**
- Menüpunkt Netzkonfiguration, Register **Einstellungen ATP**



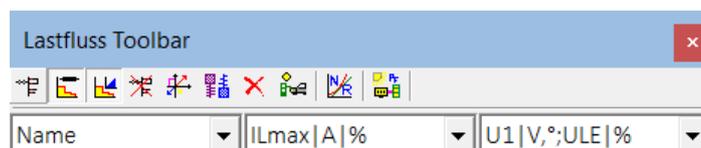
Die von ATPDesigner ausgeführte Lastflussberechnung wird durch zwei unabhängige Algorithmen ausgeführt und auf Konvergenz überwacht.

- Hauptmenü **ATP**
- Menüpunkt **Einstellung Lastflussberechnung**
- Registerkarte **Einstellung Lastflussberechnung**
- Gruppe **Lastflussberechnung**



oder die Toolbar-Schalter zum Ein- und Ausschalten der Algorithmen

-  **Lastfluss: PQ, PU Knoten** EIN/AUS
-  **Lastfluss: DEA** EIN/AUS



Die Optionen **Lastfluss: PQ, PU Knoten** und **Lastfluss: DEA** können auch im Einstelldialog **ATP Einstellwerte** ein- bzw. ausgeschaltet werden.

- Hauptmenü **Netzwerk**
- Menüpunkt **ATP Einstellwerte**
- Registerkarte **ATP Daten**
- Gruppe **Lastflussberechnung**

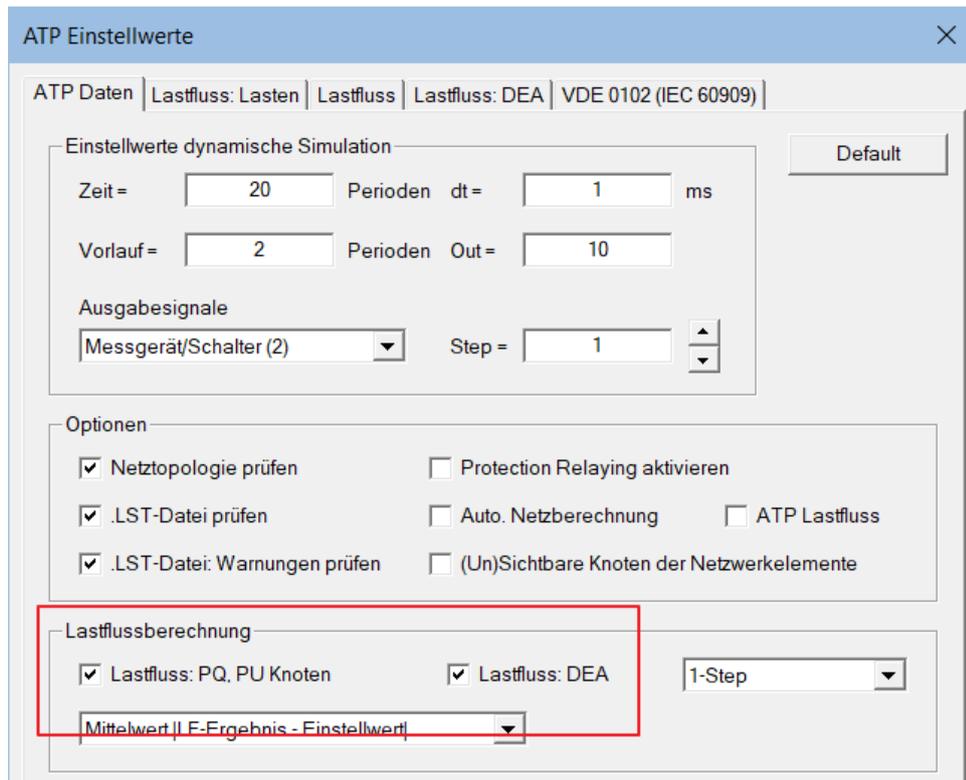


Abbildung 146: Ein- bzw. Ausschalten der Algorithmen des Iterationsverfahrens

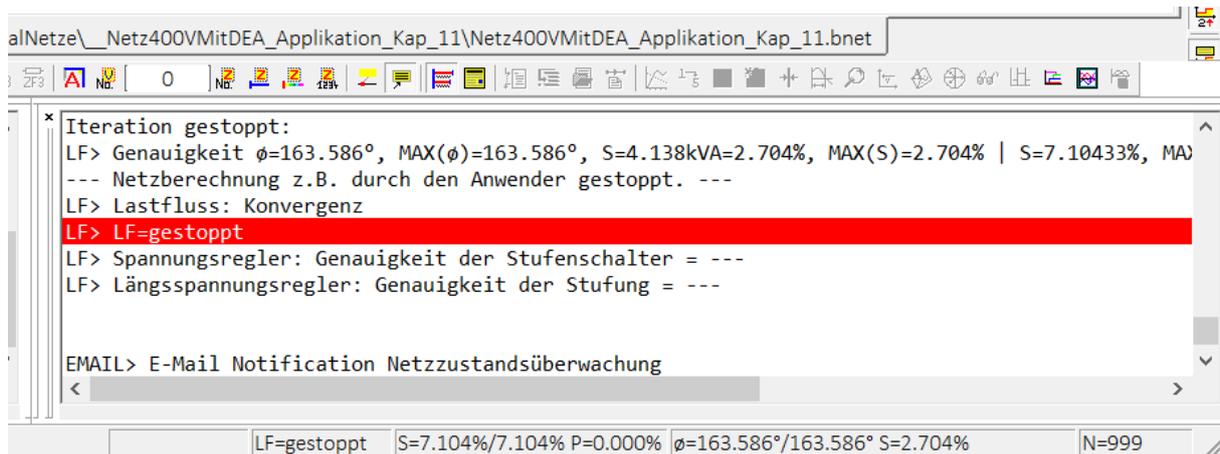
Die nachfolgende Abbildung zeigt ein einfaches, strahlenförmiges Niederspannungsnetz mit  $U_n = 400V$ , das aus 200m langen Erdkabeln NKBA 4x300mm<sup>2</sup> besteht. Die Versorgung erfolgt aus der vorgelagerten 20kV-Spannungsebene über einen 20/0,4kV-Transformator der Bemessungsleistung  $S_{IT} = 630kVA$ . Die Messung von Leiterströmen, Leiter-Erd-Spannungen und Leistungen erfolgt mit den **Messgeräten Px**.

Es muss darauf geachtet werden, dass die Optionen **Lastfluss: PQ, PU Knoten** und **Lastfluss: DEA** aktiviert sind, um die Lastflussberechnung zu aktivieren. Darüber hinaus muss für jedes einzelne Netzwerkelement die Lastflussberechnung aktiviert werden.

- **Lastfluss: PQ, PU Knoten**
  - **Verbraucherlast**,  
Registerkarte **Allgemeine Daten**, Einstellwert **Lastfluss: EIN**
  - **Netzeinspeisung**  
Registerkarte **Lastfluss: PQ, PU Knoten**, Einstellwert **Lastfluss EIN**
  - Stufenschalter des **Transformator 2-Wicklung**  
Registerkarte **Lastfluss: PQ, PU Knoten**, Einstellwert **Lastfluss EIN**
- **Lastfluss: DEA**
  - **Erzeugungsanlage (DEA)**  
Registerkarte **Allgemeine Daten**, Einstellwert **Lastfluss: DEA (Phase Adjusting)**

Nach jeder Änderung der internen Werte wird mit dem ATP als Rechenkern eine stationäre Netzberechnung ausgeführt. Genauigkeits- und Abbruchbedingungen kontrollieren den Iterationsprozess, d.h. Überwachen die Konvergenz der Lastflussberechnung.

Der Iterationsprozess kann mit der **ESC-Taste** abgebrochen werden. Dazu muss die ESC-Taste u.U. über mehrere Sekunden gedrückt sein. In diesem Fall wird in der **Statusleiste** die Anzahl Iterationsschritte **N = 999** und **LF=gestoppt** angezeigt.



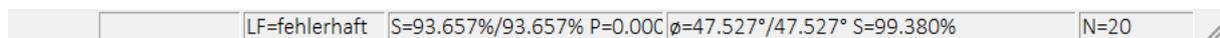
**Abbildung 147: Abbruch des Iterationsprozesses - LF=gestoppt**

Im Falle der Konvergenz wird in der Statusbar die Kennung **LF=o.k.** angezeigt.



**Abbildung 148: Statusleiste im Falle der Konvergenz nach N=3 Iterationsschritten**

Im Falle der Divergenz, d.h. dass nach der maximal zulässigen Anzahl von Iterationsschritten, die vom Anwender geforderte Genauigkeit nicht erreicht werden konnte, wird **LF=fehlerhaft** in der Statusbar ausgegeben.



**Abbildung 149: Statusleiste im Falle der Divergenz LF=fehlerhaft**

Das grafische Symbol der **Verbraucherlast** kann mit dem Toolbar-Schalter  in das Pfeilsymbol umgeschaltet. Um das nachfolgend dargestellte Stromnetz mit ATPDesigner zu erstellen, sind die nachfolgend beschriebenen Schritte empfehlenswert.

1. Start von ATPDesigner
2. Öffnen einer leeren Zeichenfläche im Hauptmenü **Datei**, Menüpunkt **Neu** oder durch Drücken des Toolbar-Buttons  in der oberen Toolbar oder durch **STRG + N**.
3. Aufbau des Stromnetzes beginnend mit der **Netzeinspeisung Network 1**, dem **Transformator 2-Wicklungs-**, etc. durch **Drag&Drop** aus den **Projektinformationen**.

⇒ Netzwerkelemente können aus der Registerkarte **Netzwerk** der **Projektinformationen** mit Hilfe von **Drag&Drop** auf der Zeichenfläche positioniert werden.

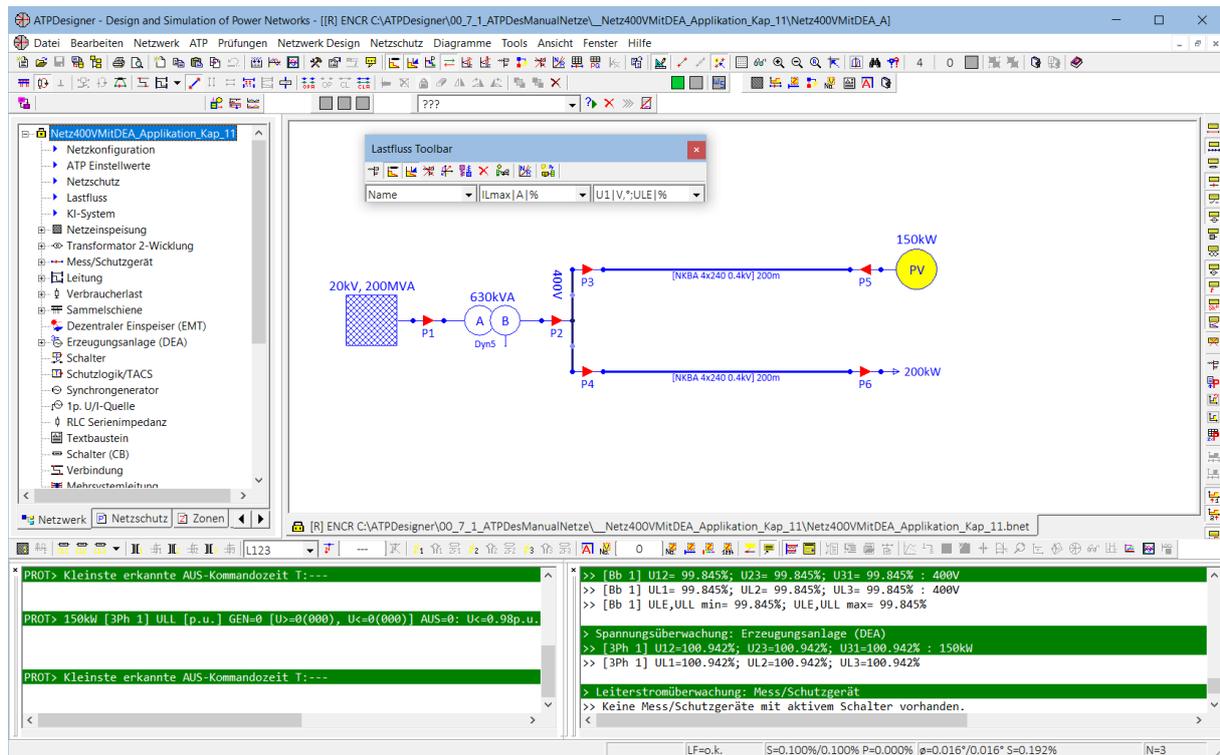


Abbildung 150: Niederspannungsnetz mit Bezugsanlage und Solarstromanlage

Im nachfolgenden Beispiel wird davon ausgegangen, dass in den Einstelldialogen die Grundeinstellung der Einstellwerte (Default) eingestellt ist. Die Grundeinstellung kann durch einen **Left Mouse Button Click** auf den Button **Default** geladen werden. Änderungen gegenüber der Grundeinstellung werden erläutert.

### 11.1 20kV-Netzeinspeisung – vorgelagertes Mittelspannungsnetz

Das vorgelagerte Mittelspannungsnetz wird als **Netzeinspeisung** mit den folgenden Einstellwerten nachgebildet. Das Netzwerkelement kann auch per **Drag&Drop** auf die Zeichenfläche gezogen werden.

- Nennspannung  $U_n = 20\text{kV}$
- Netznennfrequenz  $f_n = 50\text{Hz}$
- Kurzschlussleistung  $S_k'' = 200\text{MVA}$
- Verhältnis Nullimpedanz - Mitimpedanz  $\underline{Z}_0 = 2 \cdot \underline{Z}_1$

ATPDesigner bildet die Netzeinspeisung in Anlehnung an VDE 0102 [2] als induktiv gekoppelte RL-Serienimpedanz nach. Wird die Option **Phi (Zk)** deaktiviert, kann der Impedanzwinkel **phi (Zk)** manuell eingestellt werden. Für 20kV-Mittelspannungsnetze sind Impedanzwinkel  $\varphi \approx 30...60^\circ$  je nach verwendeten Mittelspannungskabeln üblich.



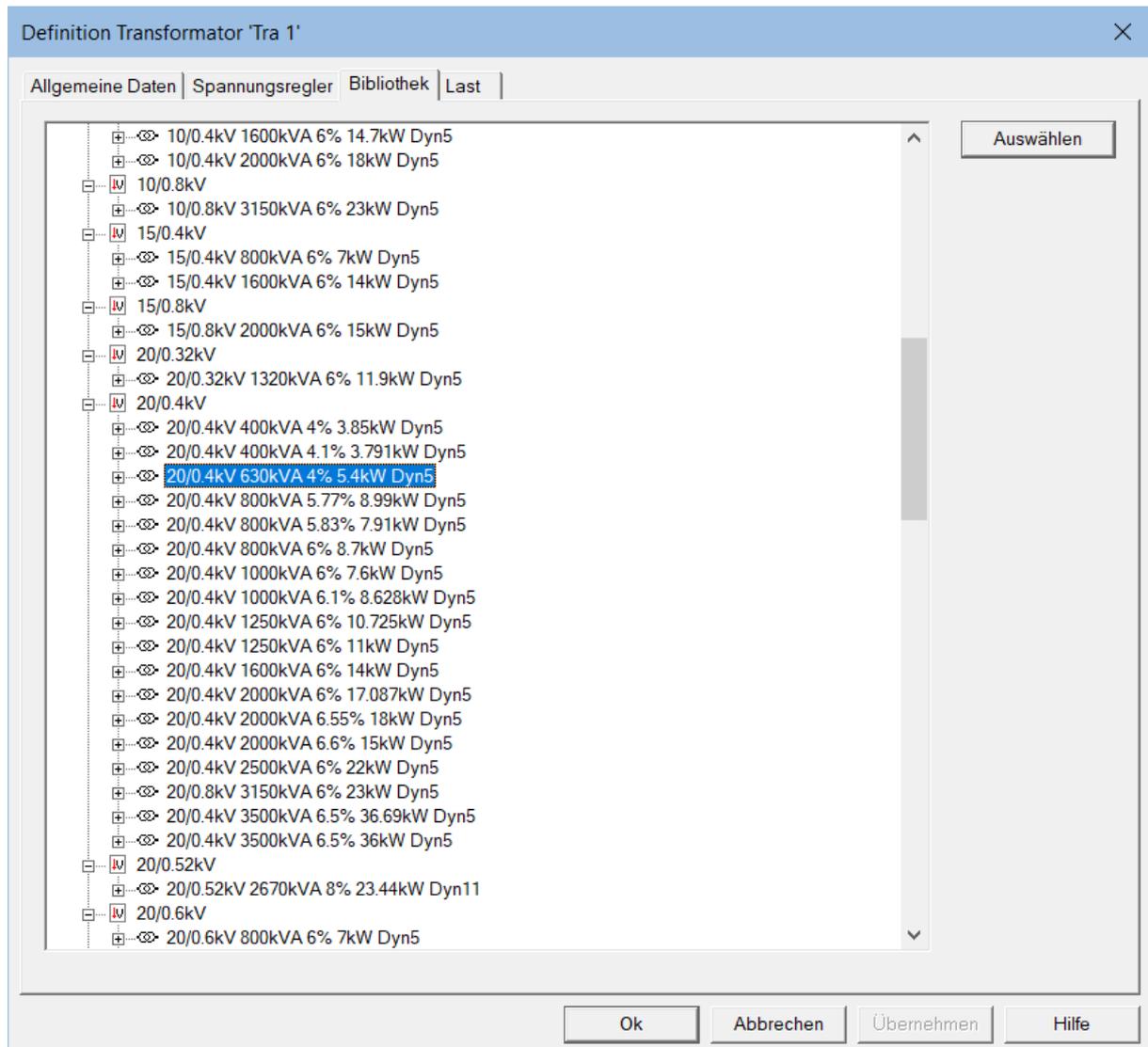


Abbildung 152: Transformator in der Bibliothek auswählen

Definition Transformator 'Tra 1'

Allgemeine Daten | Spannungsregler | Bibliothek | Last

**Nenn- und Bemessungsspannung**

UrA = 20 kV 0 %  
 UrB = 0.4 kV 0 %  
 UnA = 20 kV  
 UnB = 0.4 kV

**Schalter im Sternpunkt mit Serienimpedanz**

Schalter aktivieren Rcb = 0 Ohm  
 Leistungsschalter Xcb = 0 Ohm  
 Ccb = 0 uF

Default  
 Hilfe  
 Aktiv / Inaktiv

**Leerlaufdaten**

IL = 6.49519 A Aktiviert   
 iL = 0.714286 %  
 PL = 0.6 kW  
 Magnetisierung an Wicklung B

**Allgemeine Daten**

Name: 20/0.4kV  
 Sr = 630 kVA  kVA  MVA  
 X0/X1 = 1  2. externer Sternpunkt  
 Magnetisierungskennlinie  
 Magnet. Kennlinie (B,H)

ZrA = 2500.00000 x ZrB  
 IrA = 0.02000 x IrB IrA = 18.18653 A  
 UrA = 50.00000 x UrB IrB = 909.32667 A

**Sternpunkt**

Schaltgruppe Dyn5  
 starr geerdet

Un = 400 kV  
 Id = 10 A  
 X = 1154.7 Ohm  
 R = 1e+12 Ohm

**Kurzschlussdaten**

uk = 4 %  
 Pk = 5.4 kW  
 uR = 0.85714 %

**Kurzschlussimpedanz**

ZrA = 25.396825 Ohm  
 5.442177 +j 24.806883  
 ZrB = 0.010159 Ohm  
 0.002177 +j 0.009923

Ok Abbrechen Übernehmen Hilfe

Abbildung 153: Ortsnetztransformator 20/0,4kV,  $S_{Tr} = 630\text{kVA}$ ,  $u_k = 4\%$ ,  $P_k = 5,4\text{kW}$

### 11.3 Mess/Schutzgerät

Im nächsten Schritt wird ein **Mess/Schutzgerät P1** (Referenzname **Prb 1**) zwischen Netzeinspeisung und Transformator eingefügt. Das Netzwerkelement kann per **Drag&Drop** auf die Zeichenfläche gezogen werden. Das Spannungs- und Strommessgerät wird verwendet, um an definierten Netzknoten die Leiterströme, die Leiter-Erd-Spannungen sowie Leistungen und weitere elektrische Kennwerte zu berechnen und in einem Tooltip anzuzeigen. Es ist zu beachten die Nennspannung  $U_n$  korrekt einzustellen, damit der prozentuale Wert der berechneten Leiter-Erd-Spannung korrekt in den Tooltips angezeigt wird. Darüber hinaus kann auch ein Nennstrom  $I_n$  eingestellt werden, um eine prozentuale Anzeige in den Tooltips zu erhalten.

Einstellwert	Bedeutung
<b>Un</b>	Nennspannung $U_n = 20\text{kV}$
<b>In</b>	Nennstrom $I_n = 600\text{A}$

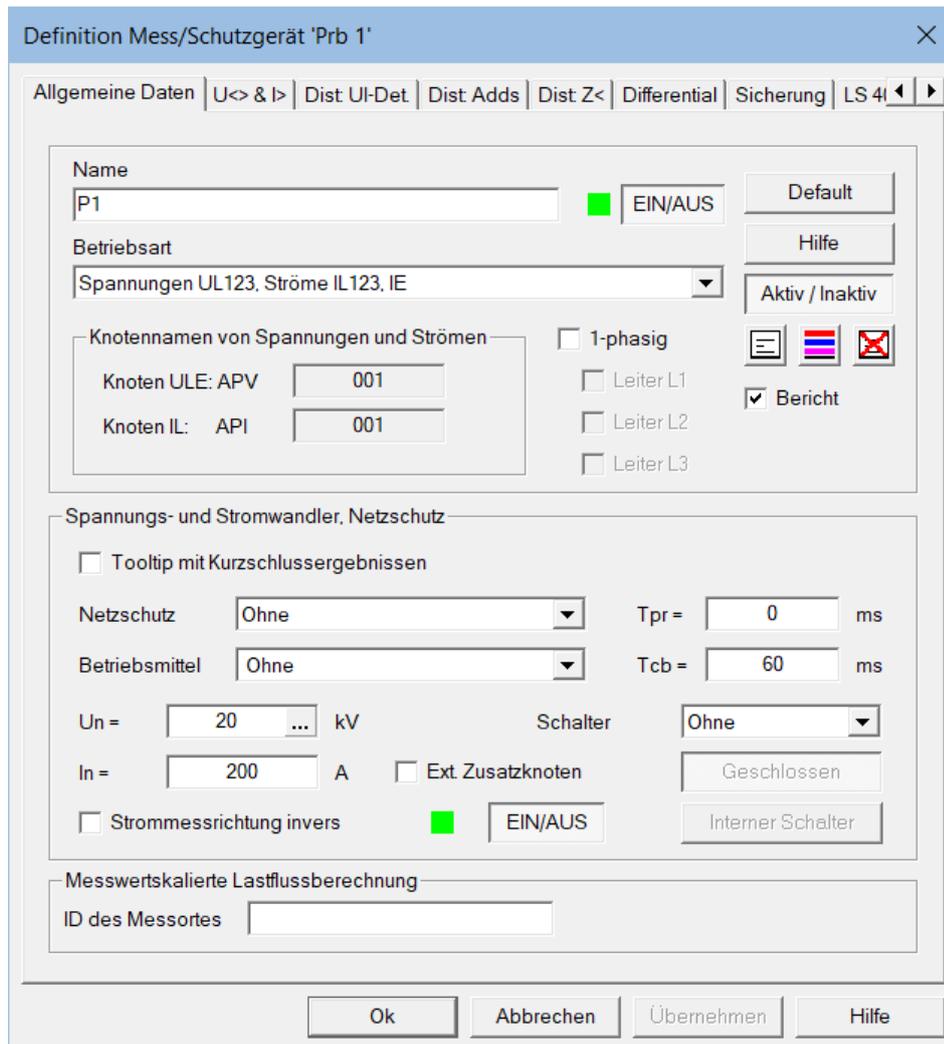


Abbildung 154: Einstelldialog für das Netzwerkelement Mess/Schutzgerät

## 11.4 0,4kV-Sammelschiene

Im nächsten Schritt wird eine **Sammelschiene** an das **Mess/Schutzgerät P1** angeschlossen. Das Netzwerkelement kann per **Drag&Drop** auf die Zeichenfläche gezogen werden.

Einstellwert	Bedeutung
<b>Un</b>	Nennspannung $U_n = 400V$
<b>Name</b>	Bezeichner der Sammelschiene

Es können alternativ auch andere Sammelschientypen ausgewählt werden.

- ⇒ Es muss darauf geachtet werden, dass der Sammelschientyp nur geändert werden kann, wenn kein anderes Netzwerkelement mit der Sammelschiene verbunden ist.

Definition Sammelschiene 'Bb 1'

Sammelschientyp  
 11: 5 Knoten Einfachsammschiene  
 Anzahl Knoten = 2

Allgemeine Einstellwerte  
 Un = 0.4 kV In = 1e+12 kA  
 Name: 400V  
 Spannungsfall anzeigen

Leiter L1 Knoten A  
 Leiter L2 Knoten B  
 Leiter L3 Knoten C

Kurzschluss  
 Aktiviert  
 Ohne  
 Td = 0.1 s

Thermisch gleichwertiger Bemessungs-Kurzschlussstrom Ithr  
 Ithr = 25 kA Tkr = 1 s Ik max = 25 kA

OK  
 Abbrechen  
 Default  
 Hilfe  
 Aktiv / Inaktiv

Abbildung 155: 0,4kV-Sammelschiene am Ortsnetztransformator

### 11.5 Erzeugungsanlage (EZA) konstanter Wirkleistung $P_n$ ( $IL:3p$ ) = const.

Solarstrom- und Windkraftanlagen werden durch eine 3-phasige symmetrische Stromquelle konstanter Wirkleistung  $P_n$  und Blindleistung  $Q$  mit dem Netzwerkelement **Erzeugungsanlage (DEA)** nachgebildet.

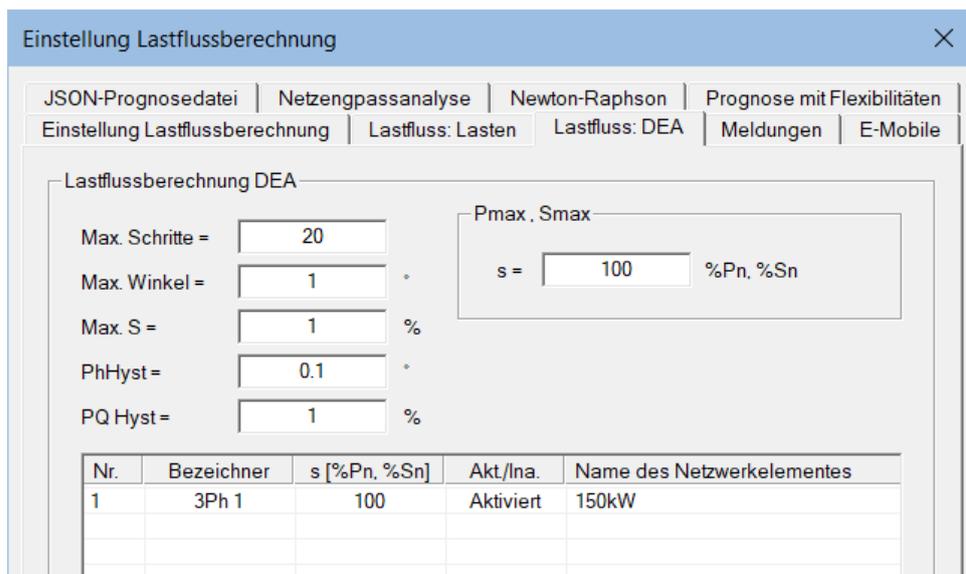
Einstellwert	Bedeutung
$P_n$	Wirkleistung $P_n = 150\text{kW}$ , Verschiebungsfaktor $\cos \varphi = 0,98$ untererregt
Betriebsart	Betriebsart <b><math>P_n</math> (<math>IL:3p</math>) = const.</b> d.h. symmetrische, 3-phasige Stromquelle mit konstanter Wirkleistungseinspeisung im Mitsystem
Un init	Startwert der Nennspannung am Einspeiseknoten $U_n = 0,4\text{kV}$
Imax = 120%	Der Betrag des eingespeisten Leiterstroms wird auf 120% $I_n$ begrenzt.
Betriebsart cos phi	In der Betriebsart <b>cos phi = const.</b> wird ein konstanter Verschiebungsfaktor am Netzanschlusspunkt (NAP) eingestellt.
Betriebsart IL	In der Einstellung <b>IL=f(ULL)</b> wird der Mittelwert der Leiter-Leiter-Spannungen, die am Netzanschlusspunkt (NAP) gemessen werden, zur Leistungsregelung verwendet.
Lastfluss: DEA (Phase Adjusting)	Die Option muss aktiviert sein, damit die Erzeugungsanlage in der Lastflussberechnung berücksichtigt wird.
U<> - Überwachung	Die <b>Unter- und Überspannungsüberwachung U&lt; und U&gt;</b> wird zur Überwachung der Leiter-Leiter-Spannungen am Netzanschlusspunkt der Erzeugungsanlage auf $\pm 2\%U_n$ sowie die Betriebsart <b>ULL</b>

	[p.u.] eingestellt. Die zugeordneten Staffelfeiten werden nur dann bewertet, wenn eine Über- oder Unterspannung gemessen wird.
<b>NAP Messort DEA [...]</b>	Der Messort der Spannungen und Ströme, die für die Lastflussberechnung der Wirkleistung und Blindleistung verwendet werden, ist der Netzknoten der <b>Erzeugungsanlage (DEA)</b> . Als Alternative kann ein <b>Mess/Schutzgerät Px</b> verwendet werden.
<b>Parkregler</b> ---	Die Erzeugungsanlage wird nicht durch einen Parkregler geregelt.

1. Ausgehend von dem Initialisierungswert **Un init** am Netzanschlussknoten (NAP) der Erzeugungsanlage wird der Betrag der Leiterströme  $I_L$  der drei Stromquellen berechnet und für die Lastflussberechnung verwendet.
2. Vor jeder weiteren Lastflussberechnung wird der Betrag der Leiterströme der drei Stromquellen aus der eingestellten Wirkleistung  $P_n$ , dem Verschiebungsfaktor  $\cos \varphi$  und dem Betrag der Mitsystemspannung  $\underline{U}_1$  berechnet.

$$\underline{U}_1 = \frac{\underline{U}_{L1} + \underline{a} \cdot \underline{U}_{L2} + \underline{a}^2 \cdot \underline{U}_{L3}}{3}$$

3. ATPDesigner kontrolliert den Iterationsprozess durch Bewertung der Genauigkeit der Winkelabweichung  $\Delta\varphi$  für jede **Erzeugungsanlage (DEA)** einzeln und den Mittelwert aller im Stromnetz enthaltenen dezentralen **Erzeugungsanlagen (DEA)** mit aktiver Option **Lastfluss: DEA (Phase Adjusting)**.
4. Im Einstelldialog **Einstellung Lastflussberechnung**, Registerkarte **Lastfluss: DEA** kann der **Teillastfaktor s** für die Berechnung der tatsächlich eingespeisten Wirkleistung eingestellt werden. Der Einstellwert gilt für alle **Erzeugungsanlagen (DEA)** mit aktiver Option **Lastfluss: DEA (Phase Adjusting)**.



**Einstellung Lastflussberechnung**

JSON-Prognosedatei | Netzengpassanalyse | Newton-Raphson | Prognose mit Flexibilitäten

Einstellung Lastflussberechnung | Lastfluss: Lasten | **Lastfluss: DEA** | Meldungen | E-Mobile

Lastflussberechnung DEA

Max. Schritte =

Max. Winkel =  °

Max. S =  %

PhHyst =  °

PQ Hyst =  %

Pmax, Smax

s =  %Pn, %Sn

Nr.	Bezeichner	s [%Pn, %Sn]	Akt./Ina.	Name des Netzwerkelementes
1	3Ph 1	100	Aktiviert	150kW

Die Einfärbung des grafischen Symbols der **Erzeugungsanlagen (DEA)** kann mit dem Einstellwert **Betriebsart** in der Registerkarte **Lastprofil** eingestellt werden.

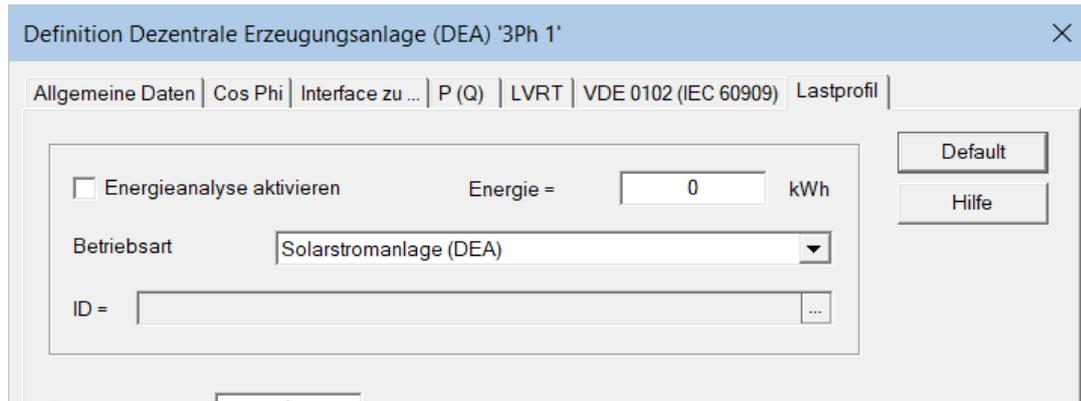


Abbildung 156: Einstellwert zur Definition des grafischen Symbols

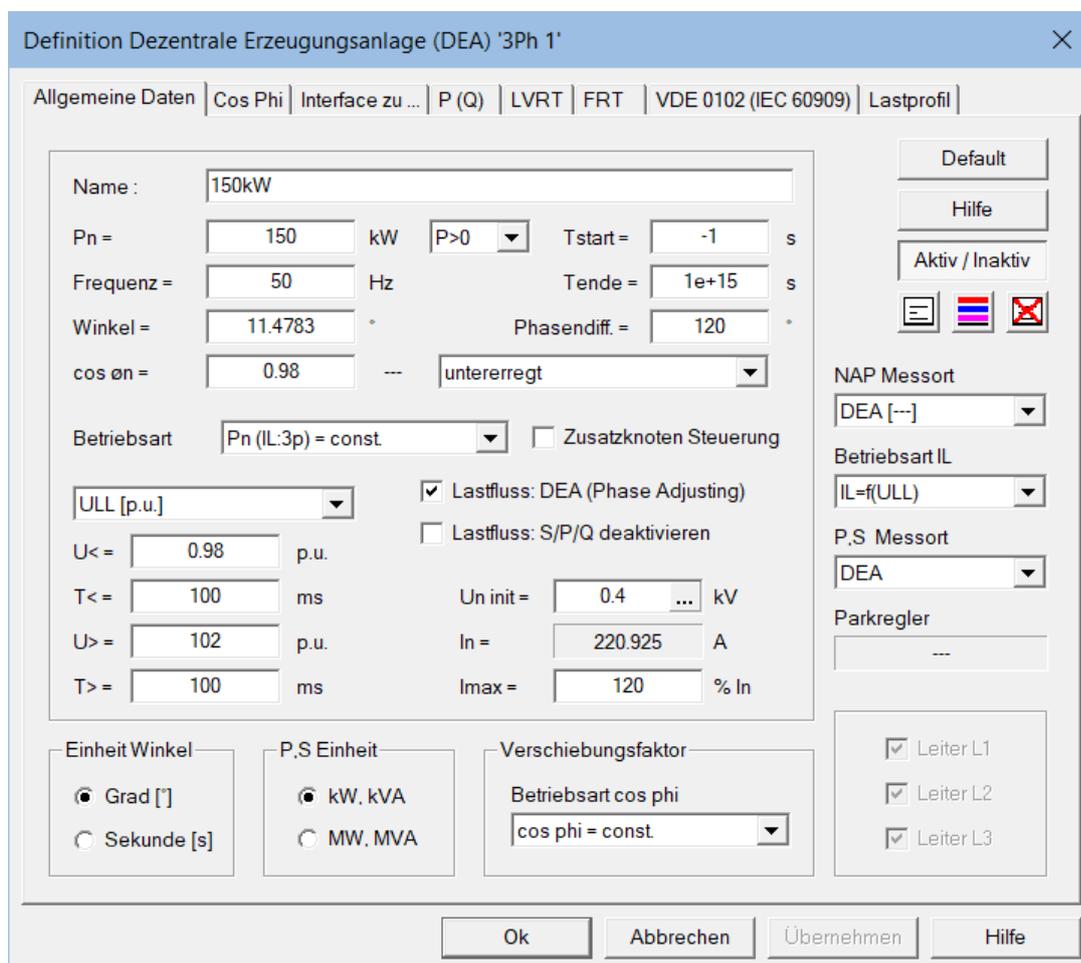


Abbildung 157: Einstelldialog Erzeugungsanlage (DEA)

Als **Verschiebungsfaktor  $\cos \varnothing_n = \cos(\text{Winkel})$**  kann ein Wert im Intervall  $[0, 1]$  eingestellt, zusätzlich die Betriebsart **untererregt** oder **übererregt** eingestellt werden. Als Ergebnis der Iteration ergibt sich **Blindleistungsbezug** oder **Blindleistungseinspeisung**. Die Messungen für die **Erzeugungsanlage (DEA)** erfolgen im Erzeugerzählpfeilsystem (EZS).

Grundsätzlich sind Konvergenzprobleme des iterativen Prozesses nicht auszuschließen. Es ist daher nach Ende der Iteration zu kontrollieren, ob die eingestellte Genauigkeit mit Konvergenz **LF=0.k.** erreicht wurde.

LF=o.k.	S=0.141%/0.141% P=0.000%	$\phi=0.017^\circ/0.017^\circ$ S=0.196%	N=3
---------	--------------------------	---	-----

Abbildung 158: Genauigkeiten der Iteration bei Konvergenz – LF=o.k

Die Abbildung zeigt links in der Statuszeile die mittlere/maximale Genauigkeit **S=0.141%/0.141%** für **Lastfluss: Lasten** und die mittlere/maximale Phasenabweichung  $\phi=0.017^\circ/0.017^\circ$  und die maximale Abweichung der als konstant definierten Einspeisleistung **S=0.196%** für **Lastfluss: DEA**. Zusätzlich wird die Anzahl Iterationszyklen **N=3** angezeigt.

### 11.5.1 Dezentrale Erzeugungsanlagen im Kurzschlussbetrieb (LVRT-Betrieb)

Dezentrale Erzeugungsanlagen müssen nach Anforderung des Netzbetreibers [4] im Kurzschlussbetrieb des Netzes Blindstrom zur Spannungstützung einspeisen. Das Netzwerkelement **Erzeugungsanlage (DEA)** kann für die [Berechnung stationärer Netzzustände](#) so eingestellt werden, dass die Anforderungen für den LVRT-Betrieb grundsätzlich berücksichtigt werden. In der Grundeinstellung ist in der Registerkarte **LVRT** der LVRT-Betrieb für das Netzwerkelement **Erzeugungsanlage (DEA)** deaktiviert.

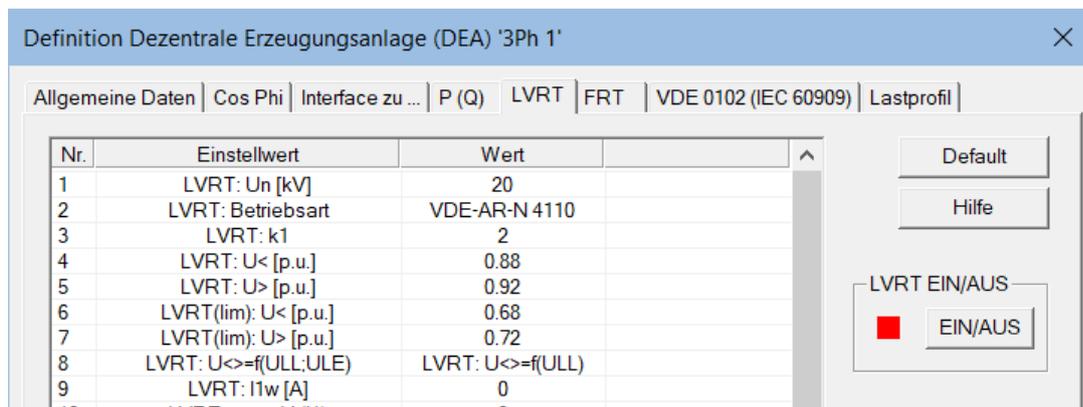


Abbildung 159: Deaktivierter LVRT-Betrieb der Erzeugungsanlage (DEA)

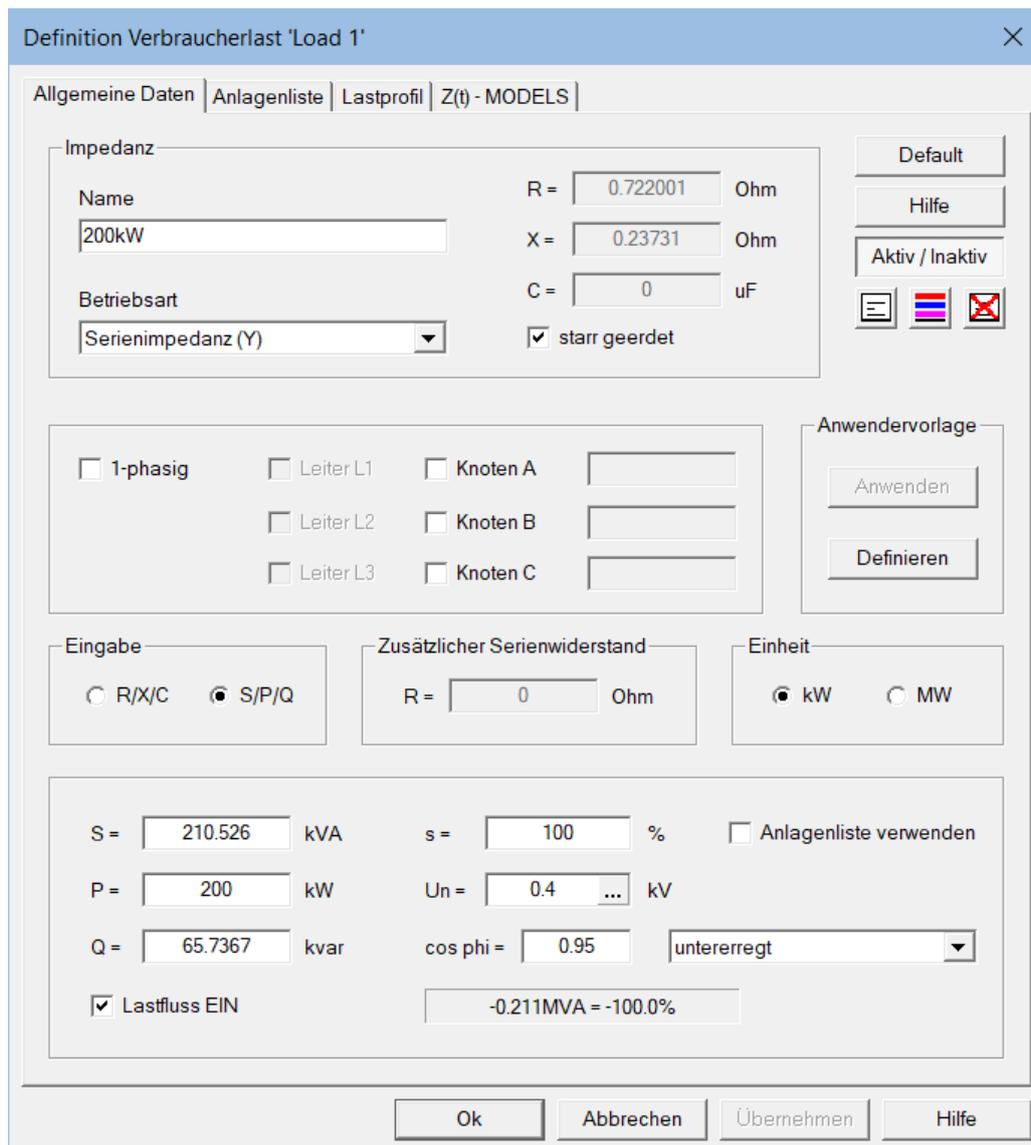
### 11.6 Verbraucherlast – Bezugsanlage mit konstanter Leistung

Das Netzwerkelement **Verbraucherlast** kann als PQ-Knoten, d.h. als Bezugsanlage mit konstanter Wirk- und Blindleistung in der Lastflussberechnung verwendet werden.

Einstellwert	Bedeutung
<b>Un</b>	Nennspannung $U_n = 400V$
<b>P</b>	Wirkleistung $P = 30kW$
<b>cos phi</b>	Verschiebungsfaktor $\cos \phi = 0,95$
<b>Lastfluss EIN</b>	Option <b>Lastfluss EIN</b> aktiv Die <b>Verbraucherlast</b> wird in der Lastflussberechnung berücksichtigt.
<b>starr geerdet</b>	Sternpunkt <b>starr geerdet</b>
<b>Betriebsart</b>	<b>Serienimpedanz (Y)</b> Es wird das Modell der 3-phasigenm symmetrischen Serienimpedanz in Sternschaltung verwendet.

Die Einstellwerte sollten in der nachfolgenden Reihenfolge im Einstelldialog eingegeben werden.

1. Nennspannung  $U_n = 0,4\text{kV}$   
Durch eine **Left Mouse Button Click** auf den Taster "...“ kann eine Auswahlliste mit typischen Nennspannungen geöffnet werden. Die Auswahl erfolgt mit einem **Left Mouse Button Click** auf den Wert der Nennspannung.
2. Verschiebungsfaktor  $\cos \phi = 0,95$  untererregt
3. Wirkleistung  $P = 30\text{kW}$



**Abbildung 160: Einstelldialog Verbraucherlast als Nachbildung einer Bezugsanlage**

Durch die vorgegebene Reihenfolge berechnet ATPDesigner automatisch die intern benötigte Impedanz  $\underline{Z} = R + jX$  je Leiter. Werden Einstellwerte geändert, wird die interne Impedanz automatisch angepasst.

Die Information rechts neben der Option **Lastfluss EIN** gibt die prozentuale Abweichung der in der letzten stationären Netzberechnung wirksamen Scheinleistung der **Verbraucherlast** bezogen auf den Einstellwert an. Als Grundeinstellung d.h. vor dem Start der Lastflussberechnung wird -100% angezeigt.

## 11.7 Einstellwerte der Lastflussberechnung

Die Lastflussberechnung muss im Einstelldialog **Einstellung Lastflussberechnung** aktiviert werden.

- Hauptmenü **Netzwerk**
- Menüpunkt **ATP Einstellwerte**
- Registerkarte **ATP Daten**

In der Gruppe **Lastflussberechnung**:

-  Option **Lastfluss: PQ, PU-Knoten** aktiv
-  Option **Lastfluss: DEA** aktiv
- Auswahlliste **1-Step**

Zusätzlich sollte in den Registerkarten **Lastfluss: Lasten** und **Lastfluss: DEA** die Konvergenzkriterien auf Grundeinstellung eingestellt sein. Die Grundeinstellung kann für den gesamten Einstelldialog **ATP Einstellwerte** durch einen **Left Mouse Button Click** auf den Button **Default** in der Registerkarte **ATP Daten** geladen werden.

- ⇒ Durch den **Left Mouse Button Click** auf den Button **Default** in der Registerkarte **ATP Daten** werden **in allen Registerkarten die Einstellwerte mit Grundeinstellung überschrieben**.

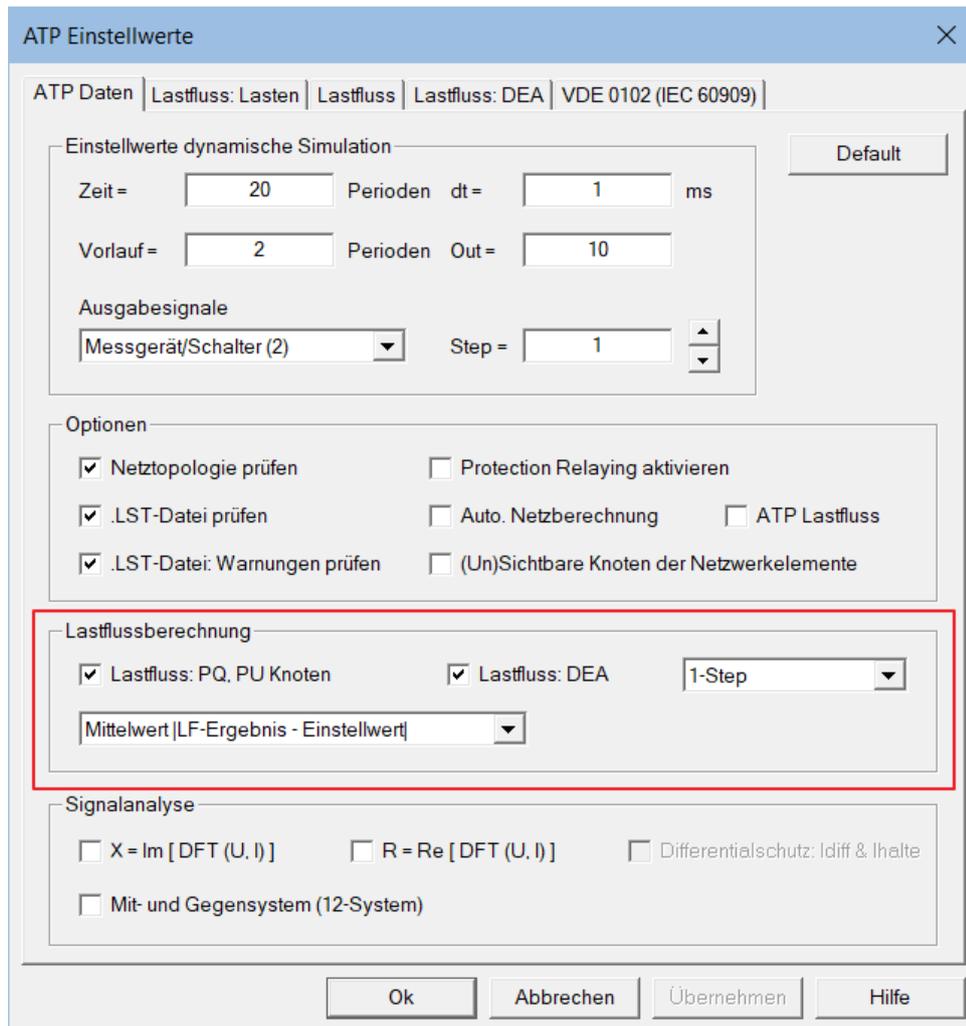


Abbildung 161: Allgemeine Einstellungen in ATP Daten

## 11.8 Ergebnisse der Lastflussberechnung in ATPDesigner

Ergebnisse der Lastflussberechnung werden teilweise direkt in der Netzgrafik und in Tooltips der Netzwerkelement an der Mauscursor-Position angezeigt.

- Die Spannungen, Ströme und Leistungen am Netzanschlussknoten (NAP) der dezentralen Erzeugungsanlage werden in einem **Tooltip** angezeigt, wenn sich der Mauscursor über dem grafischen Symbol des Netzwerkelementes in der Netzgrafik befindet. Die nachfolgende Abbildung zeigt ein Beispiel.
- Die maximale Leiterstromauslastung der **Leitungen** in A und  $\%I_{max}$ , der Betrag der Leiter-Erd-Spannungen der **Sammelschienen** in  $\%U_n/\sqrt{3}$ , der Betrag der Leiter-Erd-Spannungen in  $\%U_n/\sqrt{3}$  und Leistungen an **Verbraucherlasten** und **Einpeisanlagen (DEA)** werden direkt in der Netzgrafik angezeigt.
- Weitere Ergebnisse der Lastflussberechnung und die erreichte Konvergenzgenauigkeit sind im **Meldungsfenster** enthalten. Die Zeilen des **Meldungsfensters** können mit dem Mousrad gescrollt werden. Mit einem **Right Mouse Button Menü** kann der Inhalt in die Zwischenablage kopiert werden. Das Meldungsfenster

kann zeilenweise mit einem **Left Mouse Button Click** und mit **Strg + C** oder insgesamt mit **Strg + a** markiert und in die Zwischenablage kopiert werden.

- Das Ergebnis der Netzzustandsanalyse basierend auf dem Ampelkonzept wird im **Meldungsfenster** ausgegeben.

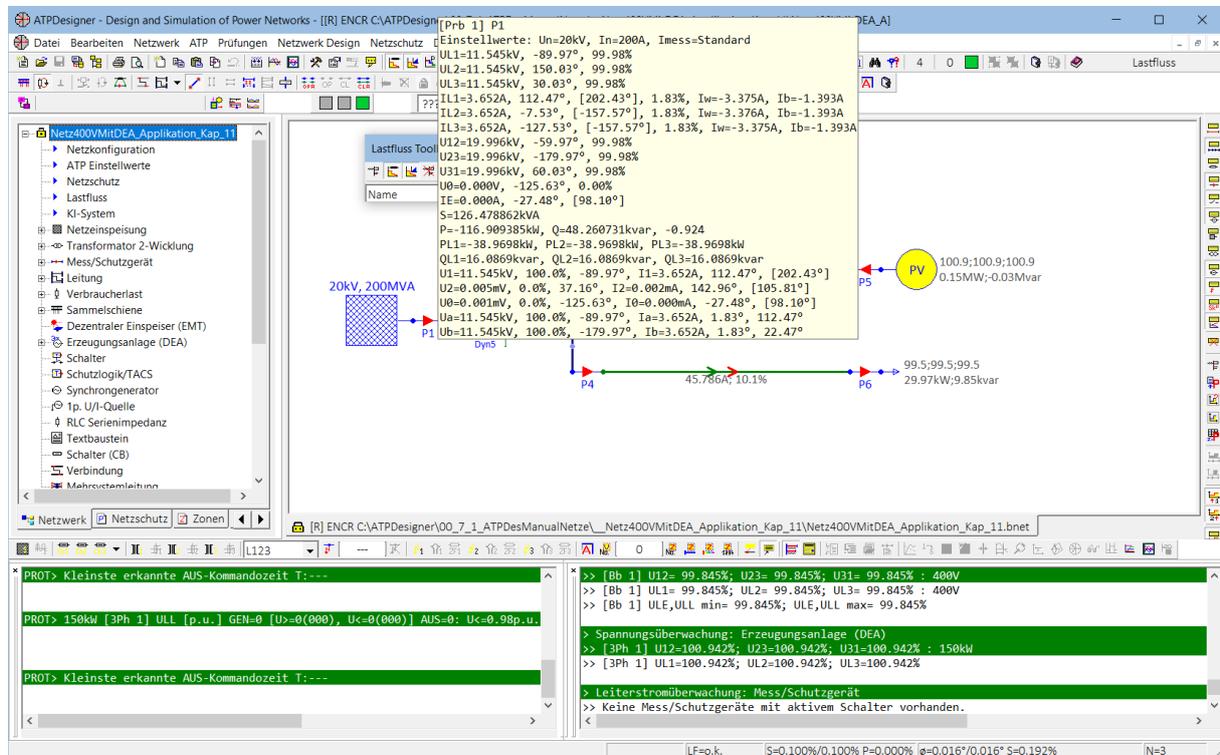


Abbildung 162: Ergebnisse der Lastflussberechnung in ATPDesigner

Nachfolgend ist ein Auszug aus dem **Meldungsfenster** dargestellt.

```

--- Netzberechnung beendet. ---
LF> Lastfluss: Konvergenz
LF> Lastfluss: Genauigkeit Lastflussberechnung Lasten = o.k.
LF> Lastfluss: Genauigkeit Lastflussberechnung DEA = o.k.
LF> Spannungsregler: Genauigkeit der Stufenschalter = ---
LF> Längsspannungsregler: Genauigkeit der Stufung = ---

> Netzzustand (grün, gelb, rot) überprüfen ...
>> Netzzustand: Netzfaktor fN (Leitung) = 100.0%
>> Netzzustand: Netzfaktor fN (Sammelschiene) = 100.0%
>> Netzzustand: Netzfaktor fN = 100.0%
>> Netzzustand: Grün

> Spannungsüberwachung: Sammelschiene
>> [Bb 1] U12= 99.845%; U23= 99.845%; U31= 99.845% : 400V
>> [Bb 1] UL1= 99.845%; UL2= 99.845%; UL3= 99.845% : 400V
>> [Bb 1] ULE,ULL min= 99.845%; ULE,ULL max= 99.845%

> Spannungsüberwachung: Erzeugungsanlage (DEA)
>> [3Ph 1] U12=100.942%; U23=100.942%; U31=100.942% : 150kW
>> [3Ph 1] UL1=100.942%; UL2=100.942%; UL3=100.942%

> Leiterstromüberwachung: Mess/Schutzgerät
>> Keine Mess/Schutzgeräte mit aktivem Schalter vorhanden.
  
```

```

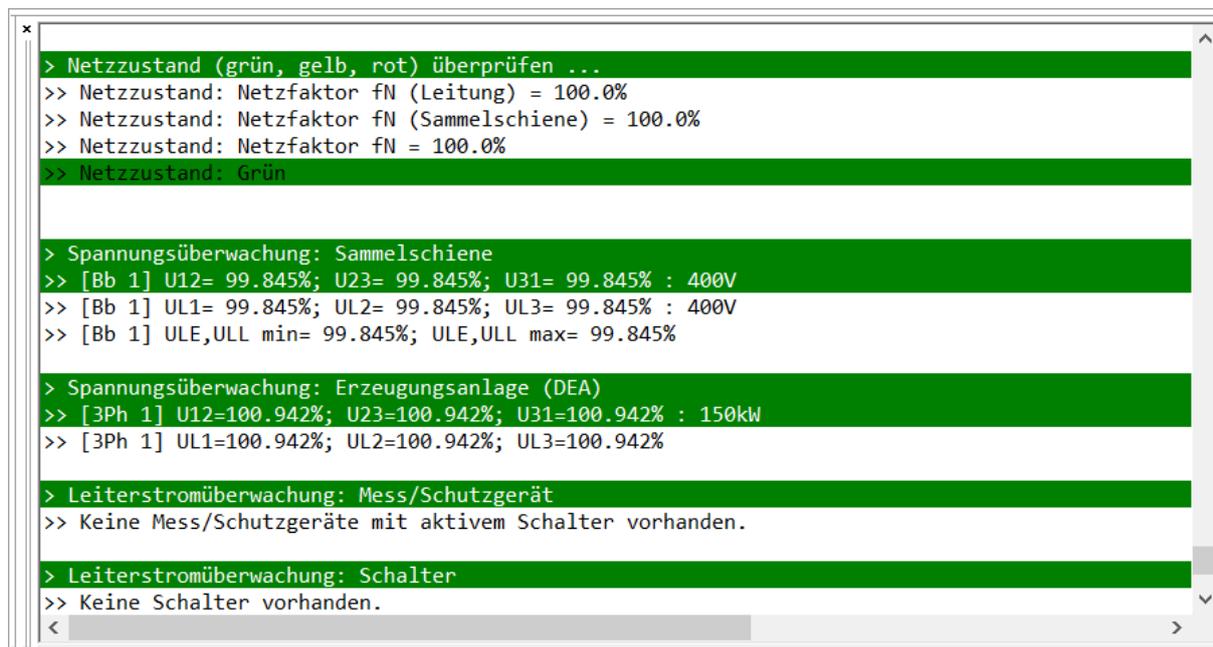
> Leiterstromüberwachung: Schalter
>> Keine Schalter vorhanden.

> Überwachung P(Q)-Kennlinie: Erzeugungsanlage (DEA)
>> Alle P(Q)-Kennlinien sind deaktiviert

```

## 11.9 Ergebnisse der Lastflussberechnung in einem Bericht

ATPDesigner dokumentiert die Ergebnisse der Lastflussberechnung in einem [Bericht](#) im Office Open XML Format [21], der im [Projektverzeichnis](#) gespeichert wird. Zusätzlich werden Ergebnisse in den [Meldungsfenstern](#) ausgegeben. Ein Beispiel für die Ausgabe im [Meldungsfenster](#) ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.



```

> Netzzustand (grün, gelb, rot) überprüfen ...
>> Netzzustand: Netzfaktor fN (Leitung) = 100.0%
>> Netzzustand: Netzfaktor fN (Sammelschiene) = 100.0%
>> Netzzustand: Netzfaktor fN = 100.0%
>> Netzzustand: Grün

> Spannungsüberwachung: Sammelschiene
>> [Bb 1] U12= 99.845%; U23= 99.845%; U31= 99.845% : 400V
>> [Bb 1] UL1= 99.845%; UL2= 99.845%; UL3= 99.845% : 400V
>> [Bb 1] ULE,ULL min= 99.845%; ULE,ULL max= 99.845%

> Spannungsüberwachung: Erzeugungsanlage (DEA)
>> [3Ph 1] U12=100.942%; U23=100.942%; U31=100.942% : 150kW
>> [3Ph 1] UL1=100.942%; UL2=100.942%; UL3=100.942%

> Leiterstromüberwachung: Mess/Schutzgerät
>> Keine Mess/Schutzgeräte mit aktivem Schalter vorhanden.

> Leiterstromüberwachung: Schalter
>> Keine Schalter vorhanden.

```

Abbildung 163: Ergebnisse der Lastflussberechnung (Beispiel)

Nach erfolgreicher Durchführung der Lastflussberechnung werden die Ergebnisse in einem Bericht (XML-Datei [21]) im [Projektverzeichnis](#) ausgegeben. Der Dateiname ist wie folgt definiert. Der **NetDateiname** ist der Dateiname der zugehörigen **.NET-Datei**.

**JJJJMMThhmmss\_NetDateiname\_LF.xml**

In dem Beispiel ist der Dateiname des Berichtes wie folgt.

**20241119175439553\_Netz400VMitDEA\_Applikation\_Kap\_11\_LF.xml**

Der Bericht kann direkt in einem Textverarbeitungsprogramm wie z.B. Word eingelesen und weiterverarbeitet werden.



## 12 Rechenzeit – Hinweise zur Minimierung und Überprüfung

Im Folgenden werden einige Hinweise gegeben, wie die Rechenzeit von ATPDesigner inklusive des Rechenkerns ATP abhängig von Einstellwerten und Funktionen minimiert werden kann.

### 12.1 Berechnung stationärer Netzzustände und Lastflussberechnung

#### 12.1.1 Rechenzeit: Ausgabe von Meldungen in den Meldungsfenstern

Die Ausgabe von Meldungen im **Meldungsfenster** und im **Meldungsfenster für Schutzfunktionen** benötigt vergleichsweise viel Rechenzeit. So kann die Rechenzeit für die Analyse der Netzschutzfunktionen und die dazu gehörende Ausgabe in das **Meldungsfenster für Schutzfunktionen** für ein Netz von ca. 1700 Netzwerkelementen mit ca. 700 **Mess/Schutzgeräten**, davon ca. 110 **Distanzschutzgeräten** durch Abschalten der Netzschutzmeldungen **von ca. 2s auf ca. 0,5s** verringert werden.

Die Ausgabe der Netzschutzmeldungen kann wie nachfolgend dargestellt im Einstell-dialog **Einstellungen Elektrisches Netz**, Registerkarte **Meldungen** durch den Einstellwert **Ergebnisse für Schutzgeräte** deaktiviert werden.

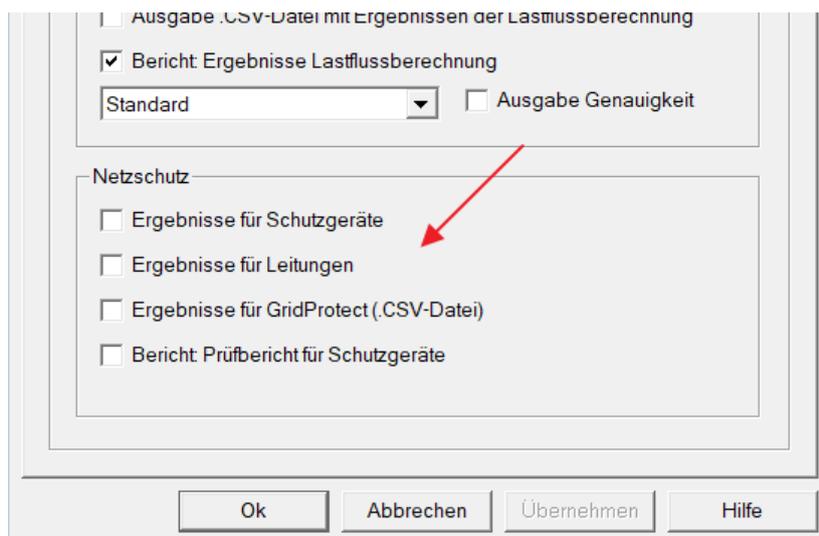


Abbildung 164: Deaktivieren der Ausgabe von Netzschutzmeldungen

### 12.1.2 Meldungsfenster: Ausgabe der Rechenzeiten

Die von ATPDesigner und ATP benötigten Rechenzeiten werden im **Meldungsfenster** ausgegeben.

```

x --- Netzberechnung beendet: 0 Fehler, 5 Warnungen gefunden. ---
PROT> Überprüfung der Einstellwerte der Schutzfunktionen: O.K., keine Fehler gefunden
TIME> Überprüfe .LST-Datei=1474.000000ms, Analyse Netzschutz=329.000000ms
LF> Lastfluss: Konvergenz

LF> Lastfluss: Genauigkeit Lastflussberechnung Lasten = ---
LF> Lastfluss: Genauigkeit Lastflussberechnung DEA = ---
LF> Spannungsregler: Genauigkeit der Stufenschalter = ---
LF> Längsspannungsregler: Genauigkeit der Stufung = ---

```

#### Ausgabertext mit Bedeutung

**TIME> Überprüfe .LST-Datei=1468.000000ms, Analyse Netzschutz=341.000000ms**

- **Überprüfe .LST-Datei**  
Einlesen der berechneten Grundswingungszeiger der Ströme und Spannungen aus der .LST-Datei und Zuordnung zu den Netzwerkelementen
- **Analyse Netzschutz**  
Ausführung der Netzschutzanalyse inklusive der optionalen Ausgabe der Ergebnisse im **Meldungsfenster**

### 12.1.3 ATP Option \$WIDTH: Kompaktes Format der .LST-Datei des ATP

Die Rechenzeit des Rechenkerns ATP kann durch die Wahl des Formats der .LST-Datei verringert werden. Durch die ATP-spezifische Option **\$WIDTH** wird ein kompakteres Ausgabeformat der .LST-Datei ausgewählt. Die Option kann im Einstelldialog **Einstellungen Elektrisches Netz**, Registerkarte **ATP Einstellungen** [Bd. 2] aktiviert werden.

- ⇒ Die Darstellung der Ergebnisse in Tooltips, direkt in der Netzgrafik oder auch in Berichten könnte in Ausnahmefällen reduziert sein und Lücken entstehen. Dies ist unbedingt im konkreten Fall zu kontrollieren.

### 12.1.4 Meldungsfenster deaktivieren

Durch die Deaktivierung der **Meldungsfenster** wird die Anzeige der Meldungen unsichtbar geschaltet, die Meldungstexte selbst werden aber weiter auch im unsichtbaren Meldungsfenster gespeichert. Nach dem Öffnen des Meldungsfensters werden die zeitlich jüngsten Meldungen angezeigt.

Die Meldungsfenster können durch einen **Left Mouse Button Click** auf das Kreuz in der linken oberen Ecke des Meldungsfensters unsichtbar geschaltet werden.

- Hauptmenü **Ansicht**

- Menüpunkte **Meldungsfenster, Netzschutzmeldungen, ATP Meldungen**

Durch das unsichtbar Schalten der Meldungsfenster kann die Rechenzeit signifikant reduziert werden. Die nachfolgende Abbildung zeigt das Bedienelement.

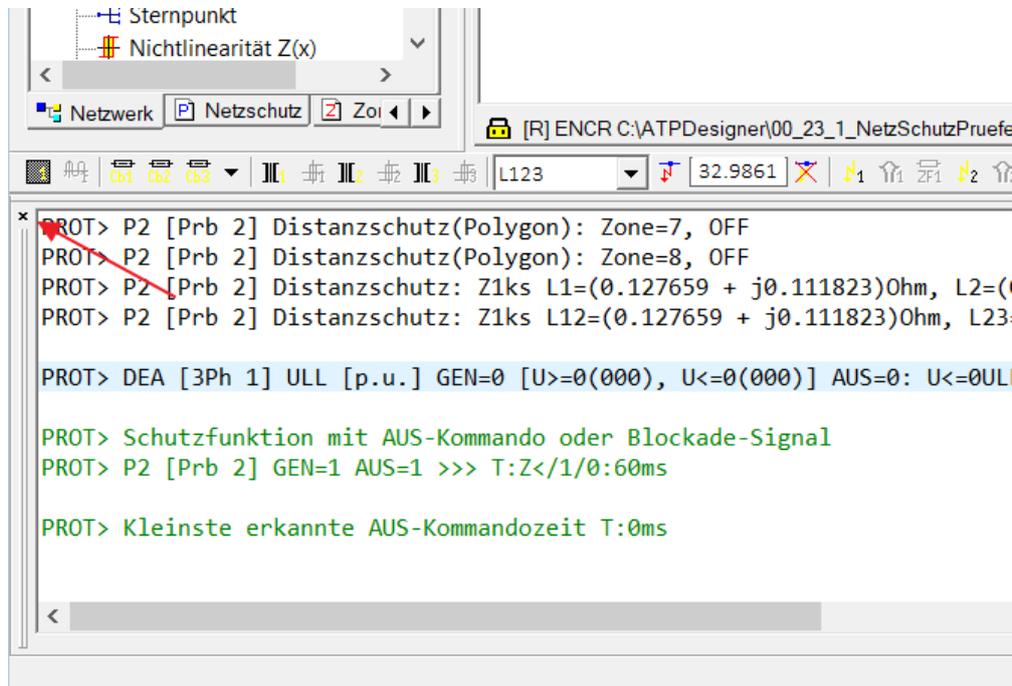


Abbildung 165: Meldungsfenster mit Left Mouse Button Click unsichtbar schalten

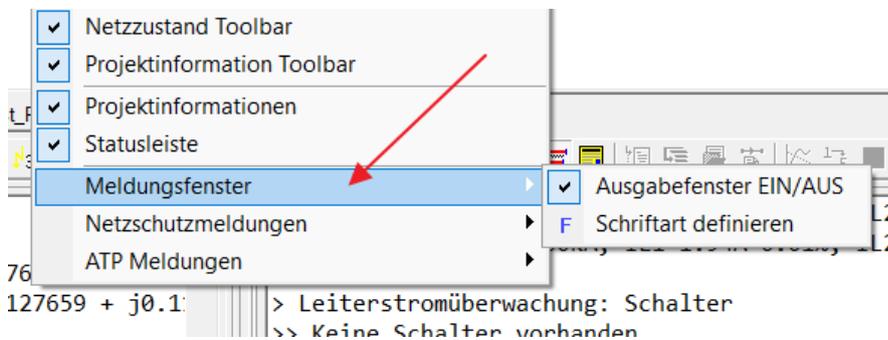


Abbildung 166: Meldungsfenster EIN/AUS schalten

### 12.1.5 Auswahl der Intel-kompilierten Version des ATP Rechenkerns

ATPDesigner verwendet als Rechenkern das **ATP** (Alternative Transients Program), eine unabhängig von ATPDesigner entwickelte und zu lizenzierende Software [Bd. 1]. Es stehen zwei Kompilierungs-Versionen des ATP als ausführbares Programm zur Verfügung.

- die sog. GNU-Version mit dem Dateinamen **TPGIGG64.EXE**
- die sog. Intel-Version mit dem Dateinamen **TPGIGI64.EXE**

TP = transients program

GIG = „giga“ Version des ATP mit 4GByte Hauptspeicherzugriff

G oder I = GNU oder Intel-Version

64 = 64Bit-kompilierte Variante des ATP

- ⇒ Wegen der ca. 3...5-fach schnelleren Ausführungszeit wird empfohlen, die Intel Visual Fortran kompilierte Version des ATP **TPGIGI64.EXE** zu verwenden.

Der Programmname des ATP ist in dem Einstelldialog **Programmeinstellungen** [Bd. 2] als Einstellwert **ATP .exe-Datei** wie in der nachfolgenden Abbildung gezeigt enthalten. Mit der Schaltfläche „...“ wird ein Dialog zur Auswahl der ausführbaren Version des ATP ausgewählt und in das Editierfeld übernommen.

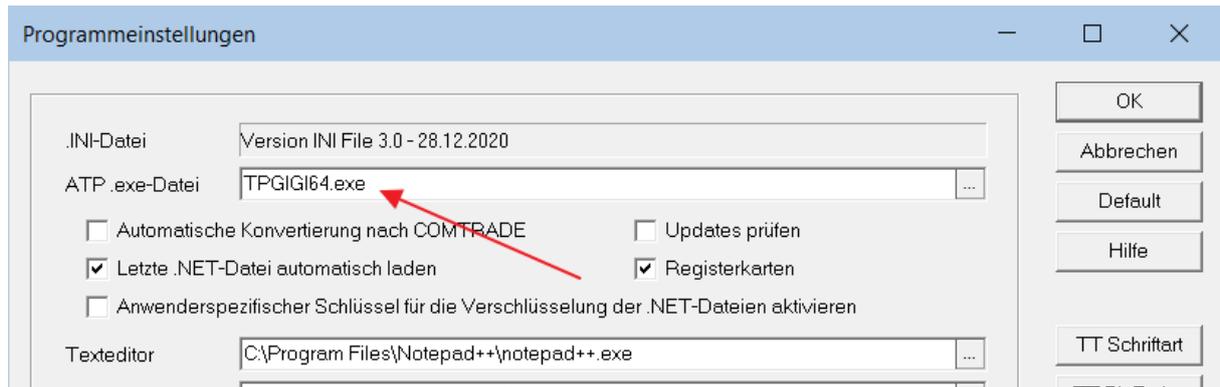


Abbildung 167: Auswahl des ATP Rechenkerns

### 12.1.6 Überprüfungen der Eingangs- und Ausgangsdateien des ATP

ATPDesigner erzeugt die .ATP-Datei als Eingangsdatei für das ATP. Die Berechnungsergebnisse sowie ggfs. auftretende Fehlermeldungen werden vom ATP in die Ausgangsdatei .LST-Datei ausgegeben. Die Überprüfung der Netztopologie vor jeder Ausgabe der .ATP-Datei sowie die Überprüfung der .LST-Datei kann wie nachfolgende gezeigt deaktiviert werden.

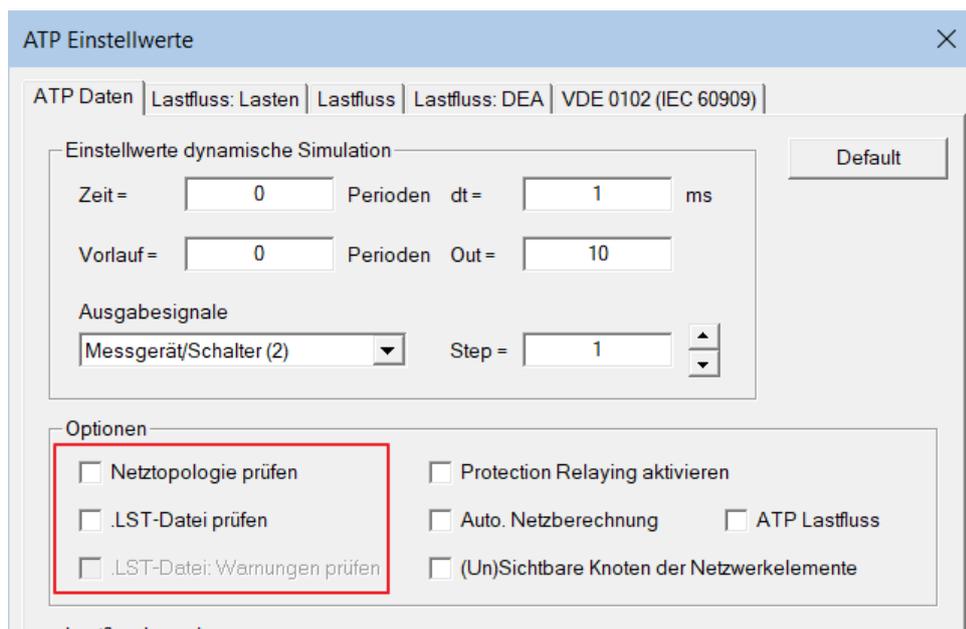


Abbildung 168: Überprüfungen der Eingangs- und Ausgangsdateien des ATP

- ⇒ Es muss beachtet werden, dass mit der Deaktivierung der Prüfungen ggfs. auftretende Fehler im Berechnungsprozess des ATP nicht durch ATPDesigner erkannt werden.

### 12.1.7 Meldungen und Ausgaben in Berichte deaktivieren

ATPDesigner bietet eine Vielzahl von Meldungen z.B. in die **Meldungsfenster** und die Ausgabe von **Berichten** (XML-Datei [21]). In dem nachfolgend dargestellten Dialog können Meldungen und die Berichte ausgeschaltet werden.

- ⇒ Es ist zu beachten, dass ggfs. keine Ausgabe von Berechnungsergebnissen erfolgt. Es sollte daher vor der Durchführung von Berechnungen geprüft werden, ob die Konfiguration geeignet ist.

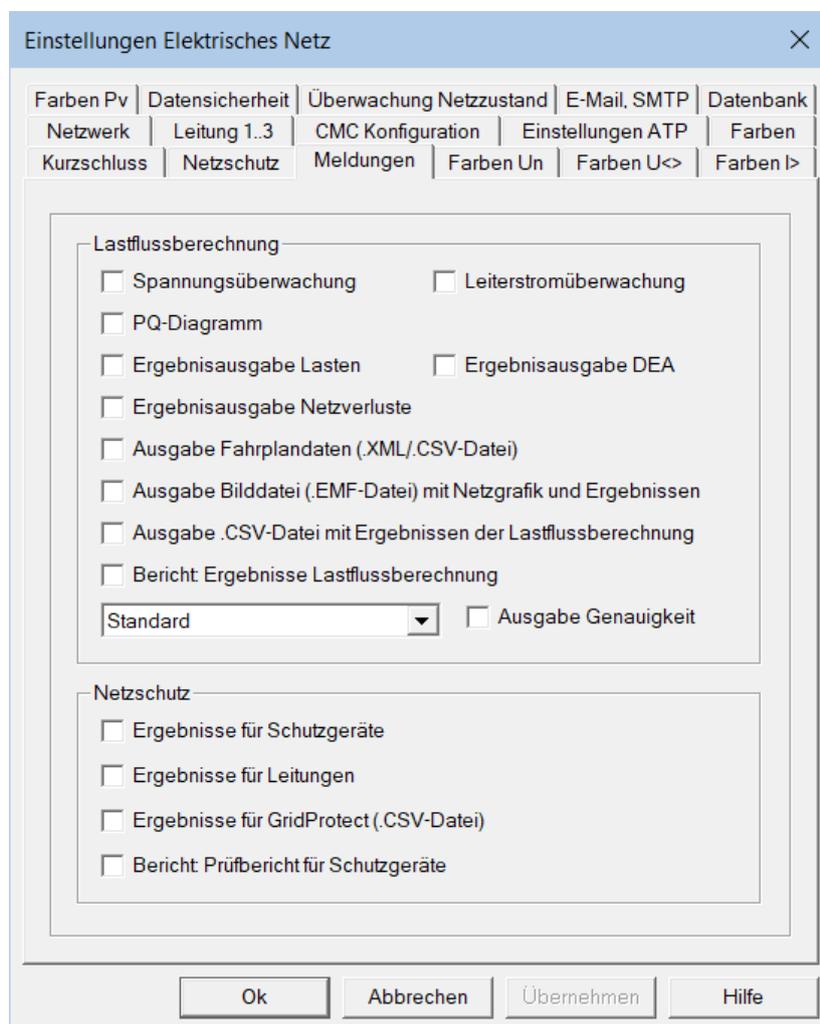


Abbildung 169: Ausgabe von Meldungen und Berichte

### 13 Automatische Durchführung von Netzberechnungen und Prüfungen

ATPDesigner unterstützt die automatische Prüfung von Schutzgeräten mit Hilfe der Prüfeinrichtungen CMC156, CMC256 und CMC356 der **Fa. Omicron** ([www.omicron.at](http://www.omicron.at)) mit Hilfe der Berechnung dynamischer Netzvorgänge, führt aber Prüfungen wie z.B. von Schutzkonzepten mit Hilfe der Berechnung stationärer Netzzustände durch.

ATPDesigner ist in der Lage, über die CMC-spezifische Kommunikationsschnittstelle **CMEngine** Daten zu den Prüfeinrichtungen zu senden bzw. von den Prüfeinrichtungen zu empfangen. Schutzgeräte können mit realistischen dynamischen Netzvorgängen wie z.B. Kurzschlüsse oder Erdschlüsse hinsichtlich ihres Echtzeitverhaltens wie z.B. der AUS-Kommandozeiten geprüft werden.

Darüber hinaus ist ATPDesigner in der Lage,

- die **zeitlichen Verläufe** der Spannungen  $u(t)$  und Ströme  $i(t)$  als Abtastwerte in eine oder mehrere Textdateien zu schreiben oder
- die Ergebnisse von **Lastflussberechnungen** als Tabelle in eine Textdatei z.B. im .CSV-Format zu exportieren, um diese Daten z.B. mit Excel weiter zu verarbeiten oder
- **Schutzkonzepte** mit Hilfe der Schutzgeräte, die mit **Mess/Schutzgerät** einstellbar sind, durch Analyse stationärer Netzzustände z.B. im Kurzschlussbetrieb zu prüfen.

Die Betriebsweise von ATPDesigner wird durch die Wahl des Ausgabegerätes **Ausgabegerät**, das im Einstelldialog **Einstellungen Elektrisches Netz**, Registerkarte **Netzwerk** ausgewählt werden kann.

- Hauptmenü **Netzwerk**
- Menüpunkt **Netzkonfiguration**
- Einstellwert **Ausgabegerät = CMC Test System**

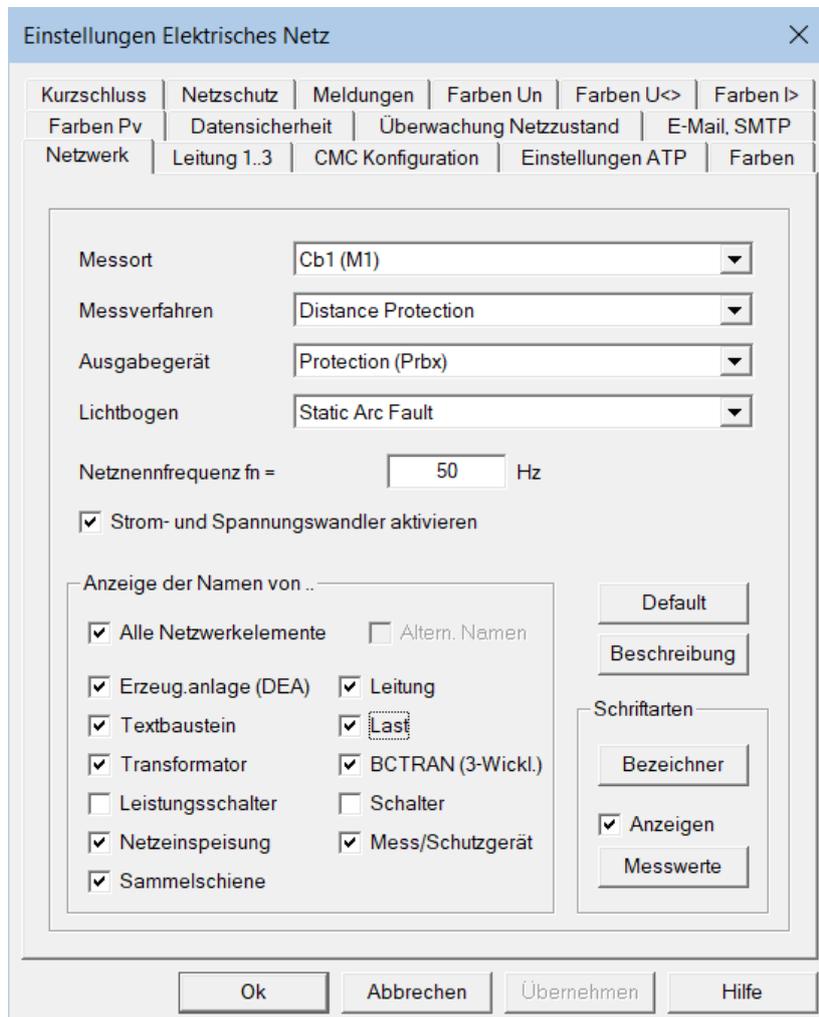
#### 13.1 Prüfung von Netzschutzeinrichtungen mit dem Prüfsystem CMCxxx

Im ersten Schritt muss im Einstelldialog **Einstellungen Elektrisches Netz** das gewünschte Prüfverfahren mit dem Einstellwert **Messverfahren** ausgewählt werden.

- **Distanzschutz (Distance Protection)**  
Geeignet für Schutzeinrichtungen, die Ströme und/oder Spannungen an einem Messort erfassen z.B. Überstromzeitschutz- oder Distanzschutzgeräte
- **Differentialschutz (Diff. Protection)**  
Geeignet für Schutzeinrichtungen, die Ströme an mehreren Messorten erfassen z.B. Differentialschutzgeräte

Im zweiten Schritt muss im Einstelldialog **Einstellungen Elektrisches Netz** das **Ausgabegerät = CMC Test System** eingestellt werden. Nachdem diese Einstellungen in der .NET-Datei gespeichert wurde, sollte ATPDesigner geschlossen und neu gestartet werden. Bei korrekter Konfiguration der CMCxxx-Prüfeinrichtungen und der dazugehörigen

Systemsoftware erkennt ATPDesigner die an der Kommunikationsschnittstelle angeschlossene Prüfeinrichtung und zeigt dies im **Meldungsfenster** durch mehrere Meldungen an.



**Abbildung 170: Einstellung Messverfahren**

ATPDesigner kann nur mit einer einzigen an der Kommunikationsschnittstelle angeschlossenen Prüfeinrichtungen CMCxxx kommunizieren. Wird eine .NET-Datei geladen, die eine Prüfeinrichtung CMCxxx als Ausgabegerät verwendet, so wird nach erfolgreichem Laden der .NET-Datei die Prüfeinrichtung CMCxxx automatisch angesteuert und eine dauerhafte Kommunikationsverbindung hergestellt. Nachfolgend ist der im **Meldungsfenster** angezeigte Ausgabebetext dargestellt, wenn eine Prüfeinrichtung CMC356 erfolgreich angesteuert wurde.

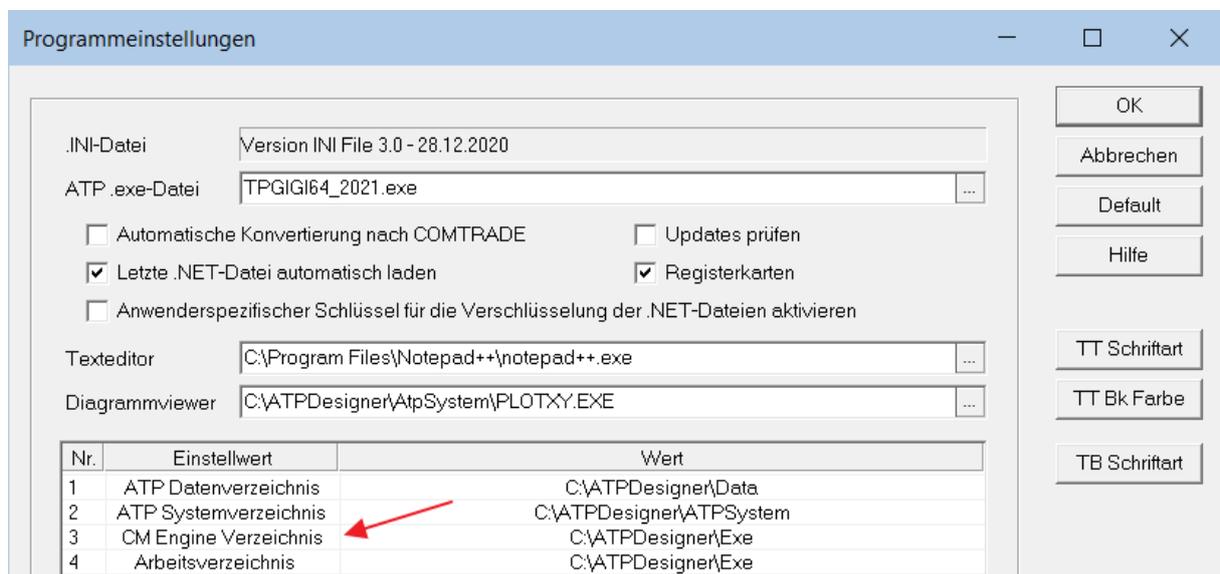
```

> Prüfung von Schutzgeräten mit einem CMC Testsystem
>> Verbundene Verstärker zurücksetzen ... ausgeführt
>> Verbundene Verstärker suchen ...
>> CMC Gerät erfolgreich verbunden
>> CMC Geräteliste: Geräte gefunden (deviceID, serial number, port, address)
>> 1,KD553T,0,0;
>> CM Engine erfolgreich geladen
>> CM Engine Revision Nr. 3.10.4205
>> CMC356 verbunden
>> Kein Zusatzverstärker gefunden

```

**Abbildung 171: Anzeige der erkannten CMCxxx-Prüfeinrichtung im Meldungsfenster**

Um die CMCxxx-basierten Prüfverfahren nutzen zu können, muss im Hauptmenü **Tools**, Einstelldialog **Programmeinstellungen** das Verzeichnis, in dem die Treiber-DLL der Kommunikationsschnittstelle **CMEngine** gespeichert ist, eingestellt werden.



**Abbildung 172: Verzeichnis der DLL CMEngine - Einstelldialog Programmeinstellungen**

Von besonderer Bedeutung für die Prüfverfahren sind die **Schalter (CB) Cb1..5**, die einen integrierten Messort besitzen. Mit Hilfe dieser Messorte werden die Leiter-Erd-Spannungen und Leiterströme, die an diesen Messorten gemessen werden, als Abtastwerte zu den Spannungs- und Stromverstärkern der CMCxxx-Prüfeinrichtungen übertragen.

### 13.2 .LOG-Datei der Kommunikation mit dem CMEngine - Interface

Die Kommunikation mit dem **CMEngine** – Interface kann in einer Textdatei protokolliert werden. Dazu muss im Einstelldialog **Einstellungen Elektrisches Netz**, Registerkarte **CMC Konfiguration** die Option **CMC Test System Log File** aktiviert werden.

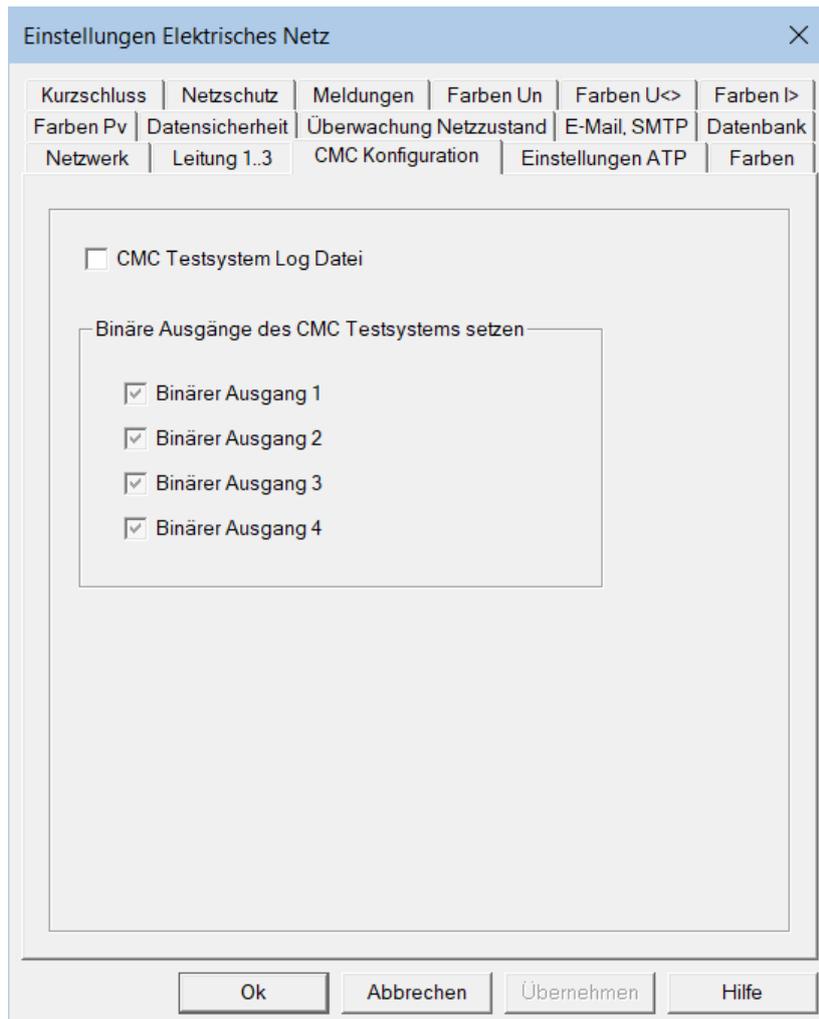


Abbildung 173: Aktivierung der CMEngine Protokolldatei (.LOG-Datei)

Die Aktivierung bzw. Deaktivierung der .LOG-Datei wird im **Meldungsfenster** beim Start von ATPDesigner angezeigt, wenn die Ausgabeoption **Ausgabegerät = CMC Test System** im Einstelldialog **Einstellungen Elektrisches Netz**, Registerkarte **CMC Konfiguration** ausgewählt wurde.

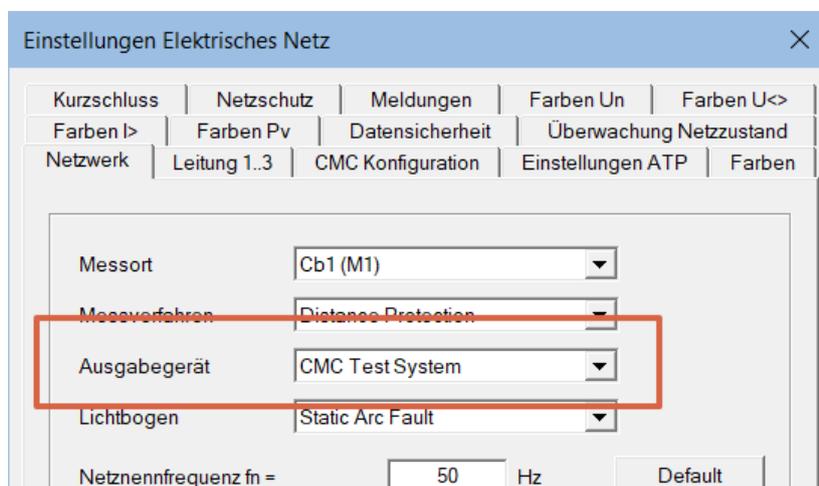


Abbildung 174: Konfiguration CMC Test System als Ausgabegerät

### 13.3 Zuordnung der Messorte M1..5 der Schalter (CB) Cb1..5

Die Zuordnung der Messorte M1..5 der **Schalter (CB) Cb1..5** zu den Spannungs- und Stromverstärkern der CMCxxx-Prüfeinrichtungen erfolgt in den Einstelldialogen

- **Konfiguration der Verstärker (Distance Protection)** und
- **Konfiguration der Verstärker (Differential Protection).**

Die beiden Einstelldialoge sind im Hauptmenü **Tools**, Menüpunkt **Prüfverstärker einstellen** zu finden. Abhängig von dem im Einstelldialog **Einstellungen Elektrisches Netz**, Registerkarte **Netzwerk** ausgewählten **Messverfahren**, wird der zugehörige Konfigurationsdialog aktiviert.

### 13.4 Prüfverfahren

ATPDesigner bietet mehrere Prüfverfahren, die im Hauptmenü **Prüfungen** oder per Kurztaste gestartet werden können.

	Testfunktion	Strg+T
	Einzelstapptest	Strg+M
	Überwachungsbereiche	Strg+D
	Zeitkorrektur	
	Lastfluss mit Flexibilitäten	▶
	Kurzschlussleistung berechnen	
	Thermisch gleichwertiger Kurzschlussstrom berechnen	
	N-1 Netzzustandsanalyse	
	Erkennung von Inselnetzen	
	Elektrischer Versorgungsbereich	
	Automatische Identifikation eines Leitungsabgangs	
	Lastflussberechnung mit Newton-Raphson	
	Netzzustandsberechnung	▶
	Bericht	▶

Abbildung 175: Menüpunkte im Hauptmenü **Prüfungen**

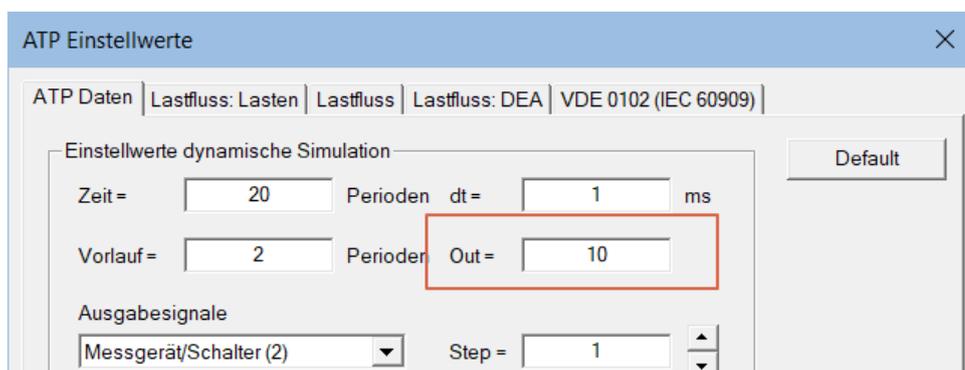
- **Testfunktion** (Tastenkürzel **Strg + T**)  
Die Prüfverfahren werden in den nachfolgenden Kapiteln „**Testfunktion - ...**“ näher erläutert.
- **Einzelstapptest** (Tastenkürzel **Strg + M**)  
Dieses Prüfverfahren kann nur in Kombination mit einer Sekundärprüfeinrichtung CMCxxx der Fa. Omicron zur Prüfung von Schutzgeräten angewendet werden. Für diese Prüfungen werden ausschließlich dynamische Netzvorgänge verwendet, die über eine Kommunikationsverbindung zur Sekundärprüfeinrichtung übertragen werden.

⇒ Die **Berechnung dynamischer Netzvorgänge** ist erforderlich.

ATPDesigner berechnet für das konfigurierte Stromversorgungsnetz Leiter-Erd-Spannungen und Leiterströme für die Messorte **M1..5** der **Schalter (CB) Cb1..5**

und überträgt die Abtastwerte abhängig von der Konfiguration der CMCxxx-Prüfeinrichtung, erfasst die Kommandozeiten und stellt diese in einem Dialog dar. Die Parameter des Stromversorgungsnetzes werden nicht verändert.

Die **Anzahl der Wiederholungen** der **Einzelschritt** – Prüfung, d.h. wie oft der gleiche Datensatz mit Hilfe der CMCxxx-Prüfeinrichtung nacheinander zur Prüfung verwendet wird, kann im Einstelldialog **ATP Einstellwerte**, Registerkarte **ATP Daten** mit dem Einstellwert **Out** eingestellt werden.



**Abbildung 176: Einzelschritt – Anzahl Wiederholungen der Wiederholungen**

Mit Hilfe der Anzahl Prüfungswiederholungen kann im Sinne einer mathematischen Statistik untersucht werden, ob die Reaktion der Schutzeinrichtung bei einer Prüfungswiederholung vergleichbar, identische Ergebnisse liefert.

- **Überwachungsbereiche** (Tastenkürzel **STRG + D**)  
Wird eine Schutzgeräteprüfung mit einer Sekundärprüfeinrichtung **CMC Test System** durchgeführt, so können in diesem Einstelldialog z.B. kleinste und größte zulässige Kommandozeiten definiert werden.
- **Zeitkorrektur**  
Der Einstelldialog zur Korrektur der gemessenen Kommandozeiten wird geöffnet.
- **Lastfluss mit Flexibilitäten**  
In dem Menüpunkt sind mehrere Prüfverfahren enthalten, die alle auf Lastflussberechnungen, d.h. der [Berechnung stationärer Netzzustände](#) basieren.

Die Menüzeilen werden deaktiviert, wenn im Einstelldialog **ATP Einstellwerte**, Registerkarte **ATP Daten** die Option **Protection Relaying aktivieren** aktiviert ist.

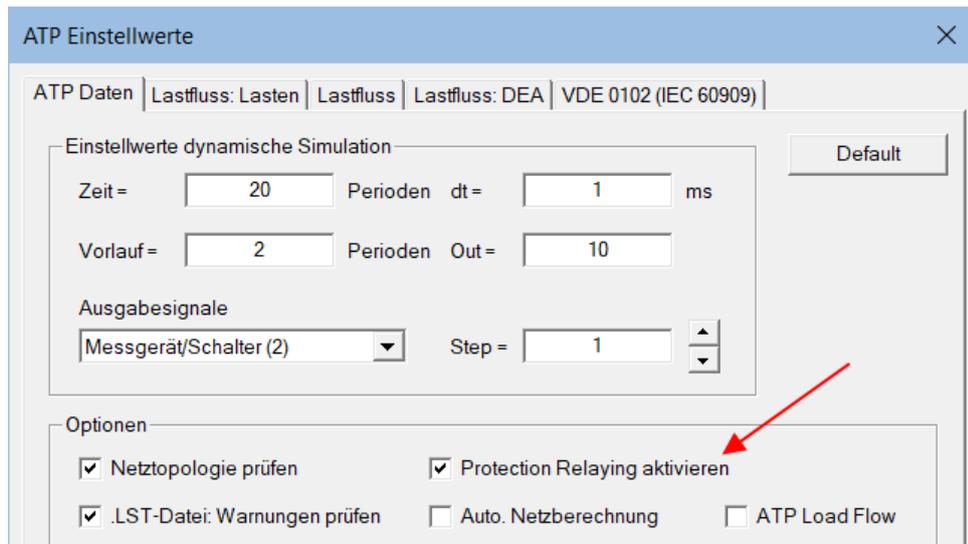


Abbildung 177: Option *Protection Relaying aktivieren* in ATP Daten

### 13.5 Zeitkorrektur - Korrektur der gemessenen Zeiten

Die von der CMCxxx-Prüfeinrichtung gemessenen Zeiten verwenden als Bezugszeitpunkt den Beginn des Datensatzes (Abtastwerte von Spannungen und/oder Strömen) als Bezugszeit  $t = 0\text{ms}$ . Die gemessenen Zeiten können durch ATPDesigner korrigiert werden, um die dargestellten Zeiten im Sinne der Kommandozeit einer Schutzeinrichtung mit der Bezugszeit des physikalischen Fehlereintrittszeitpunktes präsentieren zu können.

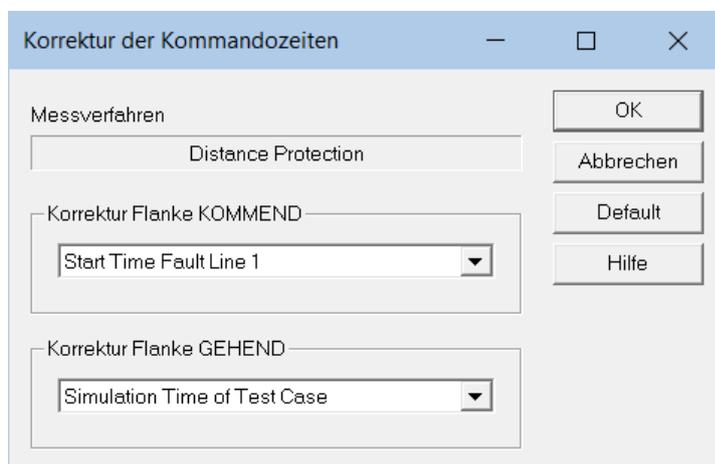


Abbildung 178: Einstelldialog *Korrektur der Kommandozeiten*

Wie in obiger Abbildung dargestellt wird zwischen den kommenden Flanken und den gehenden Flanken einer Kommandozeit unterschieden. Die Korrektur der gemessenen Zeiten werden für alle Prüfverfahren angewendet.

#### 13.5.1 Korrektur Flanke KOMMEND

Abhängig von der Betriebsart werden die nachfolgend definierten Zeiten von der gemessenen Zeit der ersten kommenden Flanke des Messsignals subtrahiert.

Einstellwert	Bedeutung
<b>Start Time Fault Line 1..3</b>	Fehlereintrittszeitpunkt des in der <b>Leitung Line 1..3</b> integrierten Fehlers
<b>Start Time of Test Case (T = 0)</b>	Die gemessenen Zeiten werden nicht korrigiert.
<b>End Time of Prefault</b>	Endzeitpunkt des fehlerfreien Vorlaufs (Einstellwert <b>Prefault</b> , Einstelldialog <b>ATP Einstellwerte</b> , Registerkarte <b>ATP Daten</b> Diese Zeitkorrektur kann nur dann sinnvoll angewendet werden, wenn ein Leitungsfehler mit Hilfe der in den Leitungen <b>Line 1..3</b> integrierten Fehlers nachgebildet wird. In Zusammenhang mit dem <b>Kurzschluss</b> ist die Verwendung nicht sinnvoll.
<b>T1 of Circuit-Breaker 1..5</b>	Erster eingestellter Schaltzeitpunkt für den <b>Schalter (CB)</b>
<b>Start Time of Short-Circuit</b>	Fehlereintrittszeitpunkt des <b>Kurzschlusses</b>

### 13.5.2 Korrektur Flanke GEHEND

Abhängig von der Betriebsart werden die nachfolgend definierten Zeiten von der gemessenen Zeit der ersten gehenden Flanke des Messsignals subtrahiert.

Einstellwert	Bedeutung
<b>Simulation Time of Test Case</b>	Zeitliche Länge des Datensatzes Die zeitliche Länge wird durch den Einstellwert <b>Time</b> im Einstelldialog <b>ATP Einstellwerte</b> , Registerkarte <b>ATP Daten</b> definiert.
<b>T1 of Circuit-Breaker 1..5</b>	Erster eingestellter Schaltzeitpunkt für den ausgewählten <b>Schalter (CB)</b>
<b>Start Time of Test Case (T = 0)</b>	Die gemessenen Zeiten werden nicht korrigiert.

### 13.6 Testfunktion – Automatische Prüfung von Schutzeinrichtungen

ATPDesigner bietet die Möglichkeit, eine definierbare Reihe von Prüfungen, bei denen Einstellwerte des Stromversorgungsnetzes verändert werden, durchzuführen. Bei der Definition der **Testfunktion** kann wie folgt vorgegangen werden.

1. Auswahl des **Testlevel 1**
2. Definition der **Min-** und **Max-**Wert sowie der Schrittweite **Step**, mit der in **Testlevel 1** spezifizierte Einstellwert verändert wird.
3. Falls möglich: Auswahl des **Testlevel 2**
4. Button **Testlevel 2**: Definition der **Min-** und **Max-**Werte sowie der Schrittweite **Step**, mit der in **Testlevel 2** spezifizierte Einstellwerte verändert werden.
5. Button **Starten**: Start der **Testfunktion**

Der vor Start der **Testfunktion** eingestellte Wert der Betriebsmittel, der automatisch verändert wird, wird nach Beendigung der **Testfunktion** nicht wiederhergestellt und verbleibt auf dem letzten Schleifenwert der **Testfunktion**. Der Einstelldialog Testfunktion ist nachfolgend dargestellt.

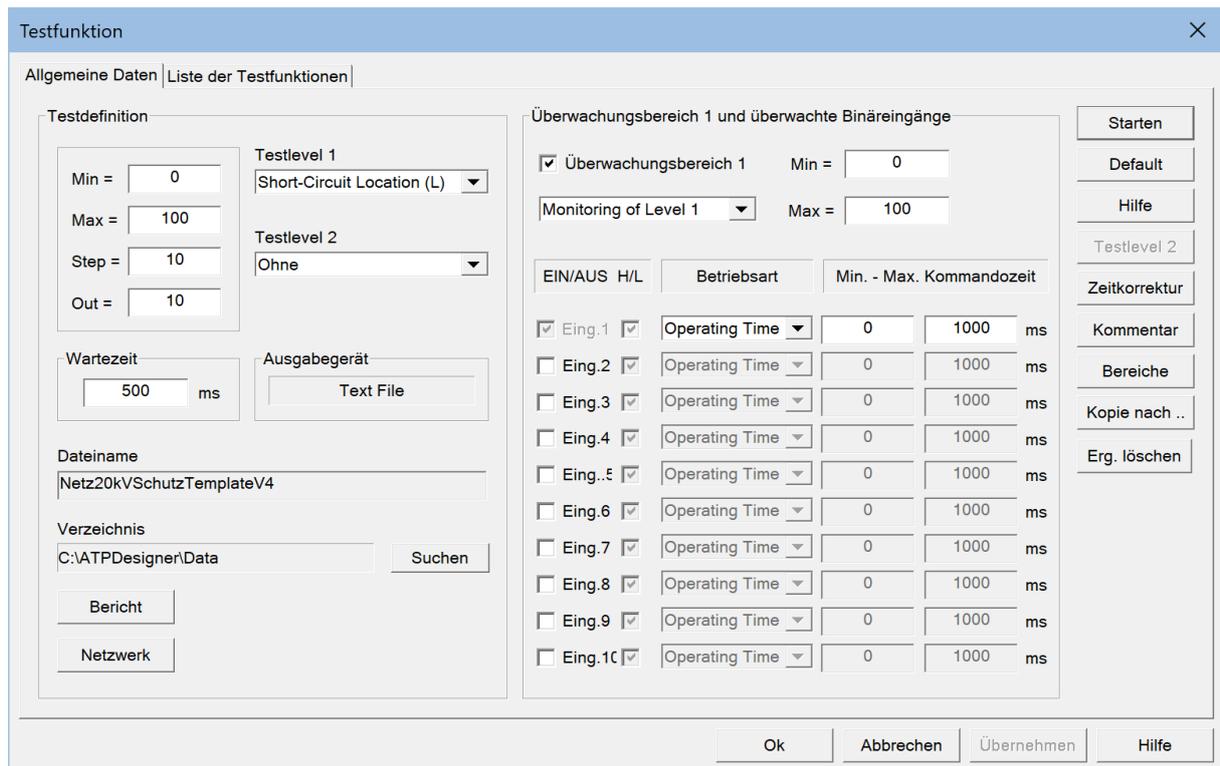


Abbildung 179: Testfunktion – Prüfung von Schutzgeräten

- **Ausgabegerät**  
Ausgewähltes Ausgabegerät  
Der Einstellwert wird im Einstelldialog **Einstellungen Elektrisches Netz** eingestellt.
- **CMC Test System**

- **COMTRADE File**
- **Text File**
- **Text File (Excel)**
- **Load Flow (Prbx)**
- **Protection (Prbx)**
  
- **Out**  
Anzahl Ausgaben der berechneten Spannungs- und Stromsignale, wenn die Betriebsart **CMC Test System** (Abbildung 625) eingestellt wurde.
  
- **Wartezeit**  
Pausenzeit zwischen zwei Ausgaben der berechneten Spannungs- und Stromsignale (= Prüfungen der Schutzeinrichtung), wenn die Betriebsart **CMC Test System** eingestellt wurde.
  
- **Dateiname Ergebnisbericht**  
Ausgabe des Dateinamens der Berichtsdatei
  
- **Verzeichnis Ergebnisbericht**  
Verzeichnis, in dem der **Bericht** als Textdatei gespeichert wird. Nach Drücken des Buttons **Suchen** kann das Verzeichnis ausgewählt werden.
  
- **Bericht** Öffnen der Prüfergebnisse in einer Textdatei
  
- **Netzwerk** Öffnen der Textdatei mit den Daten des elektrischen Netzes
  
- **Min** Startwert des zu verändernden Einstellwertes
  
- **Max** Endwert des zu verändernden Einstellwertes
  
- **Step** Schrittweite für die Änderung des Einstellwertes

Testlevel 1	Betriebsmittel und Einstellwert, der verändert wird
<b>None</b>	Nicht konfiguriert
<b>Fault Location Line 1...3</b>	Fehlerort der Leitungen <b>Line1..3</b>
<b>Sn of CT M1...5</b>	Bemessungsleistung der Stromwandler der Messorte M1..5
<b>N of CT M1</b>	Überstromziffer (= Genauigkeitsgrenzfaktor $K_{ssc}$ ) der Stromwandler der Messorte M1..5
<b>fnom of Network 1</b>	Nennfrequenz der Netzeinspeisung <b>Network Infeed 1</b>
<b>R1 of Network 1</b>	Resistanz von Netzeinspeisung <b>Network Infeed 1</b>
<b>X1 of Network 1</b>	Reaktanz von Netzeinspeisung <b>Network Infeed 1</b>
<b>T1 of Cb1...5</b>	Zeit T1 der <b>Circuit-Breaker Cb1...5</b>
<b>R1 of Line 1</b>	Resistanz von Leitung <b>Line 1</b>
<b>X1 of Line 1</b>	Reaktanz von Leitung <b>Line 1</b>
<b> Ip  of Line 1</b>	
<b> ULE  of Line 1</b>	
<b>PoW (v, VAG) of Line 1</b>	<b>Messverfahren Distance Protection</b>

	Fehlereintrittszeitpunkt des Fehlers von Leitung <b>Line 1</b> abhängig vom Verlagerungsgrad $v$ bezogen auf die Leiter-Erd-Spannung $U_{L1}$
<b>PoW (v, VAG) of Line 1 (left)</b>	<b>Messverfahren Differential Protection</b> Fehlereintrittszeitpunkt des Fehlers von Leitung <b>Line 1</b> abhängig vom Verlagerungsgrad $v$ bezogen auf die Leiter-Erd-Spannung $U_{L1}$ des linken Leitungsendes
<b>PoW (v, VAG) of Line 1 (right)</b>	<b>Messverfahren Differential Protection</b> Fehlereintrittszeitpunkt des Fehlers von Leitung <b>Line 1</b> abhängig vom Verlagerungsgrad $v$ bezogen auf die Leiter-Erd-Spannung $U_{L1}$ des rechten Leitungsendes
<b>R of Load 1..4 (Serial Imped.)</b>	Resistanz von Last <b>Load Impedance 1..4</b>
<b>X of Load 1..4 (Serial Imped.)</b>	Reaktanz von Last <b>Load Impedance 1..4</b>
<b>C of Load 1..4 (Serial Imped.)</b>	Kapazität von Last <b>Load Impedance 1..4</b>

Testlevel 2	Betriebsmittel und Einstellwert, der verändert wird
<b>None</b>	Nicht konfiguriert
<b>Point on Wave</b>	Fehlereintrittswinkel für den integrierten Fehlerort ( <b>Fault Location</b> ) der Leitungen <b>Line 1..3</b>

Der Einstelldialog für Testlevel 2 ist in Abbildung 631 dargestellt. Die Bedeutung des **Testlevel 2** ist von dem gleichnamigen Einstellwert des Einstelldialogs **Testfunktion** in Abbildung 630 abhängig. Diese Einstellung wird als Textelement im Einstelldialog **Testlevel 2** angezeigt.

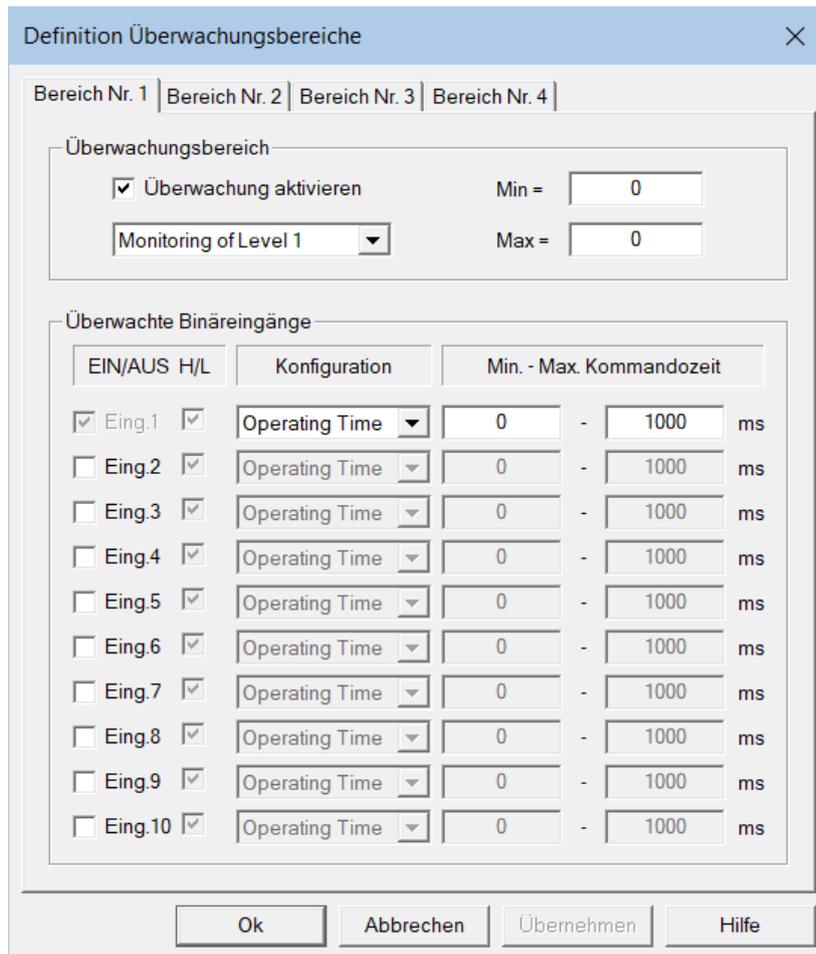


Abbildung 180: Einstelldialog zur Definition des **Testlevel 2**

Im Folgenden werden die Funktionen weiterer Buttons und der zugehörigen Einstelldialoge erläutert.

Button	Bedeutung
<b>Testlevel 2</b>	Definition des <b>Testlevel 2</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Min</b> Startwert des zu verändernden Einstellwertes</li> <li>▪ <b>Max</b> Endwert des zu verändernden Einstellwertes</li> <li>▪ <b>Step</b> Schrittweite für die Änderung des Einstellwertes</li> </ul>
<b>Kopieren nach ...</b>	Die Einstellwerte des Einstelldialogs werden als <b>Testfunktion</b> in die Liste der Registerkarte <b>Liste der Testfunktionen</b> kopiert.

**Erg. löschen** Die Ergebnisse der Schutzanalyse werden gelöscht.



EIN/AUS	H/L	Konfiguration	Min.	Max.	Kommandozeit
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Operating Time	0	1000	ms
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Operating Time	0	1000	ms
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Operating Time	0	1000	ms
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Operating Time	0	1000	ms
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Operating Time	0	1000	ms
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Operating Time	0	1000	ms
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Operating Time	0	1000	ms
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Operating Time	0	1000	ms
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Operating Time	0	1000	ms
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Operating Time	0	1000	ms

**Abbildung 181: Einstelldialog *Definition Überwachungsbereiche***

Die binären Eingänge der Prüfeinrichtung CMCxxx können durch anwenderspezifische Grenzwerte überwacht werden. Die Ergebnisse der Überwachung werden in der Berichtsdatei ausgegeben.

### 13.7 Testfunktion – Automatisches Erzeugen von COMTRADE – Dateien

ATPDesigner bietet die Möglichkeit, statt Netzschutzeinrichtungen direkt mit Hilfe einer angeschlossenen Prüfeinrichtung CMCxxx zu prüfen, alternativ für jede Prüfung COMTRADE - Dateien zu erzeugen. Gemäß der Spezifikation des COMTRADE Formates werden in der Minimalkonfiguration zwei Dateien benötigt.

Extension	Bedeutung
<b>.CFG – Datei</b>	Beinhaltet Informationen zu den Prüfkanälen wie z.B. Name, Skalierungsfaktoren, Daten der Strom- und Spannungswandler, etc.
<b>.DAT – Datei</b>	Beinhaltet die zeitlichen Strom- und Spannungsverläufe in skaliert Form

Um die COMTRADE – Dateien zu erzeugen, muss im Einstelldialog **Einstellungen Elektrisches Netz**, Registerkarte **Netzwerk** die Option **Ausgabegerät: COMTRADE File** ausgewählt werden.

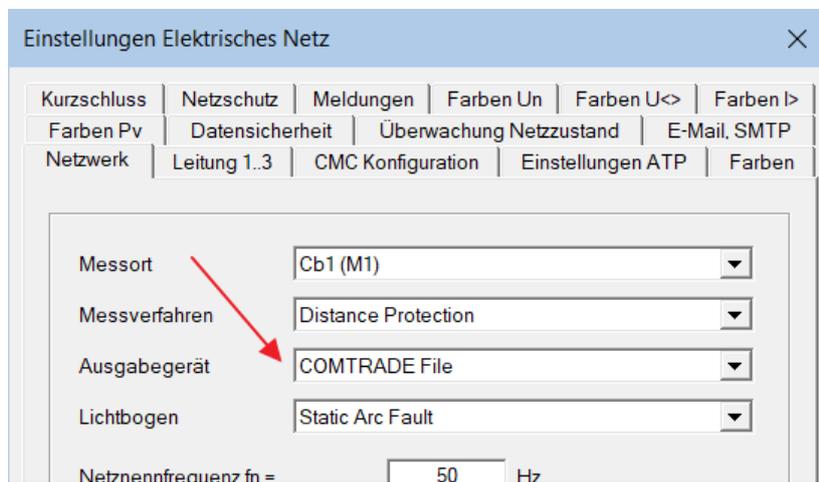


Abbildung 182: Auswahl des Ausgabegerätes COMTRADE File für die Testfunktion

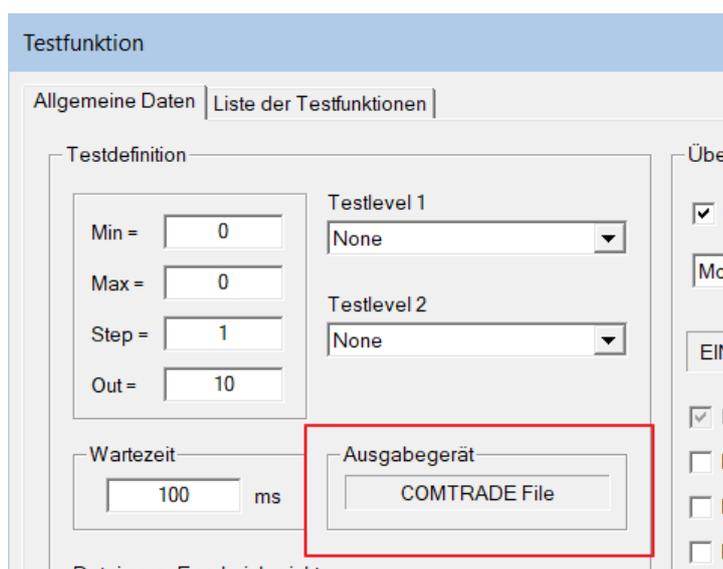


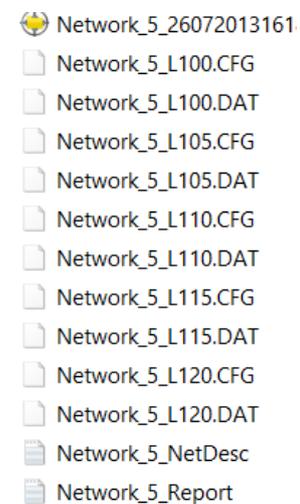
Abbildung 183: Anzeige des Ausgabegerätes COMTRADE File

Dadurch wird im Einstelldialog **Testfunktion** das Ausgabegerät **Ausgabegerät** als **COMTRADE File** angezeigt. Für jeden einzelnen Prüfschritt der **Testfunktion** berechnet ATPDesigner die zeitlichen Verläufe von Strömen und Spannungen und speichert diese Daten in mehreren Textdateien, die im Ausgabeverzeichnis **Verzeichnis Ergebnisbericht** gespeichert werden.

- **Network\_5\_L100.CFG**
- **Network\_5\_L100.DAT**

Der Dateiname setzt sich aus dem Namen der zugehörigen .NET-Datei sowie einer Kennung zusammen. Diese Kennung, hier **L100** kennzeichnet, dass im **L = Testlevel 1** der Wert **100** gemäß **Min/Max/Step** der **Testdefinition** verwendet wurde. Nachfolgend die den einzelnen COMTRADE – Dateien zugehörigen Prüfschritte in der Berichtsdatei.

Values		Binary Inputs No.			
Lev 1	Lev 2	Cnt	Min	Mean	Max
100	None				
105	None				
110	None				
115	None				
120	None				



Die Abbildung rechts zeigt die Liste der im Ausgabeverzeichnis gespeicherten COMTRADE – Dateien.

Wurde eine Prüfung mit **Testlevel 2** definiert, so wird der Name der COMTRADE – Dateien wie folgt definiert:

- **Network\_5\_L105L5.CFG**
- **Network\_5\_L105L5.DAT**

Hier gibt die Zahl nach dem zweiten **L** den Wert von **Testlevel 2** an.

### 13.8 Testfunktion – Automatisches Erzeugen von Textdateien

Wie schon in Kapitel 12.7 beschrieben kann ATPDesigner alternativ zum COMTRADE – Format die zeitlichen Verläufe der Ströme und Spannungen in einer Textdatei speichern. Der Aufbau der Textdatei ist spaltenorientiert. In der ersten Spalte ist die Zeit in Sekunden enthalten.

- Einstelldialog **Einstellungen Elektrisches Netz**, Registerkarte **Netzwerk**
  - **Ausgabegerät Text File**  
Es wird eine Textdatei erzeugt. Als Dezimaltrennung wird das Zeichen „.“ (= Punkt) verwendet.
  - **Ausgabegerät Text File (Excel)**  
Es wird eine Textdatei erzeugt. Als Dezimaltrennung wird das Zeichen „.“ (= Komma) verwendet. Diese Datei kann direkt in Excel weiterverarbeitet werden.

0	0	0
0,001	115432,9531	-147949,5781
0,002	141704,9531	-125853,6016
0,003	154105,6719	-91437,83594
0,004	151421,6719	-48071,85938
0,005	133915,2344	0,08550786227
0,006	103300,4688	48071,66016
0,007	62573,70313	91438,00781
0,008	15722,02344	125853,4063

**Abbildung 184: Textdatei des Ausgabegerätes Text File (Excel)**

Der Dateiname der Textdatei ist gleich dem Dateinamen der COMTRADE – Dateien aufgebaut.

### 13.9 Testfunktion – Automatische Durchführung von Lastflussberechnungen

In der Betriebsart **Load Flow (Prbx)** im Einstelldialog **Einstellungen Elektrisches Netz**, Registerkarte **Netzwerk** führt das Netzberechnungsprogramm eine Folge von Lastflussberechnungen durch und schreibt die Ergebnisse in tabellarischer Form in eine Textdatei. In dieser Betriebsart werden nur die durch die **Mess/Schutzgeräte** ermittelten stationären Spannungs- und Stromwerte verwendet. Ist eine Probe deaktiviert, so werden die Messwerte nicht in die Textdatei ausgegeben.

- ⇒ Ist eine iterative Lastflussberechnung aktiviert, so wird das letzte Ergebnis der Lastflussberechnung in die Textdatei ausgegeben, auch wenn keine Konvergenz erzielt wurde.

Das Format der Tabelle entspricht dem .CSV-Format mit einem Semikolon „;“ als Trennzeichen.

```
ValL1;RefName;VAG[%];VBG[%];VCG[%];VAG[V];VBG[V];VCG[V];VAB[%];VBC[%];VCA[%];VAB[V];VBC[V];VCA[V];IA[%];IB[%];IC[%];IA[A];IB[A];IC[A]
100;Prbx 1;99,7833;100,022;100,032;11522;11549,6;11550,7;173,072;173,205;173,056;19984,7;20000;19982,8;7,07107;6,59261e-012;6,40489e-012;
100;Prbx 2;99,2614;99,5534;100,684;11461,7;11495,4;11626;172,971;173,205;172,559;19973;20000;19925,4;7,07107;4,27631e-012;4,74472e-012;70,
100;Prbx 3;99,1541;99,4592;100,814;11449,3;11484,6;11641,1;172,972;173,205;172,43;19973;20000;19910,5;7,07107;1,14846e-012;1,16411e-012;70,
105;Prbx 1;99,7725;100,024;100,033;11520,7;11549,7;11550,9;173,066;173,205;173,049;19983,9;20000;19982;7,42462;6,36808e-012;6,27457e-012;
105;Prbx 2;99,2248;99,5311;100,718;11457,5;11492,9;11629,9;172,96;173,205;172,527;19971,7;20000;19921,7;7,42462;4,04978e-012;3,26103e-012;
```

Abbildung 185: Tabelle der Lastflussergebnisse der Probe Prbx im .CSV-Format

Im Einstelldialog **Einstellungen Elektrisches Netz** ist die Einstellungen wie folgt auszuwählen.

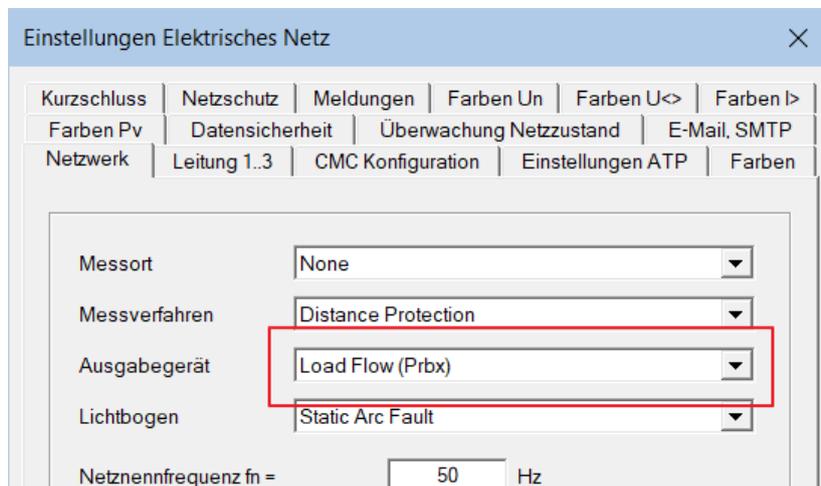


Abbildung 186: Auswahl des Ausgabegerätes Load Flow(Prbx) für die Testfunktion

In dem Einstelldialog der **Testfunktion** wird nun das **Ausgabegerät Load Flow (Prbx)** angezeigt. Die Ergebnisdatei kann mit einem **Left Mouse Button Click** auf den Button **Bericht** im Einstelldialog **Testfunktion** geöffnet werden.

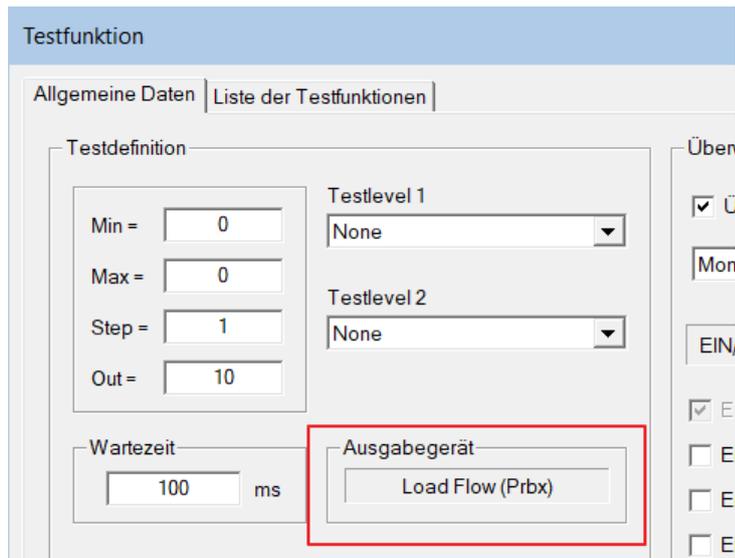


Abbildung 187: Anzeige des Ausgabegerätes *Load Flow (Prbx)*

Folgende Einstellwerte des **Testlevel 1** sind in dieser Betriebsart zulässig.

Testlevel 1	Betriebsmittel und Einstellwert, der verändert wird
<b>None</b>	Nicht konfiguriert
<b>ATP Source: Amplitude</b>	Der Betrag der 1-phasigen Strom- oder Spannungsquelle ( <b>ATP Source Src x</b> , Einstellwert <b>Amplitude</b> ) wird für alle aktiven Elemente dieses Typs gleichzeitig von <b>Min</b> nach <b>Max</b> in der Schrittweite <b>Step</b> verändert.
<b>3-Ph.Source: Pnom/Snom</b>	Der Betrag der 1/2/3-phasigen Strom-, Spannungs- oder Leistungsquelle ( <b>Erzeugungsanlage (DEA) 3Ph x</b> , Einstellwert <b>Un/In/Sn/Pn</b> ) wird für alle aktiven Elemente dieses Typs gleichzeitig von <b>Min</b> nach <b>Max</b> in der Schrittweite <b>Step</b> verändert.

Einstellwerte des **Testlevel 2** sind nicht zugelassen.

### 13.10 Testfunktion – Automatische Prüfung von Schutzkonzepten

In der Betriebsart **Protection (Prbx)** im Einstelldialog **Einstellungen Elektrisches Netz**, Registerkarte **Netzwerk** führt das Netzberechnungsprogramm eine Folge von Lastflussberechnungen durch und schreibt die Ergebnisse in tabellarischer Form in eine Textdatei. In dieser Betriebsart werden nur die durch die **Mess/Schutzgeräte** ermittelten schutzrelevanten Daten wie z.B. Generalanregung, AUS-Kommando und AUS-Kommandozeit verwendet. Ist eine **Mess/Schutzgeräte** deaktiviert, so werden die Messwerte nicht in die Textdatei ausgegeben.

- ⇒ Ist eine iterative Lastflussberechnung aktiviert, so wird das letzte Ergebnis der Lastflussberechnung in die Textdatei ausgegeben, auch wenn keine Konvergenz erzielt wurde.

Das Format der Tabelle entspricht dem .CSV-Format mit einem Semikolon „;“ als Trennzeichen.

```

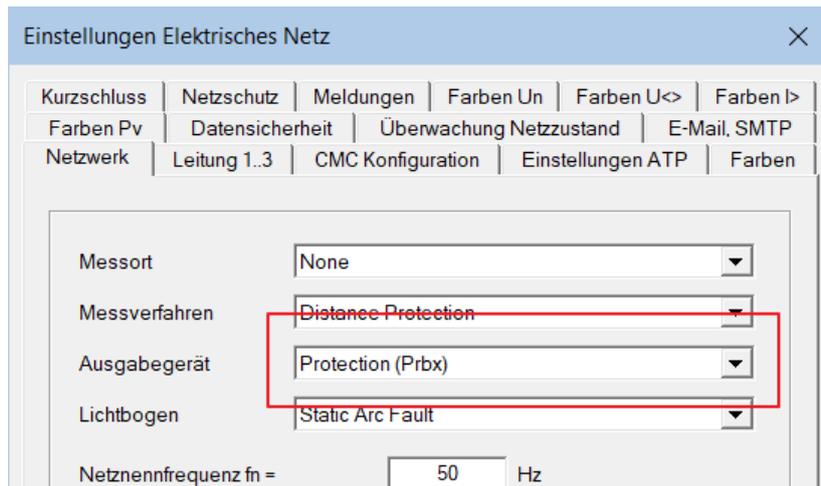
24
25
26 LineNo;ValL1;RefName;ProtName;GEN;TRIP;TL1[ms];TL2[ms];TL3[ms];Zone;R1ksec[Ohm];X1ksec[Ohm];R1kprim[Ohm];X1kprim[Ohm];Re
27 1;0;Prb 1;I>;1;0;1.79769e+308;1.79769e+308;1.79769e+308;0;1.79769e+308;1.79769e+308;1.79769e+308;1.79769e+308;Line 4;2km
28 1;0;Prb 2;Z< P2;1;1;0;0;0;1.0001965;0.0001695;6.55e-005;5.65e-005;Line 10;5km;1.695;Z< P2;Prb 2
29 1;0;Prb 4;I->;0;0;1.79769e+308;1.79769e+308;1.79769e+308;0;1.79769e+308;1.79769e+308;1.79769e+308;1.79769e+308;Line 7;2k
30 1;0;Prb 5;I->;0;0;1.79769e+308;1.79769e+308;1.79769e+308;0;1.79769e+308;1.79769e+308;1.79769e+308;1.79769e+308;Line 8;2k
31 1;0;Prb 6;I>;1;0;1.79769e+308;1.79769e+308;1.79769e+308;0;1.79769e+308;1.79769e+308;1.79769e+308;1.79769e+308;Line 9;2km
32 1;0;Prb 7;P7;0;0;1.79769e+308;1.79769e+308;1.79769e+308;0;1.79769e+308;1.79769e+308;1.79769e+308;1.79769e+308;Line 7;2km
33 1;0;Prb 12;Z< P12;1;0;2000;2000;2000;0;6.98291;6.09953;2.32764;2.03318;Line 5;5km;1.695;Z< P2;Prb 2

```

Abbildung 188: Tabelle der Ergebnisse der Netzberechnungen der Probe Prbx im .CSV-Format

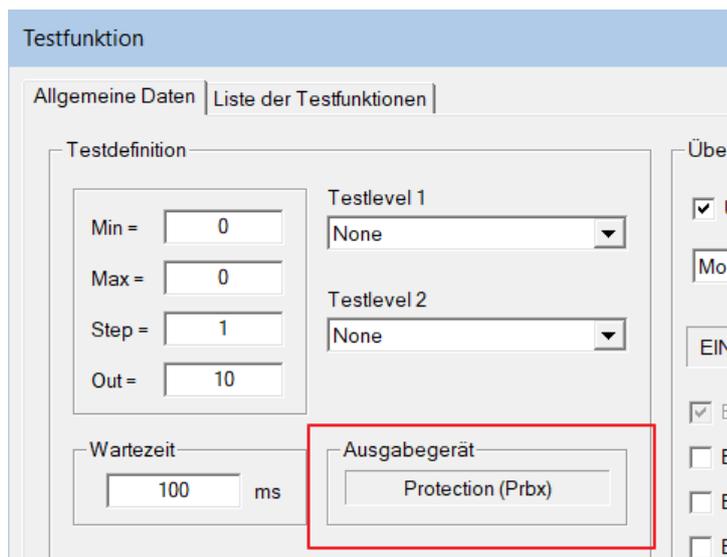
Bezeichner	Bedeutung
<b>LineNo</b>	Nummer der Folgeleitung 1..N
<b>ValL1</b>	Automatisch veränderter Einstellwert z.B. der Fehlerort in %
<b>RefName</b>	Referenzname der Probe
<b>ProtName</b>	Anwenderspezifischer Name der Probe
<b>GEN</b>	Generalanregung (1 = aktiv, 0 = inaktiv)
<b>TRIP</b>	AUS-Kommando (1 = AUS, 0 = kein AUS)
<b>TL1</b>	AUS-Kommandozeit Leiter 1 in ms
<b>TL2</b>	AUS-Kommandozeit Leiter 2 in ms
<b>TL3</b>	AUS-Kommandozeit Leiter 3 in ms
<b>Zone</b>	Distanzschutz: Nummer der Zone, die zum AUS-Kommando führt
<b>R1ksec[Ohm]</b>	Distanzschutz: Sekundäre Mitresistanz in Ohm
<b>X1ksec[Ohm]</b>	Distanzschutz: Sekundäre Mitreaktanz in Ohm
<b>R1kprim[Ohm]</b>	Distanzschutz: Primäre Mitresistanz in Ohm
<b>X1kprim[Ohm]</b>	Distanzschutz: Primäre Mitreaktanz in Ohm
<b>RefNameEquip</b>	Referenzname des zu schützenden Betriebsmittels
<b>NameEquip</b>	Anwenderspezifischer Name des zu schützenden Betriebsmittels
<b>X1Ls[Ohm]</b>	Sekundäre Mitreaktanz des zu schützenden Betriebsmittels
<b>RefNameProt</b>	Referenzname der Probe am Anfang der Folgeleitung <b>LineNo</b>
<b>NameProt</b>	Anwenderspezifischer Name der Probe am Anfang der Folgeleitung <b>LineNo</b>

Im Einstelldialog **Einstellungen Elektrisches Netz** ist die nachfolgende Einstellungen auszuwählen.



**Abbildung 189: Auswahl des Ausgabegerätes Protection (Prbx) für die Testfunktion**

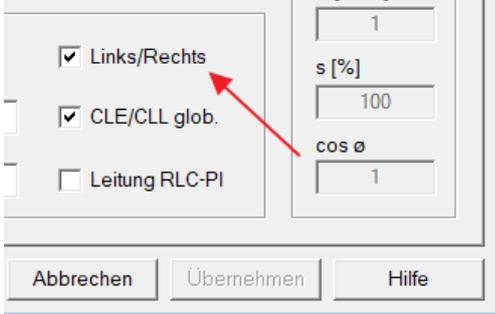
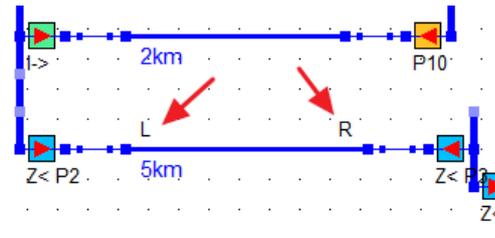
In dem Einstelldialog der **Testfunktion** wird nun das Ausgabegerät **Protection (Prbx)** angezeigt. Die Ergebnisdatei kann mit einem **Left Mouse Button Click** auf den Button **Be-richt** im Einstelldialog **Testfunktion** geöffnet werden.



**Abbildung 190: Anzeige des Ausgabegerätes Protection (Prbx)**

Folgende Einstellwerte des **Testlevel 1** sind in dieser Betriebsart zulässig.

Testlevel 1	Betriebsmittel und Einstellwert, der verändert wird
<b>None</b>	Nicht konfiguriert
<b>Short-Circuit Location</b>	<p>Der <b>Kurzschluss</b> muss vor Beginn der automatisierten Prüfung manuell mit der Leitung verbunden werden. Das kann für einen beliebigen Fehlerort vorgenommen werden.</p> <p>Mit dem Start der automatischen Prüfung (Button <b>Start</b> im Dialog <b>Testfunktion</b>) wird der Fehlerort entlang der Leitung in den Grenzen <b>[Min, Max]</b> in der Schrittweite <b>Step</b></p>

	<p>verändert. Für jede Einstellung wird der stationäre Netzzustand berechnet und die Ergebnisse des aktiven <b>Mess/Schutzgerätes</b> in eine Textdatei geschrieben.</p>  <p>Es wird der Fehlerort in % entlang der <b>Leitung</b> verändert. Der Fehlerort [0%..100%] wird vom linken Ende (<b>L</b>) der Leitung aus berechnet. Das linke Ende der Leitung kann in der Netzgrafik dargestellt werden, wenn im Einstelldialog der Leitung die Option <b>Links/Rechts</b> aktiviert ist.</p> 
<p><b>Short-Circuit Location (R)</b></p>	<p>Die Prüfung ist bis auf die Orientierung des Fehlerortes identisch mit der Prüfung <b>Short-Circuit Location</b>.</p> <p>Der <b>Fehlerort</b> wird für diese Prüfung vom rechten Ende (R) der Leitung aus berechnet. Ein Einstellwert von 0% entspricht einem manuell gesetzten Fehlerort von 100%.</p>

Folgende Einstellwerte des **Testlevel 2** sind in dieser Betriebsart zulässig.

Testlevel 2	Betriebsmittel und Einstellwert, der verändert wird
None	<p><b>Kurzschluss:</b> Keine Fehlerart konfiguriert</p> <p>Die Prüfung wird bei dieser Einstellung nicht durchgeführt</p>
<p><b>L1E, L2E, L3E, L12, L23, L13, L12E, L23E, L13E, L123, L123E</b></p>	<p><b>Kurzschluss:</b> 1p/2p/3p-Fehlerart am Kurzschlussort mit/ohne Erdberührung</p>

Um eine **Testfunktion** auszuführen, müssen folgende Schritte wie nachfolgende Abbildung zeigt durchgeführt werden.

1. Der **Kurzschluss (roter Blitz)** muss an der zu prüfende Leitung angebracht werden.
2. Der Einstelldialog **Testfunktion** ist geeignet zu parametrieren.

Die im Einstelldialog ggfs. eingestellte Fehlerart z.B. L1E oder L12 wird für die automatische Prüfung verwendet. Eine für den **Kurzschluss** ggfs. anders eingestellte Fehlerart wird dadurch überschrieben.

- Die **Testfunktion** kann jetzt mit einem **Left Mouse Button Click** auf den Button **Starten** gestartet werden.

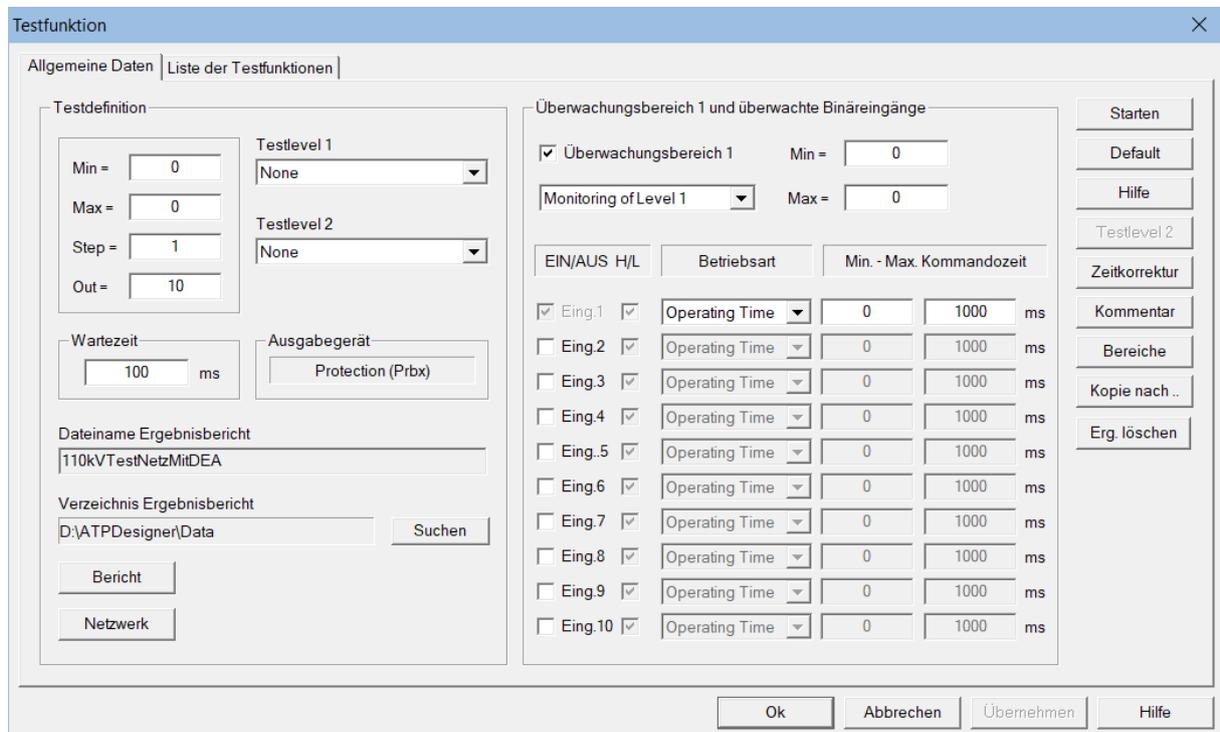


Abbildung 191: Ausführen einer Testfunktion

### 13.10.1 Prüfung von Schutzkonzepten über mehrere Folgeleitungen

ATPDesigner unterstützt die automatisierte Prüfung von Schutzkonzepten über mehrere Folgeleitungen. Mit dieser Prüffunktion kann der **Kurzschluss (roter Blitz)** über mehrere Leitungen automatisiert bewegt werden.

Die Definition der Folgeleitungen erfolgt in dem Einstelldialog **Ergebnisse der Netzschutzanalyse**. Die Auswahl der Folgeleitungen erfolgt nicht über die Auswahl einer Leitung, sondern über die Auswahl der **Mess/Schutzgeräte**, die jeweils eine Leitung schützen. Die zu schützende Leitung ist der **Mess/Schutzgerät** zugeordnet und wird in der Spalte **Equip.** des Dialogs angezeigt. In dem Beispiel in der nachfolgenden Abbildung sind die beiden **Mess/Schutzgerät P3, P4** und **P5** bzw. deren zugeordneten Leitungen **Line 5, Line 6** und **Line 7** als Folgeleitungen ausgewählt. Die Reihenfolge wird beginnend mit 1 aufsteigend durch die in der Spalte **Ord.** stehenden Nummern festgelegt.



### 1. Definition einer Testfunktion als Einzelprüfung

Nachdem in der Registerkarte **Allgemeine Daten** eine **Testfunktion** als Einzelprüfung definiert wurde, kann im ersten Schritt die Testfunktion durch einen **Left Mouse Button Click** auf den Button **Kopie nach ..** (Abbildung 642) in der Registerkarte **Allgemeine Daten** in die **Liste der Testfunktionen** kopiert werden.

### 2. Definition einer oder mehrerer Folgeleitungen

In einem zweiten Schritt müssen eine oder mehrere Folgeleitungen definiert werden. Dazu wird der Einstelldialog **Ergebnisse der Netzschutzanalyse** durch einen **Left Mouse Button Double Click** auf die entsprechenden Zelle in der Spalte **Prb 1..N** geöffnet. Mit Hilfe der Checkboxen kann die Reihenfolge der Folgeleitungen festgelegt werden. Nach dem Schließen des Einstelldialogs werden die Folgeleitungen in der ausgewählten **Testfunktion** gespeichert.

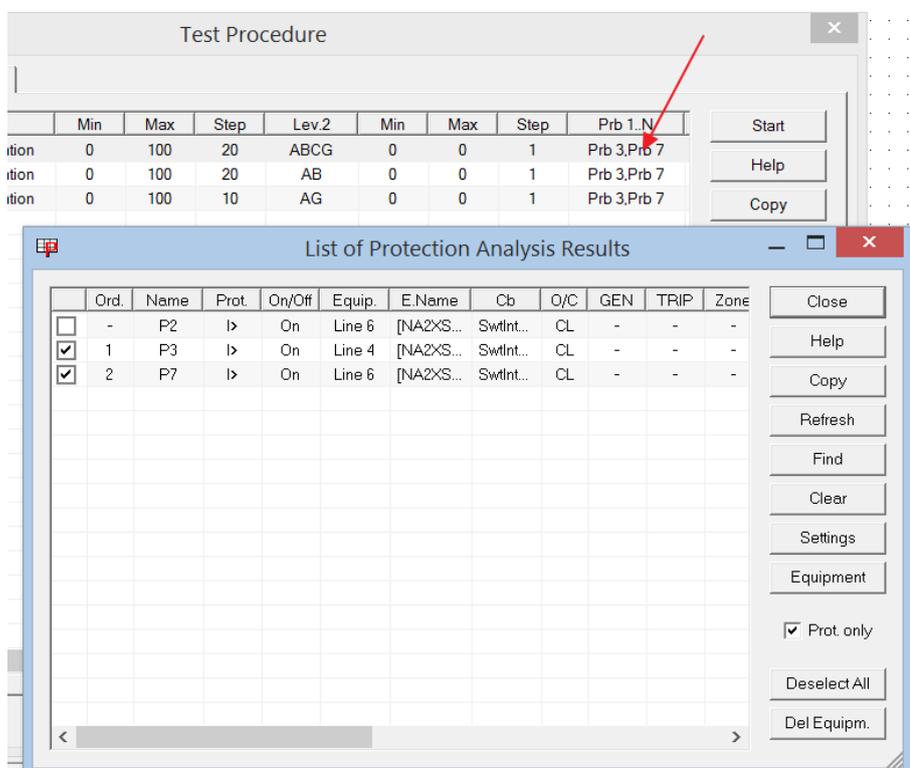


Abbildung 194: Öffnen des Einstelldialogs *Ergebnisse der Netzschutzanalyse*

### 3. Änderung einer Einstellung einer ausgewählten Testfunktion

Durch eine **Left Mouse Button Double Click** auf eine Zelle der Zeile der ausgewählten **Testfunktion** wird der Einstelldialog der **Testfunktion** mit den Einstellwerten der ausgewählten **Testfunktion** geöffnet. Es soll hier darauf hingewiesen werden, dass jetzt nur die Registerkarte **Allgemeine Daten** angezeigt wird.

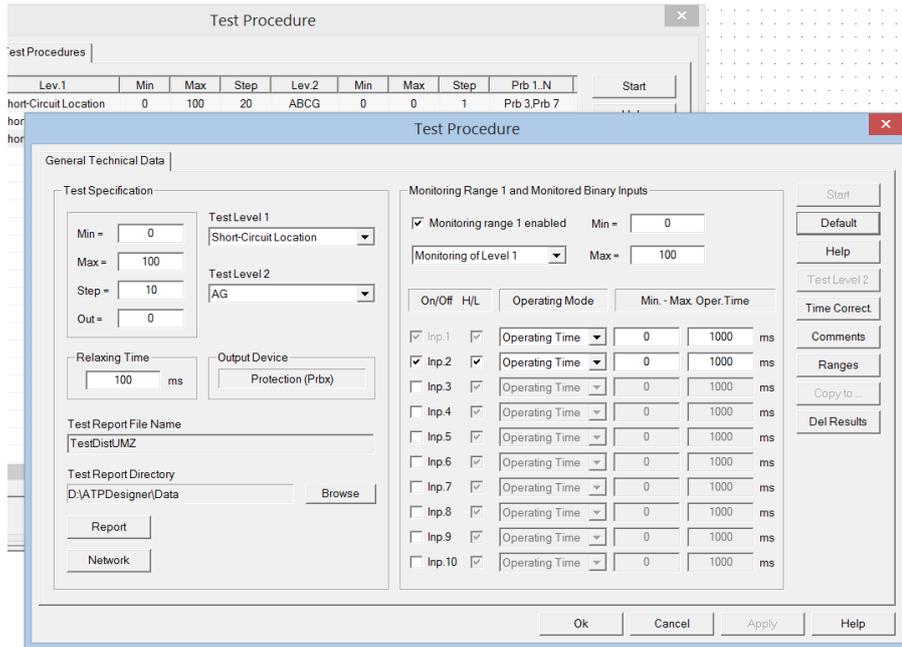


Abbildung 195: Öffnen des Einstelldialogs für eine einzelne Testfunktion

Der Vorgang kann mehrfach wiederholt werden. Die Liste der Prüfungen wird in der .NET-Datei gespeichert.

### 13.10.2.1 Ein-/Ausschalten einer Prüfung in der Liste der Testfunktionen

Durch eine **Left Mouse Button Click** auf eine Zelle in der Spalte **EIN/AUS** kann eine einzelne **Testfunktion** ein- (**EIN**) oder ausgeschaltet (**AUS**) werden. Ist die **Testfunktion** in der Liste ausgeschaltet, wird sie bei der Abarbeitung der List nicht berücksichtigt.

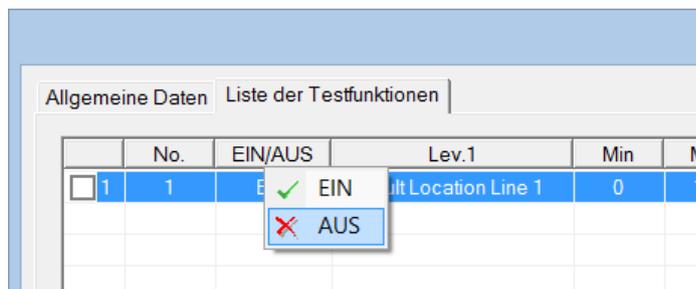


Abbildung 196: Liste der Testfunktionen - Ein- und Ausschalten einer einzelnen Prüfung

Bezeichner	Bedeutung
<b>Start</b>	Start der Ausführung der in der Liste gespeicherten <b>Testfunktion</b> , sofern diese den Status On/Off = On haben.
<b>Hilfe</b>	Öffnen des entsprechenden Kapitels der Hilfedatei
<b>Kopieren</b>	Der Inhalt der Liste wird im .CSV-Format in die Zwischenablage kopiert.
<b>Löschen</b>	Eine markierte <b>Testfunktion</b> wird gelöscht.
<b>Öffnen</b>	Der Einstelldialog wird für die markierte <b>Testfunktion</b> geöffnet.
<b>Erg. löschen</b>	Die in der Netzgrafik dargestellten Ergebnisse wie z.B. die Ergebnisse der Netzschutzanalyse werden gelöscht.

## Betriebsmittel

Es wird der Dialog **Liste der Betriebsmitteldaten** geöffnet. Mit Hilfe des Dialogs können die Einstellwerte der im Netz verwendeten Betriebsmittel einfach verändert werden.

- **Betriebsmittel:** Typ des Netzwerkelementes auswählen
- Der Einstelldialog kann durch einen **Left Mouse Button Double Click** geöffnet werden.

Liste der Betriebsmitteldaten

Einstellwerte | Analyse Un | GridProtect | Import | Kurzschluss | Flexibilitätstest | Ergebnisse Lastfluss

Betriebsmittel: Mess/Schutzgerät

Alle abwählen | Kopieren | Suchen | Entfernen

	No.	Einstellungen	Name	Ref. Name	Un [kV]	In [A]	Schutz	Schutz: Ein/Aus	I> [p.u.]	Tl> [ms]	IE> [p.u.]	TIE> [ms]	I>
<input type="checkbox"/>	1	P1 [Prb 1]	P1	Prb 1	20	1e+015	Ohne	Ein	1000	100	1000	100	
<input type="checkbox"/>	2	P2 [Prb 2]	P2	Prb 2	20	1e+015	Ohne	Ein	1000	100	1000	100	
<input type="checkbox"/>	3	P3 [Prb 3]	P3	Prb 3	20	1e+015	Ohne	Ein	1000	100	1000	100	
<input type="checkbox"/>	4	P4 [Prb 4]	P4	Prb 4	20	1e+015	Ohne	Ein	1000	100	1000	100	
<input type="checkbox"/>	5	P5 [Prb 5]	P5	Prb 5	20	1e+015	Ohne	Ein	1000	100	1000	100	
<input type="checkbox"/>	6	P6 [Prb 6]	P6	Prb 6	20	1e+015	Ohne	Ein	1000	100	1000	100	
<input type="checkbox"/>	7	P7 [Prb 7]	P7	Prb 7	20	1e+015	Ohne	Ein	1000	100	1000	100	
<input type="checkbox"/>	8	P8 [Prb 8]	P8	Prb 8	20	1e+015	Ohne	Ein	1000	100	1000	100	
<input type="checkbox"/>	9	P9 [Prb 9]	P9	Prb 9	20	1e+015	Ohne	Ein	1000	100	1000	100	
<input type="checkbox"/>	10	P10 [Prb 10]	P10	Prb 10	20	1e+015	Ohne	Ein	1000	100	1000	100	

## Dokumente

- [1] Digitaler Distanzschutz  
Verhalten der Algorithmen bei nichtidealen Eingangssignalen  
Nelles, Dieter; Opperskalski, Hartmut; Deutscher Universitäts-Verlag, 1991
- [2] VDE 0102, DIN EN 60909-0, IEC60909-0:2016, Dezember 2016  
Kurzschlussströme in Drehstromnetzen, Teil 0: Berechnung der Ströme
- [3] Netzregelung durch Energiespeicher im Niederspannungsnetz  
Vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen FN17N3408 geförderten Vorhabens, Abschlussbericht Mai 2012
- [4] BDEW (Hrsg.): Technische Richtlinie „Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz“, Berlin: 2008
- [5] Verordnung zu Systemdienstleistungen durch Windenergieanlagen (Systemdienstleistungsverordnung - SDLWindV), 2009
- [6] Transmission Code 2007 - Netz- und Systemregeln der deutschen Übertragungsnetzbetreiber TC2007, 2007
- [7] Digitaler Differentialschutz: Grundlagen und Anwendungen  
Gerhard Ziegler, Siemens, 2. Auflage
- [8] Numerical Fault Arc Simulation Based on Power Arc Tests  
M. Kizilcay; K.-H. Koch; ETEP Vol 4., No. 3, May/June 1994
- [9] Sicherungshandbuch, Starkstromsicherungen  
Dr.-Ing. Herbert Bessei, NH/HH-Recycling, [www.nh-hh-recycling.de](http://www.nh-hh-recycling.de)
- [10] DIN EN 61400-21 (VDE 0127-21:2009-6), Normen für Windenergieanlagen
- [11] DIN VDE 0276-1000:1995-06 Starkstromkabel  
Teil 1000: Strombelastbarkeit, Allgemeines, Umrechnungsfaktoren
- [12] DIN VDE 0103 Kurzschlussströme – Berechnung der Wirkung  
DIN EN 60865-1:Teil 1: Begriffe und Berechnungsverfahren
- [13] Leistungsbegriffe für Ein- und Mehrphasensysteme  
(nach DIN 40110-1 und DIN 40110-2)  
Helmut Säpth, VDE Schriftenreihe 103, VDE Verlag GmbH, 2. Auflage 2012
- [14] Lastenheft Blindleistungs-Unterspannungsschutz (Q-U-Schutz)  
Forum Netztechnik/Netztrieb im VDE (FNN), Februar 2010
- [15] Elektrische Kraftwerke und Netze  
Oeding, D.; Oswald, B.; Springer Verlag, 7. Auflage
- [16] Druml, Gernot; Kugi, Andreas (2003): Verfahren zur Erkennung der Richtung eines Erdschlusses. Angemeldet durch EDC GmbH, 90768 Fürth, DE am 22.01.2003. Veröffentlichungsnummer: DE10302451B3

- [17] Druml, Gernot: 4. ETG Fachtagung STE 2017. Sternpunktbehandlung in Netzen bis 110kV (D-A-CH)
- [18] DIN VDE-AR-N 4110 Technische Regeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Mittelspannungsnetz und deren Betrieb (TAR Mittelspannung)
- [19] Electro-Magnetic Transients Program (EMTP) Theory Book ([www.eeug.org](http://www.eeug.org))
- [20] Alternative Transients Program (ATP) Rule Book  
Canadian/American EMTP User Group ([www.eeug.org](http://www.eeug.org))
- [21] Office Open XML ([www.officeopenxml.com](http://www.officeopenxml.com))
- [22] Elektromobilität als Anwendungsfall des Ampelkonzeptes im Verteilnetz  
Diskussionspapier, BDEW, April 2018
- [23] Anwendung der Repräsentativen VDEW-Lastprofile  
VDEW Materialien, VDEW-Frankfurt 2000
- [24] Grundsätze für die Planung des deutschen Übertragungsnetzes  
50Hertz Transmission GmbH, Amprion GmbH, TenneT TSO GmbH, TransnetBW GmbH, Stand März 2018
- [25] Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung  
Energiewirtschaftsgesetz – EnWG, Stand 21.12.2020
- [26] Elektrische Energieübertragungssysteme  
Teil 1: Stationärer Betriebszustand  
Handschin, Edmund; ELTEX Studentexte Elektrotechnik
- [27] DIN EN 50160  
Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen  
Februar 2011 (DIN EN 50160:2011-02)
- [28] JSON (JavaScript Object Notation)  
ECMA-404 The JSON Data Interchange Standard ([www.json.org](http://www.json.org))
- [29] DIN VDE-AR-N 4120 Technische Regeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Hochspannungsnetz und deren Betrieb (TAR Hochspannung)  
Stand: November 2018
- [30] DIN VDE-AR-N 4105 Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz -  
Technische Mindestanforderungen für Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz  
Stand: November 2019
- [31] EDI@Energy Codeliste der OBIS-Kennzahlen und Medien  
BDEW, Version 2.3, 01.04.2021
- [32] Erstellung temperaturabhängiger Lastprofile für  
Speicherheizungen und Wärmepumpen mit E-Mobilität

Mayer, Ulrike; Basaran, Setenay; Bayernwerk Netz GmbH  
[www.bayernwerk-netz.de](http://www.bayernwerk-netz.de); Stand: 01.07.2020

- [33] Regelzonenübergreifendes Netzengpassmanagement mit optimalen Topologiemassnahmen  
Alain Franck Kaptue Kamga  
Dissertation Bergische Universität Wuppertal, 2009
- [34] K. F. Schäfer, Netzberechnungsverfahren zur Berechnung elektrischer Energieversorgungsnetze: Wiesbaden: Springer Vieweg, 2020.  
Wiesbaden: Springer Vieweg, 2020.
- [35] L. Simon M.Sc., Masterarbeit - Flexibilität in Stromverteilnetzen 2021.
- [36] IEC 60255-24:2001 (VDE 0435-3040): 2002-04  
Elektrische Relais  
Teil 24: Standardformat für den Austausch von transienten Daten elektrischer Energieversorgungsnetze (COMTRADE)
- [37] DIN IEC 60076-1 (VDE 0532-76-1):2012-03  
Leistungstransformatoren, Teil 1: Allgemeines

### **Handbücher zu ATPDesigner**

- [Bd. 1] Einführung in ATPDesigner, Band 1: Grundlagen und Bedienung
- [Bd. 2] Einführung in ATPDesigner, Band 2: Konfiguration und Betriebsmittel
- [Bd. 3] Einführung in ATPDesigner, Band 3: Netzberechnung