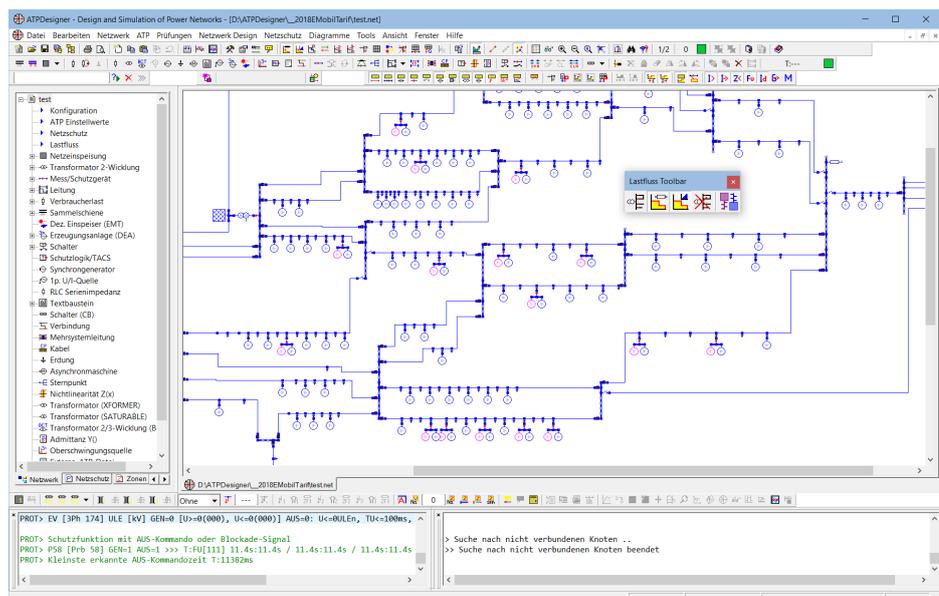


Einführung in ATPDesigner

Band 2: Konfiguration und Betriebsmittel

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



Inhalt Band 2.1

5	Einstellung der elektrischen Betriebsmittel.....	8
5.1	Allgemeine Programmeinstellungen	9
5.1.1	Speicherung der Programmeinstellwerte in der .INI-Datei.....	10
5.1.2	Verwendung des temporären Verzeichnisses von Windows	10
5.1.3	Programmeinstellungen zurücksetzen durch Löschen der .INI-Datei	12
5.1.4	Registerkarte <i>Programmeinstellungen</i>	12
5.1.4.1	Änderung des Verzeichnisses der Lizenzdatei: <i>Lizenzdateiverzeichnis</i>	14
5.1.5	Registerkarte <i>Webserver</i>	15
5.1.5.1	Webserver: Start des Webserver	17
5.1.6	Zugangsschutz mit einem Anwender <i>PIN</i>	19
5.1.6.1	Zugangsschutz - Tastenkürzel Strg + linke Window-Taste	19
5.1.7	Einlesen, Verarbeiten und Speichern der Einstellungen der .INI-Datei	20
5.1.8	Einlesen einer inkompatiblen oder defekten .INI-Datei	20
5.1.9	Aufbau und Inhalt der .INI-Datei.....	20
5.1.9.1	Automatische Konvertierung nach COMTRADE.....	22
5.1.9.2	Registerkarten	22
5.1.9.3	Letzte .NET-Datei automatisch laden	22
5.1.9.4	Updates prüfen	22
5.1.9.5	Task Priorität	22
5.1.10	Überprüfung der Verzeichnisse der Programmeinstellungen	24
5.1.11	ATPDesigner mit integriertem Webserver.....	24
5.2	Allgemeine Eigenschaften der Einstelldialoge	25
5.2.1	Anwenderspezifischer Name für ein Netzwerkelement	25
5.2.1.1	Ausgabe der anwenderspezifischen Namen in der Netzgrafik 	25
5.2.1.2	Ausgabe der anwenderspezifischen Namen für Leitungen 	25
5.2.1.3	Ausrichtung des anwenderspezifischen Namens.....	26
5.2.1.4	Anzeige von Kurzinformationen in einem Tooltip	28
5.2.2	Anwenderspezifischer Text für ein Netzwerkelement 	28
5.2.2.1	Anwenderspezifischer Text löschen 	28
5.2.2.2	Anwenderspezifischen Text in einem Tooltip ausgeben 	29
5.2.3	Anwenderspezifische Zeichenfarbe für ein Netzwerkelement 	29
5.2.4	Anonymisierung - Anzeige <i>Alternativer Namen (Alias)</i> in der Netzgrafik	30
5.3	Allgemeine Parameter <i>ATP Einstellwerte</i> 	32
5.3.1	Registerkarte <i>ATP Daten</i> - Allgemeine Einstellwerte	32
5.3.1.1	Gruppe <i>Lastflussberechnung: Lastfluss: PQ, PU Knoten und Lastfluss: DEA</i>	34
5.3.1.2	Einstellwerte für die Berechnung dynamischer Netzzvorgänge	34
5.3.1.3	Registerkarte <i>Lastfluss</i> - ATP Load Flow	38
5.3.2	Lastflussberechnung in ATPDesigner	39
5.3.2.1	Warum zwei getrennte Schalter zum EIN/AUS – Schalten  ?.....	40
5.3.2.2	Lastflussberechnung <i>Lastfluss: PQ, PU Knoten</i>	41
5.3.2.3	Lastflussberechnung <i>Lastfluss: DEA</i>	42
5.3.2.4	Lastflussberechnung – <i>Lastfluss: PQ, PU Knoten und Lastfluss: DEA</i>	43

5.3.3	Registerkarte <i>Lastfluss: Lasten</i> 	46
5.3.3.1	PQ-Knoten	46
5.3.3.2	PU-Knoten	48
5.3.3.3	Lastfluss: PQ und PU Knoten	48
5.3.3.4	Lastfluss: PQ Knoten - Konvergenzkriterien	48
5.3.3.5	Lastfluss: PU Knoten - Konvergenzkriterien	49
5.3.3.6	Lastfluss: PU-Knoten - Konvergenzbeschleunigung	50
5.3.4	Überwachung der Netzspannung - U>, U< - Überwachung (EN50160).....	50
5.3.4.1	U>, U< - Überwachung – Ausgabe im Meldungsfenster	51
5.3.5	Registerkarte <i>Load Flow (ATP Lastfluss)</i>	53
5.3.6	Registerkarte <i>Lastfluss: DEA</i> 	54
5.3.6.1	1-phasiger Wechselrichter	54
5.3.6.2	3-phasiger symmetrischer Wechselrichter (Vollumrichter)	54
5.3.6.3	Iterative Lastflussberechnung, Konvergenzbedingungen	55
5.3.6.4	Liste der spezifischen Teillastfaktoren s [%Pn, %Sn]	61
5.3.7	Registerkarte <i>VDE 0102 (IEC 60909)</i>	61
5.4	Einstellungen zur <i>Netzkonfiguration</i> 	61
5.4.1	Registerkarte <i>Netzwerk</i>	62
5.4.1.1	Ausgabegerät	64
5.4.1.2	Messverfahren	65
5.4.1.3	Anonymisierung Netzgrafik – Anwenderspezifische Bezeichner EIN/AUS	65
5.4.1.4	Gruppe <i>Schriftarten</i>	65
5.4.2	Registerkarte <i>Kurzschluss</i>	66
5.4.2.1	Fehlerimpedanz $Z = R + jX$	67
5.4.2.2	„Setzen“ des Fehlerortes an einer Leitung <i>Line 4..N</i>	67
5.4.2.3	Nachbildung der Fehlerimpedanz <i>Z</i>	68
5.4.2.4	Berechnung der dynamischen Netzvorgänge	69
5.4.3	Registerkarte <i>Netzschutz</i>	71
5.4.3.2	Impedanzalgorithmus	72
5.4.3.3	Einstellwert <i>DIST: Tiefpassfilter</i>	72
5.4.3.4	Einstellwerte <i>Schutzanalyse für Leitungen</i>	73
5.4.3.5	Einstellwert <i>DFT: Hochpassfilter</i>	73
5.4.3.6	Einstellwerte <i>Distanzschutz: Selektivität</i>	74
5.4.3.7	Netzschutz Analyse	74
5.4.4	Registerkarte <i>Farben</i>	75
5.4.4.1	Farbschema <i>Standard</i>	76
5.4.4.2	Farbschema <i>Dark Mode</i>	77
5.4.5	Registerkarte <i>Leitung 1..3</i>	78
5.4.5.1	Kapazitäten CLE und CLL aktivieren	78
5.4.6	Registerkarte <i>Einstellungen ATP</i>	79
5.4.6.1	Lastflussberechnung: Auswirkungen der Option <i>\$WIDTH aktiv</i>	81
5.4.7	Anwenderspezifische Beschreibung des elektrischen Netzwerkes	83
5.4.8	Registerkarte <i>Meldungen</i>	83
5.4.8.1	Bericht: Ergebnisse Lastflussberechnung – Zusatzinformationen	87
5.4.9	Registerkarte <i>Farben Un</i> – Einfärben von Spannungsebenen 	88
5.4.10	Registerkarte <i>Farben U<></i> – Einfärben von Spannungsbändern	88
5.4.11	Registerkarte <i>Farben I></i> - Überlastung von Betriebsmitteln	91
5.4.12	Registerkarte <i>CMC Konfiguration</i>	93

5.4.13	Registerkarte <i>Farben Pv</i>	94
5.4.14	Registerkarte <i>Datensicherheit</i>	95
5.4.14.1	Anwenderspezifisches Passwort zur Verschlüsselung der .NET-Datei.....	95
5.4.14.2	Projektspezifisches Passwort für POST-Message zum Web Server.....	96
5.4.15	Registerkarte <i>Überwachung Netzzustand</i>	97
5.4.15.1	Netzzustand – Einstellwerte und Anzeige mit einer Ampel.....	99
5.4.15.2	Netzzustand – Ausgabe im Meldungsfenster	99
5.4.15.3	Registerkarte <i>E-Mail, SMTP</i>	101
5.4.15.4	Netzzustand gelb - Ermittlung des Handlungsbedarfes für Betriebsmittel.....	101
5.4.15.5	Netzfaktoren f_N zur Bewertung des Netzzustandes	103
5.4.16	Registerkarte <i>Datenbank</i>	106
5.5	Netzeinspeisung <i>Network Infeed</i> 	108
5.5.1	Registerkarte <i>Allgemeine Daten</i>	110
5.5.1.1	Nennfrequenz f_n des Netzwerkelementes <i>Netzeinspeisung 1</i>	111
5.5.1.2	Absoluter Phasenwinkel ϕ (U) – Referenzphasenwinkel im Mitsystem	112
5.5.1.3	Kurzschlussleistungen $S_k, S_{k\max}, S_{k\min}$	112
5.5.1.4	3-poliger Kurzschlussstrom I_{k3}	113
5.5.1.5	Berechnung der Kurzschlussimpedanz.....	114
5.5.1.6	Kurzschlussstrom nach VDE 0102 (IEC 60909) - Spannungsfaktors c_Q	115
5.5.2	Registerkarte <i>Lastfluss: Lasten – Netzeinspeisung in der Lastflussberechnung</i>	116
5.5.2.1	Lastfluss EIN.....	116
5.5.2.2	Registerkarte <i>Lastfluss PQ,PU Knoten: Betriebsart der Netzeinspeisung</i>	116
5.5.3	Lastflussberechnung - Modell der Netzeinspeisung in der Betriebsart <i>PU</i>	118
5.5.4	Netzeinspeisung mit Oberschwingungen 	120
5.5.4.1	Oberschwingungen und Oberwellen – Erläuterung und Abgrenzung	121
5.5.4.2	Oberschwingungen für die Berechnung dynamischer Netzzvorgänge	121
5.5.4.3	Oberschwingungen für die Berechnung stationärer Netzzustände	123
5.5.5	Überprüfung des 3-poligen Kurzschlussstromes an der Netzeinspeisung.....	123
5.5.6	Lastflussberechnung: Netzeinspeisung als <i>Slack</i>	125
5.6	Dezentrale Erzeugungsanlage (DEA) 	127
5.6.1	Registerkarte <i>Allgemeine Daten</i>	128
5.6.1.1	Einstellwert <i>Betriebsart</i>	133
5.6.1.2	Einstellgruppe <i>P,S Einheit</i>	133
5.6.1.3	Verwendung einer Kennung in der Netzgrafik.....	134
5.6.1.4	Modell einer Stromquelle konstanter Leistung im Normalbetrieb	134
5.6.1.5	Blindleistungsbereitstellung: <i>Betriebsart cos phi</i> im Normalbetrieb	135
5.6.1.6	Betriebsarten $S_n (IL:3p) = const.$ und $P_n (IL:3p) = const.$	136
5.6.1.7	Betriebsarten $S_n (IL:1/2/3p) = const.$ und $P_n (IL:1/2/3p) = const.$	137
5.6.1.8	Betrag I_L der Stromquellen: Berechnung des Anfangswertes	137
5.6.1.9	Betrag I_L der Stromquellen: Wert während der Iteration.....	138
5.6.1.10	Begrenzung des Leiterstroms - maximal zulässiger Leiterstrom I_{Lmax}	140
5.6.1.11	Einstellwert <i>Zusatzknoten Steuerung</i>	140
5.6.2	Netzanschlusspunkt (NAP) im Normalbetrieb – <i>NAP Messort</i>	141
5.6.2.1	Erzeugerzählpeilsystem (EZS) am Netzanschlusspunkt (NAP)	142
5.6.3	Betriebsart $\cos \phi = const.$: Untererregte oder übererregte Betriebsweise	143
5.6.4	Betriebsarten $P > 0$ oder $P < 0$: Einspeisung oder Bezug von Wirkleistung	144
5.6.5	4-Quadranten-Betrieb der Dezentralen Erzeugungsanlage in der P-Q-Ebene... ..	144
5.6.6	Registerkarte <i>Interface zu</i>	146
5.6.6.1	Interface zu <i>Balkendiagramm</i>	146

5.6.6.2	Interface zu TACS/MODELS Interface.....	148
5.6.7	Spannungssteigerungsschutz U>, Spannungsrückgangsschutz U<.....	148
5.6.7.1	U<>: Meldungsfenster für Netzschutzfunktionen	153
5.6.8	Maximal zulässiger Einspeisestrom I _{max} , Nennstrom I _n	153
5.6.9	Registerkarte CosPhi: Blindleistungsbereitstellung im Normalbetrieb	154
5.6.10	Registerkarte P(Q) - Wirk- und Blindleistungskennlinie P(Q).....	157
5.6.10.1	Anzeige der P(Q)-Kennlinie und der Arbeitspunkte in einem Diagramm.....	159
5.6.10.2	P(Q)-Betriebsart für das Diagramm	160
5.6.10.3	Registerkarte P(Q) und P(Q)-Kennlinie: P _n (IL:3p) = const.....	160
5.6.10.4	Registerkarte P(Q) und P(Q)-Kennlinie: Betriebsart S _n (IL:3p) = const.....	161
5.6.10.5	Überprüfung der P(Q)-Kennlinie und Ausgabe der Ergebnisse	161
5.6.10.6	Berücksichtigung der P(Q)-Kennlinie während der Lastflussberechnung.....	161
5.6.11	Globaler und betriebsmittelspezifischer Teillastfaktor	162
5.6.12	Registerkarte LVRT – Kurzschlussbetrieb der Dezentralen Erzeugungsanlage.....	164
5.6.12.2	Identifikation der Kurzschluss betroffenen Leiter L1, L2 und L3	181
5.6.12.3	LVRT-Betrieb einer Erzeugungsanlage anwenden	183
5.6.12.4	Erkennen des LVRT-Betriebes, Rückfall in den Normalbetrieb	190
5.6.12.5	Farbliche Kennzeichnung des LVRT-Betriebes der DEA	191
5.6.12.6	Aktiver LVRT-Betrieb ohne Verwendung des Kurzschlusses im Netz.....	191
5.6.12.7	LVRT-Betrieb: Wirkstromeinspeisung im Mitsystem	192
5.6.12.8	Einstellhinweis für den Kurzschluss im LVRT-Betrieb	193
5.6.12.9	Beispiel: 10MW-Windpark in einem 20kV-Mittelspannungsnetz	193
5.6.12.10	LVRT-Betrieb: Symbole und Einfärbungen in der Netzgrafik	197
5.6.13	Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 (IEC 60909)	198
5.6.14	Registerkarte Lastprofil	199
5.6.14.1	Einstelldialog der Registerkarte Lastprofil.....	201
5.6.14.2	Verfahren 1: Fahrplanberechnung mit Schaltzeiten für E-Mobile, Batterien 202	
5.6.14.3	Verfahren 2: Fahrplanberechnung mit Lastprofilen 	203
5.6.14.4	Betriebsarten.....	203
5.6.14.5	Allgemeine, anwenderspezifische und anlagenspezifische Lastprofile ..	205
5.6.14.6	Kennungen und Symbole des Betriebsmittels in der Netzgrafik	207
5.6.14.7	Einstellwerte der Tabelle mit Schaltzeiten für E-Mobile und Batterien	208
5.6.14.8	Beispiel: E-Mobile: Fahrplanberechnung und Eine definierte Uhrzeit	213
5.6.14.9	Beispiel: E-Mobile: Fahrplanberechnung und Tabelle der Schaltzeiten..	214
5.7	Verbraucherlast Load Impedance 	216
5.7.1	Internes Modell der Verbraucherlast.....	217
5.7.2	Verwendung des Verbraucherzählpeilsystems (VZS).....	218
5.7.3	Registerkarte Allgemeine Daten.....	218
5.7.4	Anwenderspezifische Knotennamen	221
5.7.5	Betriebsarten der Verbraucherlast	221
5.7.6	Unsymmetrische Verbraucherlast Serienimpedanz (1-phasig Y)	223
5.7.7	Lastflussberechnung: Lastfluss EIN	224
5.7.8	Betriebsmittelspezifischer Teillastfaktor s.....	224
5.7.9	Globaler Teillastfaktor	224
5.7.10	Grafische Symbole zur Anzeige der Verbraucherlast in der Netzgrafik 	225
5.7.11	Registerkarte Lastprofil – Standardlastprofile in Anlehnung an VDEW.....	225

5.7.11.1	Allgemeine oder anwenderspezifische und anlagenspezifische Lastprofile 228	
5.7.12	Registerkarte Anlagenliste	235
5.7.12.1	Anwendung der Anlagenliste: Bezugs- und Einspeiseanlage	237
5.7.13	Registerkarte Z(t)–MODELS - MODELS basierte Last, Batterie für einen Parkregler 240	
5.7.13.1	Z(t)–MODELS: Betriebsarten	241
5.7.13.2	PTx - Übertragungsverhalten	244
5.8	RLC Serienimpedanz RLC Impedance 	245
5.8.1	Betriebsarten	246
5.8.2	Metal Oxid Varistor – Betriebsart MOV	247
5.8.3	Serienkompensation	247
5.9	Leitung Line 	248
5.9.1	Registerkarte Allgemeine Daten	248
5.9.2	Auswahl des Leitungsmodells und des Leitungstyps	252
5.9.2.1	Generische Leitungsmodelle	253
5.9.2.2	Leitungstypen	254
5.9.2.3	Übernahme eines Leitungstyps in ein generisches Leitungsmodell	254
5.9.2.4	Export und Import der Betriebsmitteldaten von Leitungen	255
5.9.3	Registerkarte Allgemeine Daten - Reduktionsfaktor Red.	255
5.9.4	Gruppe Lastfluss: Last – Interne Verbraucherlast	256
5.9.5	Registerkarte Leitungstyp	258
5.9.5.1	Freileitungen und Kabel in der Leitungsbibliothek	258
5.9.5.2	Generische Leitungsmodelle	259
5.9.5.3	Zusatzknoten der Leitung – Ersatz für Sammelschienen	260
5.9.5.4	Shunt Impedanzen - Querimpedanzen an den Leitungsenden	262
5.9.6	Registerkarte Mehrfachleitung	262
5.9.6.1	Registerkarte Allgemeine Daten	263
5.9.6.2	Erstellen einer Mehrfachleitung (RLC-PI)	266
5.9.6.3	Änderung der Einstellwerte einer Teilleitung der Mehrfachleitung	266
5.9.6.4	Löschen einer der Teilleitungen einer Mehrfachleitung	267
5.9.6.5	Kopieren der Leitungsdaten in die Zwischenablage	267
5.9.6.6	Interne Leiterbezeichner der Mehrfachleitung	267
5.9.7	Registerkarte U<>, Zusatzleitung	267
5.9.7.1	Gruppe Zusätzliche Einstellwerte	269
5.9.7.2	Messung Ströme, Spannungen – Interne Verbraucherlast nicht aktiviert	269
5.9.7.3	Messung Ströme, Spannungen – Interne Verbraucherlast aktiviert	269
5.9.7.4	Beurteilung der Kurzschlussbelastbarkeit	271
5.9.8	Berechnung des stationären Netzzustandes: Anzeige von I_{max}	271
5.9.9	Leitungsmodell RLC-PI mit und ohne Kapazitäten	272
5.9.10	Öffnen und Schließen der Trennschalter einer Leitung	273
5.9.10.1	Topologisches Schaltbild der Leitung mit Trennschalter, Zusatzknoten, ... 274	
5.9.10.2	Öffnen und Schließen der Trennschalter per Left Button Mouse Click	274
5.9.10.3	Öffnen und Schließen der Trennschalter per Right Mouse Button Menu .	275
5.9.11	Einfärbung einer spannungslosen Leitung	275
5.9.12	Integrierte Bibliothek für Leitungstypen	276
5.9.13	Links/Rechts - Anzeigen des linken und rechten Knotens einer Leitung	276

5.9.14	Berechnung der Wirkverlustleistung	277
5.9.15	Balkenanzeige – Ergebnisse der Lastflussberechnung in der Netzgrafik	277
5.9.16	Doppelleitung	279
5.9.16.1	Registerkarte <i>Allgemeine Daten</i>	279
5.9.16.2	Registerkarte <i>Bündel</i>	280
5.9.16.3	Registerkarte <i>Erdseil</i>	281
5.9.16.4	Registerkarte <i>Shunts</i>	282

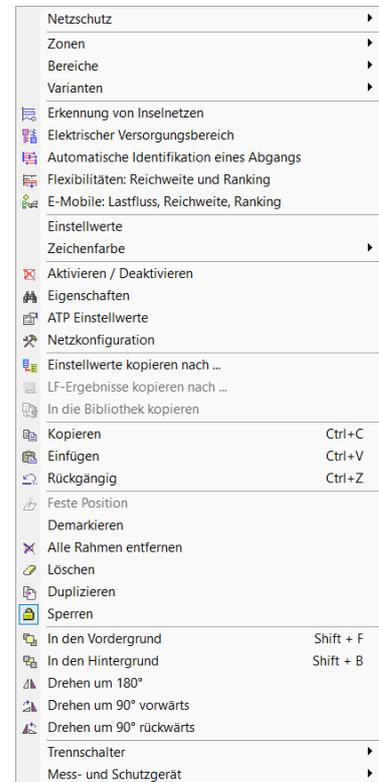
Mängelanzeige: Der Anwender von ATPDesigner und der dazu gehörenden Dokumentation ist verpflichtet, jegliches Fehlverhalten der Software ATPDesigner oder Fehler oder unzulässige Inhalte in der dazu gehörenden Dokumentation dem Autor der Dokumentation oder dem Lizenzgeber von ATPDesigner unverzüglich 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 unter **Downloads** oder im **ATPDesigner OneDrive** bezogen werden.

5 Einstellung der elektrischen Betriebsmittel

ATPDesigner bietet dem Anwender Betriebsmittel spezifische Einstelldialoge zur Einstellung der Betriebsmitteldaten an. Die Einstelldialoge können mit verschiedenen Bedi-
enhandlungen geöffnet werden. In der nachfolgend dargestellten Abbildung ist bei-
spielhaft ein kontextsensitives Menü gezeigt, das u.a. zum Öffnen der Einstelldialoge
verwendet werden kann.

- **Direktes Öffnen eines Einstelldialogs**
Direktes Öffnen des Einstelldialogs mit einem **Left Mouse Button Double Click** auf das Symbol des Netzwerkele-
mentes in der Netzgrafik.
- **Öffnen des Einstelldialogs mit kontextsensitivem Menü**
Markieren des Netzwerkelementes in der Netzgrafik mit einem **Left Mouse Button Click** auf das Symbol, an-
schließend Öffnen des kontextsensitiven Menüs durch **Right Mouse Button Click**, dann Auswahl des Menü-
punkts **Einstellwerte** mit abschließendem **Left Mouse Button Click**.
- **Öffnen des Einstelldialogs per Hauptmenü**
Markieren des Netzwerkelementes durch einen **Left Mouse Button Click** auf das grafische Symbol, Haupt-
menü **Netzwerk Design**, Menüpunkt **Netzwerk Elemente**, Menüpunkt **Einstellwerte**



Wie in dem oben dargestellten kontextsensitiven Menü ersichtlich, werden abhängig
von dem markierten Netzwerkelement ggfs. spezifische Menüpunkte zur Einstellung
des markierten Netzwerkelementes am Ende eingefügt, hier die beiden Menüpunkte
Trennschalter und **Mess- und Schutzgerät**.

Im Folgenden werden die Einstelldialoge der wichtigsten Betriebsmittel näher erläutert.
Die nachfolgenden Buttons sind in allen Einstelldialogen enthalten.

Button	Bedeutung
OK	Der Dialog wird geschlossen, geänderte Daten werden gespeichert.
Abbrechen	Der Dialog wird geschlossen, geänderte Daten werden nicht gespeichert.
Default	Die Einstellwerte des Dialogs werden mit vordefinierten Werten be- legt, es werden die Einstellwerte der Grundeinstellung geladen.
Hilfe	Die Helpdatei wird geöffnet.

Ausgewählte Einstellwerte werden zusammen mit den Ergebnissen der Netzberech-
nung in einem **Tooltip** [Bd. 3] angezeigt.

5.1 Allgemeine Programmeinstellungen

Der Einstelldialog kann im Hauptmenü **Tools** [Bd. 1], Menüpunkt **Programmeinstellungen** geöffnet werden. Der Einstelldialog ermöglichtes, allgemeine Einstellungen von ATPDesigner, die unabhängig von den Einstellwerten der Betriebsmittel und sonstiger Eigenschaften des Stromnetzes sind, einzustellen. Der Einstelldialog kann geöffnet werden, ohne dass ein Stromnetz geöffnet wurde.

- Hauptmenü **Tools**
- Menüpunkt **Programmeinstellungen**

Es muss unbedingt darauf geachtet werden, dass die Verzeichniseinstellungen im Einstelldialog mit den Verzeichnissen auf dem Massenspeicher z.B. der Festplatte oder SSD übereinstimmen.

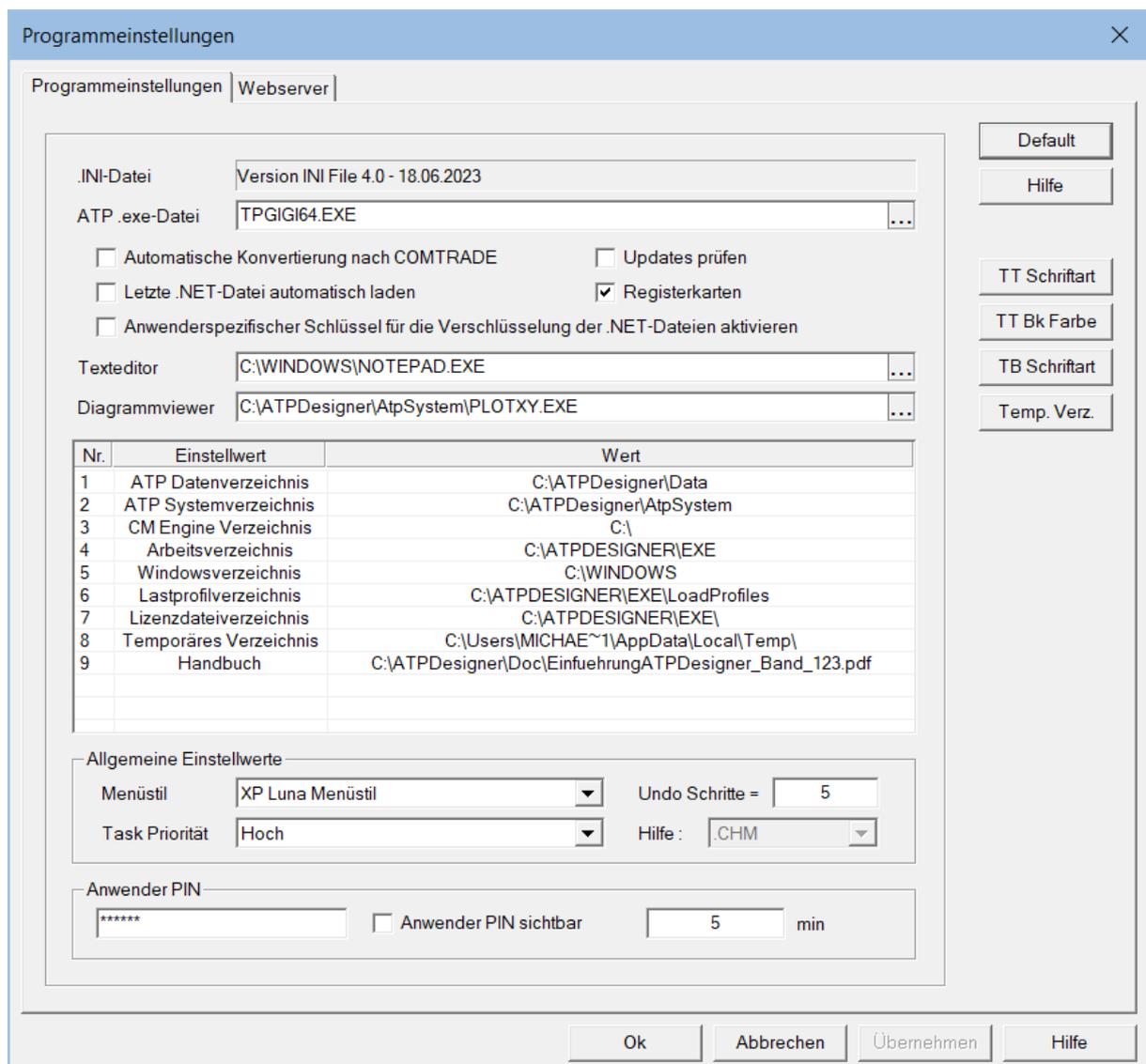


Abbildung 1: Einstelldialog *Programmeinstellungen*

5.1.1 Speicherung der Programmeinstellwerte in der .INI-Datei

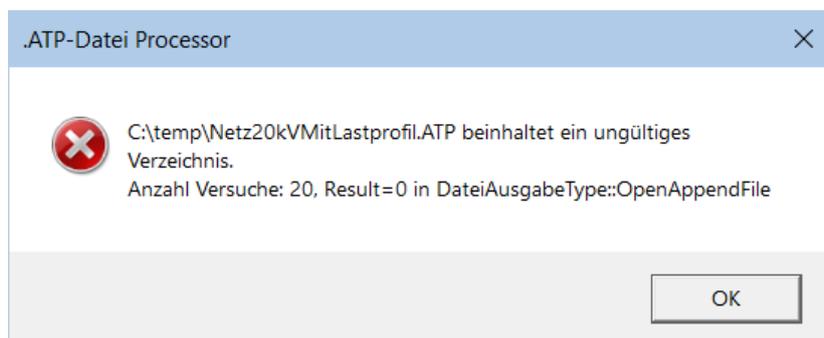
Die Einstellwerte des Dialogs werden in der **.INI-Datei ATPDesigner.ini** im Verzeichnis **c:\atpdesigner\exe** gespeichert.

Während jeden Programmstarts prüft ATPDesigner nach, ob in dem Arbeitsverzeichnis, d.h. dem Verzeichnis in dem die ausführbare Datei ATPDesigner.exe gespeichert ist, die **.INI-Datei** gespeichert ist.

- Wenn die .INI-Datei eingelesen werden kann, werden die darin enthaltenen Informationen verarbeitet.
- Ist die .INI-Datei nicht vorhanden oder kann nicht eingelesen werden, wird von ATPDesigner zum Programmende eine neue .INI-Datei erzeugt und in dem Arbeitsverzeichnis gespeichert. Die Inhalte der .INI-Datei werden von ATPDesigner während des Programmstarts automatisch erzeugt.
- Die .INI-Datei wird bei jedem Programmende gespeichert und ggfs. die Inhalte geändert.
- Ist die .INI-Datei fehlerhaft oder wurde die Installation von ATPDesigner in ein anderes Verzeichnis kopiert, so muss unbedingt vor dem ersten Programmstart die .INI-Datei gelöscht werden.

5.1.2 Verwendung des temporären Verzeichnisses von Windows

ATPDesigner und der Rechenkern ATP legen während einer Netzberechnung mehrere temporäre Dateien an. Dazu verwendet ATPDesigner das anwenderspezifische temporäre Verzeichnis des Betriebssystems. Ist das Verzeichnis nicht korrekt eingestellt, so kann der Rechenkern ATP die Netzberechnung nicht durchführen und es wird in aller Regel folgende Meldung ausgegeben. In diesem Fall war das temporäre Verzeichnis auf **c:\temp** eingestellt und nicht vorhanden. ATPDesigner hat daraufhin mehrfach (hier 20mal) versucht, die .LST-Datei in dem nicht vorhandenen Verzeichnis zu finden.



Als Abhilfe kann hier im Einstelldialog Programmeinstellungen ein beliebiges vorhandenes Verzeichnis als temporäres Verzeichnis eingestellt werden. Dazu kann ein Dialog zur Auswahl eines Verzeichnisses mit einem **Left Mouse Button Double Click** auf die Tabellenzeile, die den aktuell eingestellten Verzeichnisnamen anzeigt, geöffnet werden.

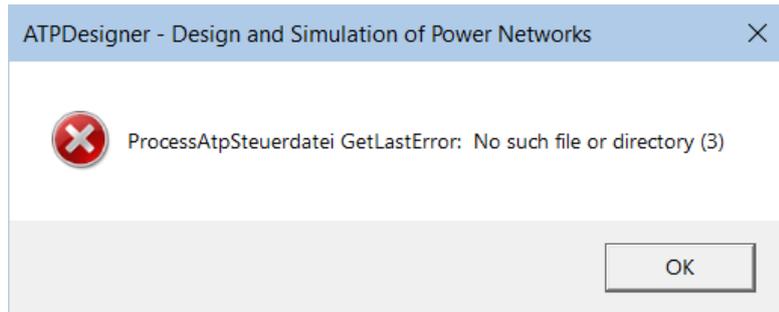


Abbildung 2: Falsche Einstellung des temporären Verzeichnisses - Fehlermeldungen

In der Grundeinstellung wird das temporäre Verzeichnis des Betriebssystems verwendet. Dies kann einfach mit einem **Left Mouse Button Click** auf die Taste **Temp. Verz.** erfolgen.

- ⇒ Es wird empfohlen, das temporäre Verzeichnis des Betriebssystems durch einen **Left Mouse Button Click** auf die Taste **Temp. Verz.** auszuwählen und zu verwenden.

Eine weitere Abhilfe ist das Beenden von ATPDesigner, das [Löschen der .INI-Datei](#) sowie der Neustart von ATPDesigner. Beim erneuten Start von ATPDesigner wird das temporäre Verzeichnis automatisch beim Betriebssystem erfragt und angewendet.

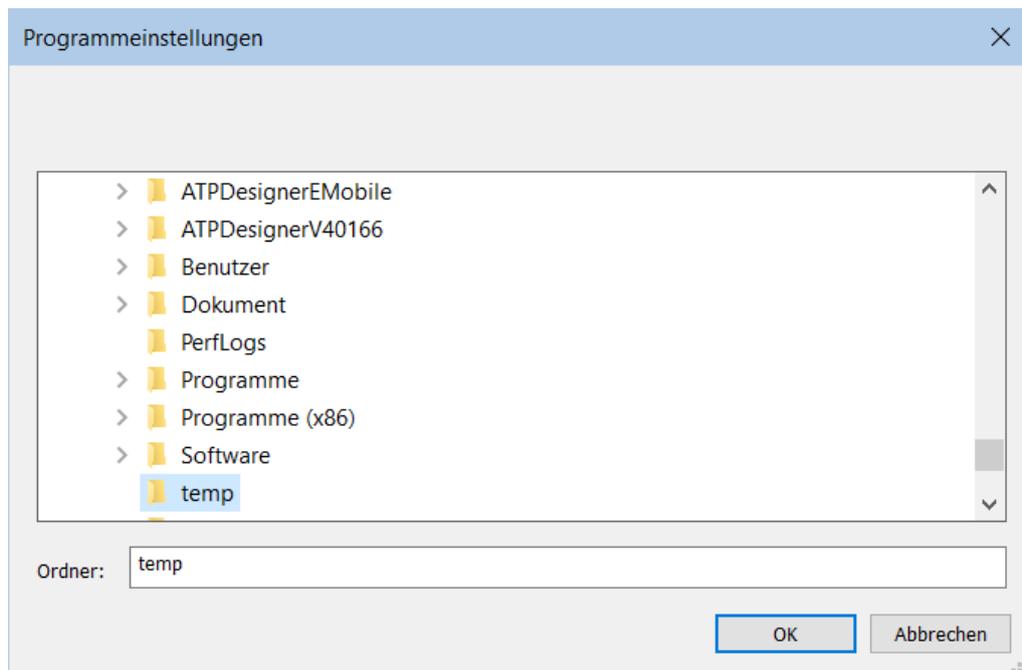


Abbildung 3: Dialog zur Auswahl des temporären Verzeichnisses

Dieses Fehlverhalten kann insbesondere dann auftauchen, wenn eine Installation von ATPDesigner von einem zu einem anderen Arbeitsrechner 100% identisch kopiert wird. Da das temporäre Verzeichnis in der .INI-Datei gespeichert ist, wird dieser dann in aller Regel falsche Einstellwert ebenfalls kopiert.

5.1.3 Programmeinstellungen zurücksetzen durch Löschen der .INI-Datei

Wurden Änderungen z.B. der Verzeichnisse vom Anwender vorgenommen, ohne die im nachfolgenden Einstelldialog enthaltenen Einstellwerte anzupassen, so kann es zu einem Fehlverhalten von ATPDesigner kommen. So könnte als Beispiel der Rechenkern **ATP** nicht mehr gestartet werden. Nachfolgend ist beispielhaft der Meldungsdialog abgebildet.

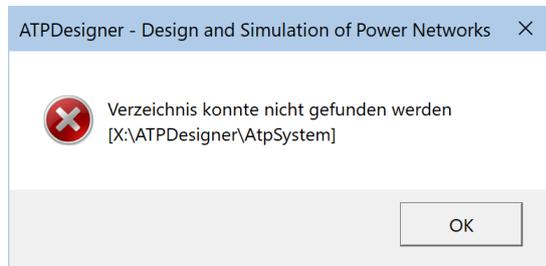


Abbildung 4: Fehlermeldung bei fehlendem Arbeitsverzeichnis

In diesem Fall empfiehlt es sich, das Netzberechnungsprogramm ATPDesigner zu beenden und die Initialisierungsdatei **ATPDesigner.ini**, die im **Arbeitsverzeichnis** von ATPDesigner gespeichert ist, manuell zu löschen. Die Datei **ATPDesigner.ini** wird beim nächsten Programmstart von ATPDesigner automatisch mit den dann gültigen Verzeichnissen etc. neu erstellt. Es wird empfohlen, die neuen Einstellwerte zu überprüfen.

Werden die im Setup von ATPDesigner empfohlenen Einstellungen beibehalten, so ist das **Arbeitsverzeichnis** wie folgt definiert.

```
..\atpdesigner\exe
```

5.1.4 Registerkarte *Programmeinstellungen*

In der nachfolgenden Tabelle sind die Bedeutungen der Einstellwerte erläutert.

Einstellwert	Bedeutung
Undo Schritte	Maximale Anzahl von Undo-Operationen
Hilfe	Format der zu ladenden Hilfedatei (.chm -Format)
.INI-Datei	Version der programmspezifischen Einstelldaten (Dateiname: ATPDesigner.ini im Arbeitsverzeichnis)
ATP .exe-Datei	<p>Name des ausführbaren Programms des ATP Rechenkerns mit der Dateierweiterung .exe</p> <p style="text-align: center;">TPGIGG64.EXE oder TPGIGI64.EXE</p> <p>Es wird davon ausgegangen, dass das ausführbare ATP Programm im Verzeichnis ATP Systemverzeichnis (Grundeinstellung c:\ATPDesigner\AtpSystem) gespeichert ist. Als Einstellwert muss hier einer der Programmnamen TPGIGG64.EXE oder TPGIGI64.EXE stehen. Weitere Hinweise zur Auswahl einer Kompilierungsversion des ATP sind in [Bd. 1] enthalten.</p> <p>⇒ Es wird das ATP-Programm TPGIGI64.EXE wegen der deutlich geringeren Rechenzeiten empfohlen.</p>

Texteditor	Texteditor, der zur Anzeige von Textdateien verwendet wird
Diagramviewer	Beim Öffnen eines Diagramms zur Darstellung der zeitlichen Verläufe der berechneten Spannungen und Leiterströme kann alternativ zum ATPDesigner internen Diagrammviewer ein externes Programm verwendet werden.
TT Schriftart	Schriftart zur Anzeige der Berechnungsergebnisse in Tooltips
TT Bk Farbe	Hintergrundfarbe zur Anzeige der Berechnungsergebnisse in Tooltips
TB Schriftart	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schriftart für Textelemente in den Toolbars und der Statusleiste ▪ Schriftart für die Bezeichner der Registerkarten der Projektinformationen
Menüstil	Der optische Stil der Anwendermenüs kann eingestellt werden.
ATP Datenverzeichnis	Arbeitsverzeichnis zur Speicherung temporärer Dateien Grundeinstellung: c:\ATPDesigner\Data
ATP Systemverzeichnis	Verzeichnis für das ATP Programm z.B. TPBIG.EXE und weitere ATP spezifische Dateien z.B. die Konfigurationsdatei STARTUP Grundeinstellung: c:\ATPDesigner\AtpSystem
Arbeitsverzeichnis	Verzeichnis in dem u.a. ATPDesigner für alle Sprachvarianten, die .INI-Datei ATPDesigner.ini mit programspezifischen Informationen und die Lizenzdatei ATPDesignerLic.ini gespeichert sind.
Windowsverzeichnis	Verzeichnis des Betriebssystems Windows®.
Lastprofilverzeichnis	Verzeichnis in dem die .CSV-Dateien mit Lastprofilen gespeichert sind. Für das Netzwerkelement Erzeugungsanlage - (DEA) kann in der Registerkarte Lastprofil ein für das Netzwerkelement spezifisches Unterverzeichnis festgelegt werden.
<u>Temporäres Verzeichnis</u>	Verzeichnis für das Speichern temporärer Dateien Vorzugsweise wird von ATPDesigner das Windows-Verzeichnis verwendet, welches für den Windows-User von Windows als temporäres Verzeichnis verwendet wird. Mit einem Left Mouse Button Click auf die Zeile mit dem Bezeichner Temporäres Verzeichnis kann das Verzeichnis geändert werden.
Temp. Verz.	Das Verzeichnis zur Speicherung der temporären Dateien von ATPDesigner und ATP wie z.B. die .ATP-Datei wird mit einem Left Mouse Button Click auf das anwenderspezifische temporäre Verzeichnis des Betriebssystems Windows eingestellt.
Anwenderspezifischer Key für die Verschlüsselung der .NET-Dateien aktivieren	<p>Falls aktiviert werden die verschlüsselt gespeicherten .NET-Dateien (Dateierweiterung .BNET) mit einem anwenderspezifischen Key entschlüsselt und verschlüsselt.</p> <p>Vorsicht !!! Bei Verlust des anwenderspezifischen Passwortes ist eine Entschlüsselung von damit verschlüsselten .NET-Dateien (Dateierweiterung .BNET) nicht möglich, auch nicht durch das Entwicklungsteam. Es ist keine Backdoor in ATPDesigner vorhanden.</p> 

Letzte .NET-Datei automatisch laden	Eine beim letzten Programmende noch offene .NET-Datei wird beim nächsten Programmstart automatisch eingelesen.
Lizenzdateiverzeichnis	Das Verzeichnis, in dem die Lizenzdatei ATPDesignerLic.ini gespeichert ist, kann eingestellt werden.
Handbuch	Verknüpfung einer Datei mit dem Hilfe -Button Es wird empfohlen, das integrierte Handbuch von ATPDesigner als PDF-Datei mit dem Hilfe -Button zu verknüpfen. Durch einen Left Mouse Button Double Click auf den Dateinamen kann mit Hilfe des Browsers eine Datei ausgewählt werden.

5.1.4.1 Änderung des Verzeichnisses der Lizenzdatei: *Lizenzdateiverzeichnis*

Der in der **.INI-Datei** enthaltene Einstellwert **Lizenzdateiverzeichnis** wird von ATPDesigner verwendet, um während des Programmstartes die Lizenzdatei einzulesen, auf Korrektheit der Lizenz zu prüfen und im Erfolgsfall die Verwendung von ATPDesigner freizuschalten.

- ⇒ Wird die Lizenzdatei in ein anderes Verzeichnis verschoben, so muss zwingend vor dem nächsten Programmstart das neue Verzeichnis in der .INI-Datei von Hand angepasst und auf Existenz kontrolliert werden.
- ⇒ Es ist auch möglich, vor dem Programmende den Einstellwert **Lizenzdateiverzeichnis** zu verändern. Bei Programmende werden dann der neue Einstellwert in der .INI-Datei gespeichert.

5.1.5 Registerkarte Webserver

Der nachfolgende Einstelldialog zeigt die Einstellwerte des in ATPDesigner integrierten Webserver in der Registerkarte **Webserver** des Einstelldialogs **Programmeinstellungen**.

- Hauptmenü **Tools**
- Menüpunkt **Webserver, Einstellwerte Webserver**
- Menüpunkt **Programmeinstellungen, Registerkarte Webserver**

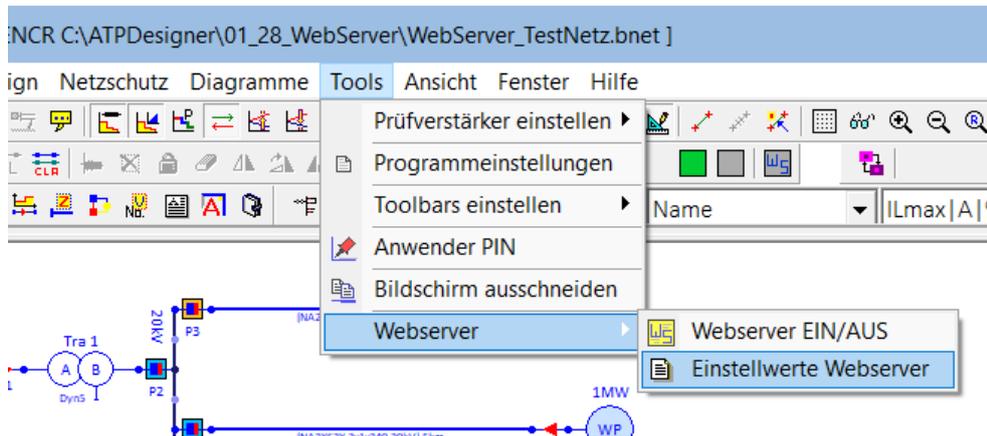
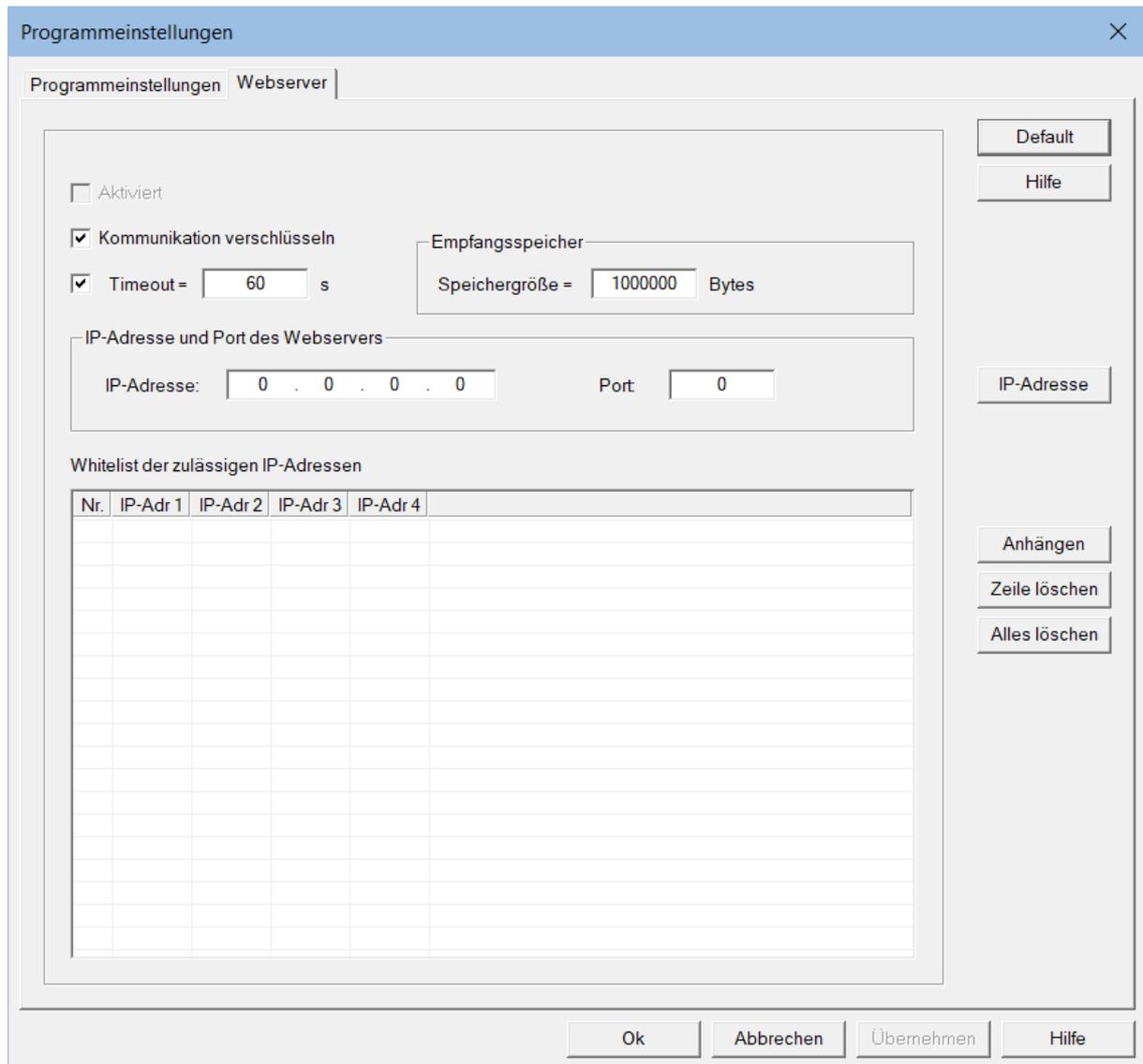


Abbildung 5: Aktivieren des Webserver

Der Webserver wird von ATPDesigner in einem parallelen Thread gestartet, so dass ATPDesigner bei aktiviertem Webserver weiter bedient werden kann. Mit Hilfe der Technologie des Multithreading ist es möglich, gleichzeitig ATPDesigner zu bedienen, um z.B. Einstellwerte zu verändern und im Sinne eines Servers die Kommunikation mit Webclients zu überwachen, Anfragen eines Webclients (Request) zu empfangen, zu verarbeiten, Verarbeitungsprozesse zu starten und zu beantworten (Response).

- ⇒ Es muss unbedingt beachtet werden, dass ATPDesigner Verarbeitungsprozesse, die durch den Webserver gestartet werden, parallel zu manuellen Bedienhandlungen und dadurch ggfs. gestarteten Verarbeitungsprozessen bearbeitet. Es kann daher zu Konflikten bei der Ausführung von Verarbeitungsprozessen kommen.
- ⇒ Kann ein neuer Verarbeitungsprozess, der durch den Webserver per Anfrage (Request) gestartet werden soll wegen eines schon anderen laufenden Verarbeitungsprozesses nicht gestartet werden, wird der neue Verarbeitungsprozess verworfen. Es erfolgt keine Speicherung des verworfenen Auftrages (Request) mit ggfs. zeitlich nachgelagerter Ausführung. Der Webclient muss den Auftrag (Request) erneut ausführen.

ATPDesigner stellt dem Anwender einen Webserver mit einem http-basierten **Rest-API** zur Verfügung. Webserver und http-basiertes **Rest-API** werden in Band [Bd. 3] näher erläutert.

Abbildung 6: Registerkarte **Webserver** – Einstelldialog des integrierten Webservers

Einstellwert	Bedeutung
Kommunikation verschlüsseln	Die vom Webclient empfangenen Daten sowie die zum Webclient gesendeten Daten werden mit dem Blowfish-Algorithmus entschlüsselt bzw. verschlüsselt. ⇒ Die Verschlüsselung muss deaktiviert sein, wenn das http-basierte Rest-API verwendet wird. ⇒ Die Blowfish-basierte Verschlüsselung darf nicht mit dem https-Protokoll verwechselt werden, ist kein Ersatz für das https-Protokoll.
Timeout	Mit jedem Empfang eines gültigen http-Request (Auftrag) des Webclients wird ein Timeout als retriggerbare Zeitstufe erneut gestartet. Nach Ablauf der Zeitstufe wird der Webserver automatisch deaktiviert. Der Timeout kann zusätzlich zur Whitelist als weitere Sicherheitsstufe verwendet werden.
Whitelist der zulässigen IP-Adressen	Liste der zulässigen IP4-Adressen des Webclient

	⇒ Wird eine Anfrage (http-Request) von einem Webclient empfangen, dessen IP-Adresse nicht in der Liste enthalten ist, wird die Anfrage (http-Request) verworfen.
Default	Grundeinstellung des Einstelldialogs laden
IP-Adresse	Die IP4-Adresse des Netzwerkadapters des Webserver wird ermittelt und im Meldungsfenster angezeigt.

Einstellwert	Gruppe <i>IP-Adresse und Port des Webserver</i>
IP-Adresse	IP4-Adresse des Webserver
Port	Port des Webserver

Einstellwert	Gruppe <i>Whitelist der zulässigen IP-Adresse</i>
Anhängen	Neue Eingabezeile an die Tabelle anhängen
Zeile löschen	Markierte Zeile aus der Tabelle löschen
Alles löschen	Alle Zeilen der Tabelle löschen

Einstellwert	Gruppe <i>Empfangsspeicher</i>
Speichergröße	Speichergröße des Empfangsspeichers Ist die empfangene .JSON- oder .CSV-Datei zu groß, wird im Meldungsfenster eine Fehlermeldung ausgegeben. Der Empfangsspeicher muss insbesondere dann geeignet angepasst werden, wenn z.B. eine .NET-Datei als Base64 codierte Zeichenkette in der JSON-Prognosedatei enthalten ist.

5.1.5.1 Webserver: Start des Webserver

Der Webserver kann wie folgt gestartet werden.

- Hauptmenü **Tools**
- Menüpunkt **Webserver, Webserver EIN/AUS**

mit dem Toolbar-Button



Konnte der Webserver erfolgreich gestartet werden, so werden die nachfolgend dargestellten Meldungen im Meldungsfenster ausgegeben.

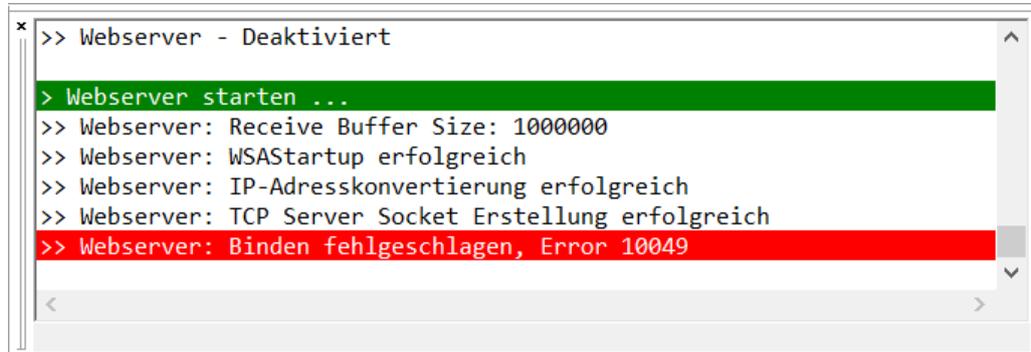
```

> Webserver starten ...
>> Webserver: Receive Buffer Size: 1000000
>> Webserver: WSStartup erfolgreich
>> Webserver: IP-Adresskonvertierung erfolgreich
>> Webserver: TCP Server Socket Erstellung erfolgreich
>> Webserver: Binden erfolgreich
>> Webserver: Abhören erfolgreich
>> Webserver: Warte auf Client zum Verbindungsaufbau ...

```

Abbildung 7: Webserver – Meldung des erfolgreichen Startes

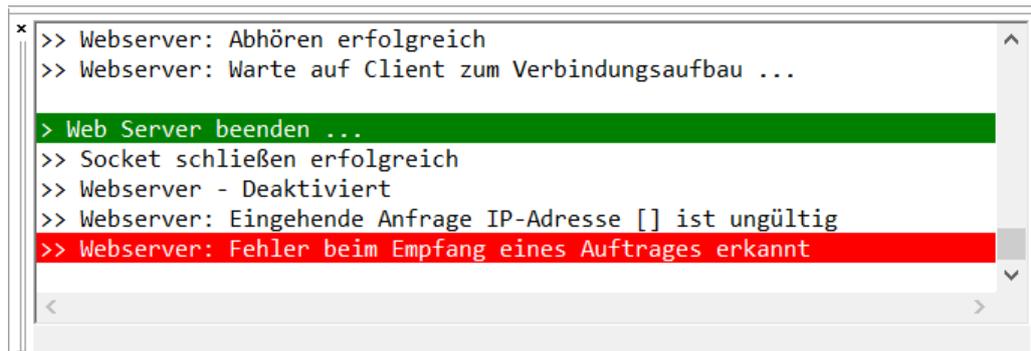
Konnte der Webserver nicht gestartet werden, weil z.B. die IP-Adresse des Webserver im Einstelldialog nicht korrekt ist, so werden die nachfolgend dargestellten Meldungen im Meldungsfenster ausgegeben.



```
x >> Webserver - Deaktiviert
> Webserver starten ...
>> Webserver: Receive Buffer Size: 1000000
>> Webserver: WSASStartup erfolgreich
>> Webserver: IP-Adresskonvertierung erfolgreich
>> Webserver: TCP Server Socket Erstellung erfolgreich
>> Webserver: Binden fehlgeschlagen, Error 10049
```

Abbildung 8: Webserver – Meldung falls kein Start des Webserver möglich

Wird ein erfolgreich gestarteter Webserver deaktiviert, so werden die nachfolgend dargestellten Meldungen im Meldungsfenster ausgegeben.



```
x >> Webserver: Abhören erfolgreich
>> Webserver: Warte auf Client zum Verbindungsaufbau ...
> Web Server beenden ...
>> Socket schließen erfolgreich
>> Webserver - Deaktiviert
>> Webserver: Eingehende Anfrage IP-Adresse [] ist ungültig
>> Webserver: Fehler beim Empfang eines Auftrages erkannt
```

Abbildung 9: Webserver - Meldung der Deaktivierung

5.1.6 Zugangsschutz mit einem Anwender PIN

ATPDesigner bietet die Möglichkeit, die Bedienung durch einen Anwender PIN und ein anwenderspezifisches Timeout zu sperren.

Einstellwert	Bedeutung
Anwender PIN Text	Text des PIN Es sind maximal 250 Zeichen aus dem folgenden Zeichen- vorrat erlaubt: 0123456789 ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ abcdefghijklmnopqrstuvwxyz !\$\$&/()=?[]{}öü;,:_+*#'\%
Anwender PIN sichtbar	Der Text kann lesbar angezeigt werden.
Anwender PIN Timeout	Nach Ablauf des Timeouts wird ATPDesigner für weitere Bedienhandlungen gesperrt. Es muss dann der Anwender PIN Text eingegeben werden.

Ist der Timeout abgelaufen, so wird die Netzgrafik hellgrau eingefärbt und ein Eingabedialog für den **Anwender PIN** angezeigt. Durch Eingabe des Anwender PIN wird die Netzgrafik neu gezeichnet und ATPDesigner kann weiter bedient werden.

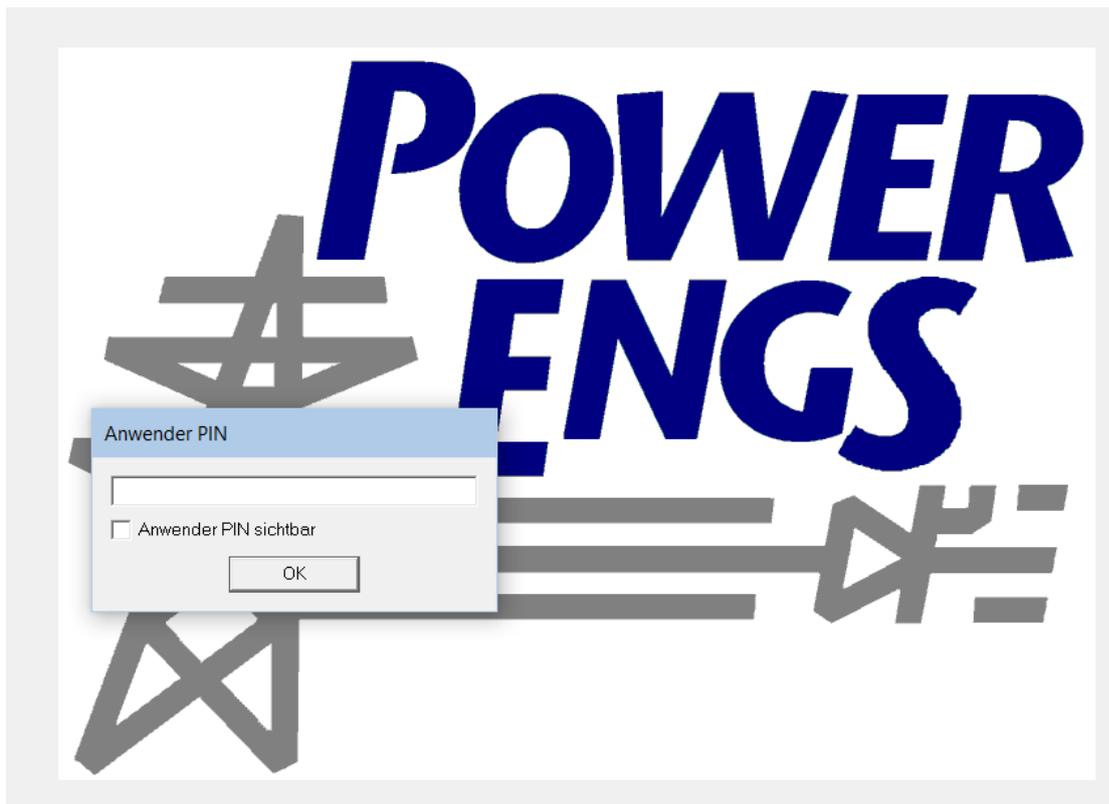


Abbildung 10: Anwender PIN – Sperrbildschirm nach Ablauf des Timeouts

5.1.6.1 Zugangsschutz - Tastenkürzel Strg + linke Window-Taste

Der Zugangsschutz kann mit dem Tastenkürzel **Strg + linke Windows-Taste** oder über folgenden Menüpunkt aktiviert werden:

- Hauptmenü **Tools**

- Menüpunkt **Anwender PIN**



5.1.7 Einlesen, Verarbeiten und Speichern der Einstellungen der .INI-Datei

ATPDesigner liest während des Programmstartes die Einstellwert aus der .INI-Datei ein und speichert diese intern. Durch das Öffnen des Einstelldialoges [Programmeinstellungen](#) im Hauptmenü **Tools** können die meisten Einstellwerte verändert werden. Das Speichern der Einstellwerte erfolgt automatisch beim Beenden von ATPDesigner. Die Einstellwerte können vom Anwender manuell nicht gespeichert werden.

5.1.8 Einlesen einer inkompatiblen oder defekten .INI-Datei

Erkennt ATPDesigner eine inkompatible **.INI-Datei** z.B. anhand der Versionsnummer **VersionIniFile**, so wird die .INI-Datei nicht eingelesen. ATPDesigner verwendet automatisch die im Programm implementierten Grundeinstellungen und schreibt diese während des Beendens des Programmes in eine neue kompatible .INI-Datei. Eine inkompatible Version der .INI-Datei wird durch eine Fehlermeldung wie nachfolgend dargestellt angezeigt.

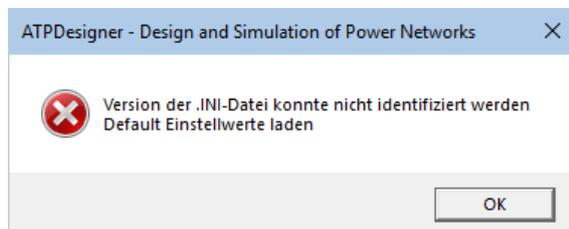


Abbildung 11: Fehlermeldung nach dem Erkennen einer inkompatiblen .INI-Datei

Die Mehrheit der Grundeinstellungswerte der .INI-Datei werden in dem Einstelldialog [Programmeinstellungen](#) nach einem **Left Mouse Button Click** auf den Button Default angezeigt und können vom Anwender geändert werden.

5.1.9 Aufbau und Inhalt der .INI-Datei

Nachfolgend wird beispielhaft Aufbau und Struktur der **.INI-Datei** der Version 3.5 vom 16.02.2023 beschrieben.

```
[ATPDesigner - Design and Simulation of Power Networks]
VersionIniFile=Version INI File 3.5 - 16.02.2023
VersionATPDesigner=Version 4.01.88 - 31.03.2023
AtpDesignerFolder=C:\Users\Michael Igel\Desktop\Test
AtpDataFolder=C:\ATPDesigner\Data
CmEngineDllFolder=C:\
AtpFolder=C:\ATPDesigner\AtpSystem
AtpLoadProfilesFolder=C:\ATPDesigner\Exe\LoadProfiles
```

```

AtpLicenseFileFolder=C:\ATPDesigner\Exe\
AtpTempFolder=C:\Users\MICHAE~1\AppData\Local\Temp\
AtpBrowserFolder=C:\ATPDesigner\Data
AtpExeFilename=TPGIGI64.EXE
GraphicViewerFilename=C:\ATPDesigner\AtpSystem\PLOTXY.EXE
TxtEditorFilename=NOTEPAD.EXE
TxtEditorFolder=C:\WINDOWS
AutoLoadNetFileEnabled=1
ComtradeViewerEnabled=0
WindSynFilename=C:\ATPDesigner\AtpSystem\WINDSYN.EXE
WTrafo2Filename=C:\ATPDesigner\AtpSystem\WTRAFOS2.EXE
WTrafo3Filename=C:\ATPDesigner\AtpSystem\WTRAFOS3.EXE
ElineQFilename=C:\ATPDesigner\AtpSystem\ELINEQ.EXE
MenuStyle=2
TaskPriority=1
UpdateCheck=0
AnimatedCursorSimulation=-1
AnimatedCursorFileHandling=-1
DiagramFrameColor=15790320
DiagramBkColor=16777215
DiagramCursorLDownColor=255
DiagramCursorRDownColor=8421504
DiagramAxisColor=0
DiagramPenThickness=2
DiagramAxisPenThickness=1
DiagramCursorPenThickness=2
DiagramDecimalPointStatusBar=2
DiagramDFTWindow=1 Cycle
DiagramDFTFrequency=50.000000
NetworkGridEnabled=1
NetworkGridDx=4
NetworkGridDy=4
NetworkGridOffsetX=0
NetworkGridOffsetY=0
NetworkGridColor=8421504
CopyToClipboardOpMode=2
CopyToClipboardCellSeparation=,
MaxNoUndoSteps=5
TooltipFontSize=-27
TooltipFont=Consolas
TooltipFontColor=0
TooltipFontBkColor=15204351
ToolbarFontSize=-27
ToolbarFont=Calibri Light
ToolbarFontColor=0
ToolbarFontBkColor=15204351
HelpFile=1
TabbedMDI=1
ControlBar=1
UTC DT=1.000000
COLMAIN=16777215
COLPROT=16777215
COLATP=16777215
COLKI=16777215
äÿÿÿ      ☒      _____1Consolas
äÿÿÿ      ☒      _____1Consolas
äÿÿÿ      ☒      _____1Consolas
ïÿÿÿ      ☒      Consolas
ïÿÿÿ      ☒      Consolas
    
```

äyÿÿ , _____"Calibri Light
EquationNumber=0

[EquationData]

5.1.9.1 Automatische Konvertierung nach COMTRADE

Die **Diagrammdatei**, welche die Daten zum Aufbau der Diagramme beinhaltet, wird automatisch in eine Datei des Formates **COMTRADE** [25] konvertiert, bevor ein Diagramm erzeugt wird.

5.1.9.2 Registerkarten

Zwischen den Anzeigefenstern der Netzgrafik können im unteren Rand des Hauptfensters von ATPDesigner angeordnete Registerkarten umgeschaltet werden.

5.1.9.3 Letzte .NET-Datei automatisch laden

Ist diese Option aktiviert, wird beim Beenden von ATPDesigner Verzeichnis und Dateiname der .NET- Datei der obersten sichtbaren Netzgrafik (**Top Most View**) gespeichert und beim nächsten Programmstart automatisch geladen und angezeigt.

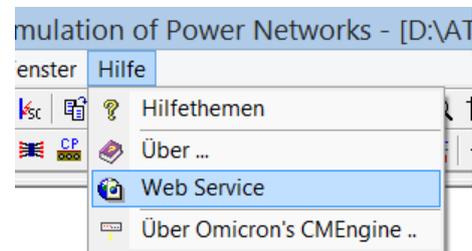
5.1.9.4 Updates prüfen

Wenn diese Option aktiv ist, überprüft ATPDesigner bei jedem Programmstart, ob eine neue Version auf dem Update-Server zum Download zur Verfügung steht.

Ist die Option **Updates prüfen** aktiv, so kann in Netzwerken, in denen z.B. Proxy-Server eingesetzt werden, der Verbindungsaufbau zum Update-Server erfolglos sein. Dieser erfolglose Verbindungsaufbau kann u.U. mehrere Minuten andauern, bevor er abgebrochen und eine entsprechende Fehlermeldung angezeigt wird. In diesem Fall empfiehlt es sich, die Option zu deaktivieren.

Die Überprüfung, ob neue Updates zur Verfügung stehen, kann wie im Bild gezeigt, auch manuell erfolgen.

Weiteres kann in **ATPDesigner – Homepage, Web Services, ...** nachgelesen werden.



5.1.9.5 Task Priorität

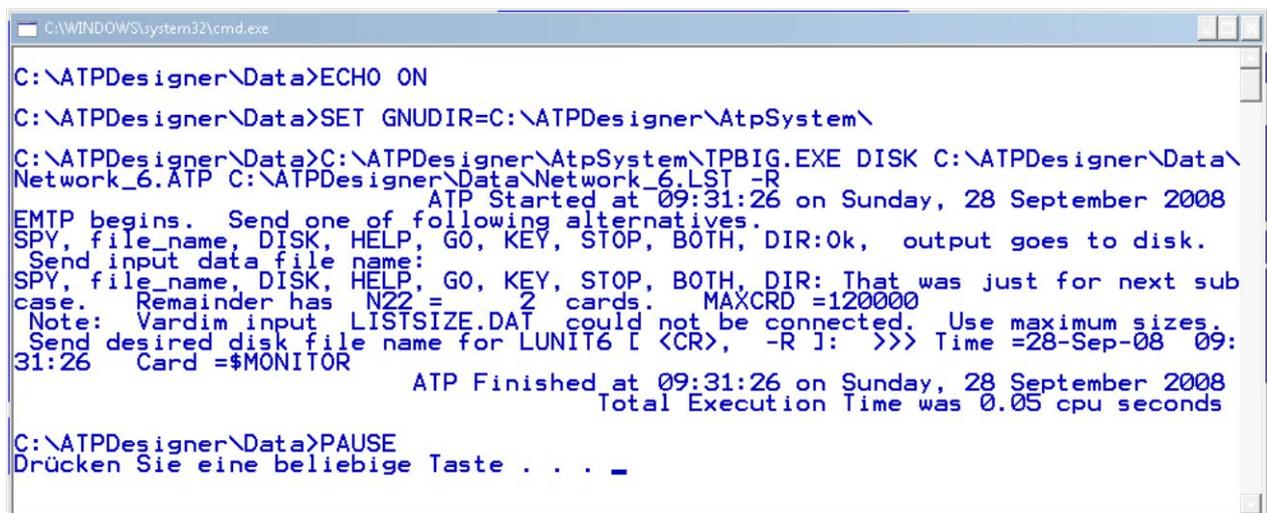
Das Netzberechnungsprogramm **ATP** wird von der grafischen Benutzeroberfläche ATPDesigner als Hintergrund-Job gestartet. Dabei können vom Anwender unterschiedliche Verfahren gewählt werden. Grundsätzlich sollte, während der Arbeitsphase des **ATP** jegliche Bedienhandlungen in ATPDesigner vermieden werden.

Einstellwert	Bedeutung
High Normal	Das ATP wird als Task (Thread) im Hintergrund gestartet. Solange die Task aktiv ist, kann ATPDesigner nicht bedient werden. Die Task wird in der Taskbar des Betriebssystems als Icon angezeigt. Die Anzeige des Icons kann im Einstelldialog Einstellungen Elektrisches Netz , Registerkarte Einstellungen ATP , Einstellwert CreateProcess Fenster aktiviert oder deaktiviert werden. Aus Laufzeitgründen wird die Deaktivierung des Taskbar Symbols empfohlen.
Dos-Box	ATPDesigner erzeugt einen .BAT-Job (.CMD-Job), speichert diesen auf dem Massenspeicher ab und startet ihn als Konsole-Anwendung im Kommandoprozessor. Der .BAT-Job wird automatisch nach Beendigung geschlossen.
Dos-Box Pause	ATPDesigner erzeugt einen .BAT-Job (.CMD-Job), speichert diesen auf dem Massenspeicher ab und startet ihn als Konsole-Anwendung im Kommandoprozessor. Der .BAT-Job wird automatisch nach Beendigung nicht geschlossen, sondern von einem PAUSE-Kommando angehalten. Der Anwender kann nun ggfs. angezeigte Ausgaben des ATP prüfen. Diese Option kann genutzt werden, um beim Start des ATP auftretende Fehler näher zu analysieren.

5.1.9.5.1 Inhalt des .Bat-Job (CMD.Job)

Nachfolgend der Inhalt des .Bat-Job (.CMD-Job), der von ATPDesigner automatisch angelegt wird.

```
ECHO ON
SET GNUDIR=C:\ATPDesigner\AtpSystem\
%GNUDIR%tpbig.exe DISK C:\ATPDesigner\Data\Network.atp
C:\ATPDesigner\Data\Network.lst -R
PAUSE
DEL dum*.bin
DEL *.tmp
```

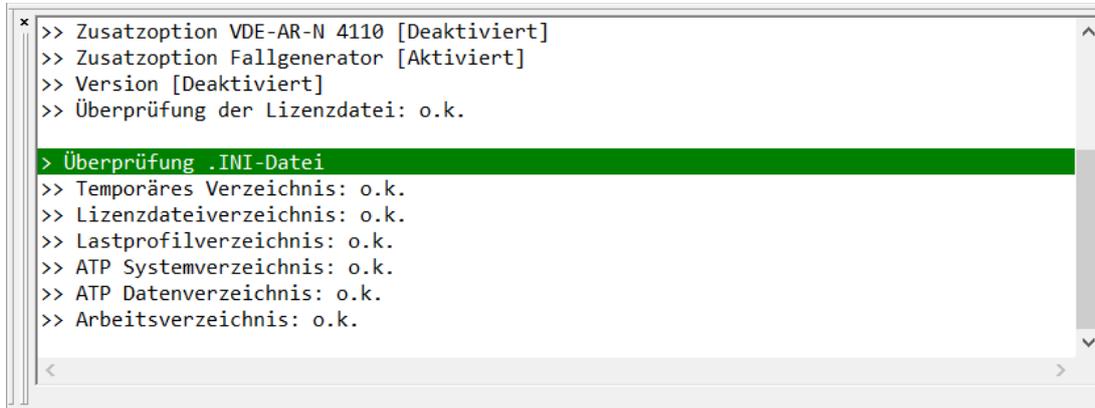


```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\ATPDesigner\Data>ECHO ON
C:\ATPDesigner\Data>SET GNUDIR=C:\ATPDesigner\AtpSystem\
C:\ATPDesigner\Data>C:\ATPDesigner\AtpSystem\TPBIG.EXE DISK C:\ATPDesigner\Data\
Network_6.ATP C:\ATPDesigner\Data\Network_6.LST -R
ATP Started at 09:31:26 on Sunday, 28 September 2008
EMTP begins. Send one of following alternatives.
SPY, file_name, DISK, HELP, GO, KEY, STOP, BOTH, DIR:0k, output goes to disk.
Send input data file name:
SPY, file_name, DISK, HELP, GO, KEY, STOP, BOTH, DIR: That was just for next sub
case. Remainder has N22 = 2 cards. MAXCRD =120000
Note: Vardim input LISTSIZE.DAT could not be connected. Use maximum sizes.
Send desired disk file name for LUNIT6 [ <CR>, -R ]: >>> Time =28-Sep-08 09:
31:26 Card =$MONITOR
ATP Finished at 09:31:26 on Sunday, 28 September 2008
Total Execution Time was 0.05 cpu seconds
C:\ATPDesigner\Data>PAUSE
Drücken Sie eine beliebige Taste . . . -
```

Abbildung 12: Ausgabe von Meldungen des ATP in der Konsole-Anwendung

5.1.10 Überprüfung der Verzeichnisse der Programmeinstellungen

Die Verzeichnisse, die im Einstelldialog **Programmeinstellungen** in der Tabelle enthalten sind, werden unmittelbar nach dem Programmstart überprüft. Sind Verzeichnisse ggfs. nicht mehr vorhanden werden Fehlermeldungen mit einer MessageBox und im **Meldungsfenster** angezeigt.



```

x >> Zusatzoption VDE-AR-N 4110 [Deaktiviert]
  >> Zusatzoption Fallgenerator [Aktiviert]
  >> Version [Deaktiviert]
  >> Überprüfung der Lizenzdatei: o.k.
  > Überprüfung .INI-Datei
  >> Temporäres Verzeichnis: o.k.
  >> Lizenzdateiverzeichnis: o.k.
  >> Lastprofilverzeichnis: o.k.
  >> ATP Systemverzeichnis: o.k.
  >> ATP Datenverzeichnis: o.k.
  >> Arbeitsverzeichnis: o.k.
  
```

Abbildung 13: Überprüfung der Verzeichnisse des Einstelldialogs **Programmeinstellungen**

5.1.11 ATPDesigner mit integriertem Webserver

ATPDesigner stellt einen integrierten **Webserver** zur Verfügung, um z.B. Netzberechnungen durch eine IP-basierte Kommunikation ausführen zu können.

„Ein Webserver ist eine Einheit aus Software und Hardware, die HTTP und andere Protokolle verwendet, um auf Kundenanfragen zu antworten, die über das Internet eingehen.“ (Quelle: www.computerweekly.com)

ATPDesigner verwendet eine IP-basierte Kommunikation, derzeit aber kein HTTP- oder HTTPS-Protokoll.

Einstellwert	Bedeutung
IP-Adresse	IP-Adresse des Netzwerkadapters
Port	zur IP-Adresse gehörende Port
Kommunikation verschlüsseln	Verschlüsselung des Datenverkehrs
Timeout	Timeout zum Deaktivieren des Webserver Der Timeout wird mit jedem eingehenden Protokoll gestartet. Nach Ablauf wird der Webserver deaktiviert.

Die IP-Adressen des Netzwerkadapters können mit eine **Left Mouse Button Click** auf die Taste IP Adresse ermittelt und im **Meldungsfenster** ausgegeben werden.

5.2 Allgemeine Eigenschaften der Einstelldialoge

ATPDesigner bietet dem Anwender die Möglichkeit, neben dem anwenderspezifischen Namen mit begrenzter Zeichenanzahl auch einen erweiterten anwenderspezifischen Text für ein Netzwerkelement einzugeben.

5.2.1 Anwenderspezifischer Name für ein Netzwerkelement

Der anwenderspezifische Name kann für ein Netzwerkelement im Eingabefeld **Name** im Einstelldialog eingegeben werden. Der anwenderspezifische Name kann maximal 256 Zeichen umfassen.

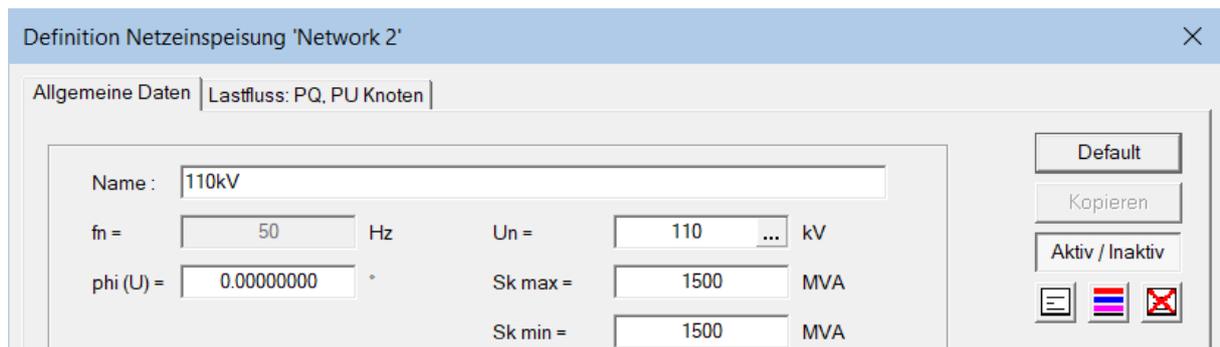


Abbildung 14: Anwenderspezifischer Name für ein Netzwerkelement

5.2.1.1 Ausgabe der anwenderspezifischen Namen in der Netzgrafik

Die anwenderspezifischen Namen aller Netzwerkelemente werden direkt in der Netzgrafik am Netzwerkelement ausgegeben, wenn der Toolbar Taste  durch eine **Left Mouse Button Click** eingeschaltet wird. Ist die Option ausgeschaltet, können alternative Bezeichner (Alias) für die Netzwerkelemente angezeigt werden. Damit ist eine anonymisierte Beschriftung der Netzwerkelemente in der Netzgrafik möglich.

- Hauptmenü **Netzwerk**, Menüpunkt **Namen anzeigen**

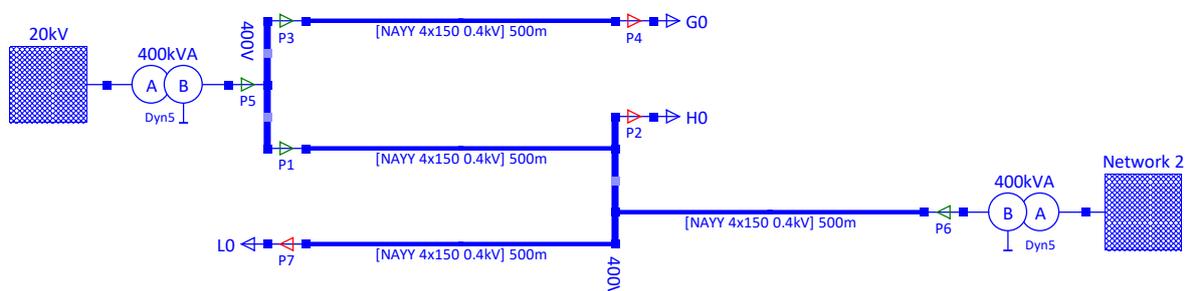


Abbildung 15: Ausgabe anwenderspezifischer Namen in der Netzgrafik

5.2.1.2 Ausgabe der anwenderspezifischen Namen für Leitungen

Die anwenderspezifischen Namen für **Leitungen** werden dann direkt in der Netzgrafik ausgegeben, wenn

1. die Ausgabe anwenderspezifischer Namen für alle Netzwerkelemente  und

2. die Ausgabe anwenderspezifischer Namen für Leitungen 
Hauptmenü **Netzwerk**, Menüpunkt **Name für Leitungen anzeigen**

eingeschaltet ist. Die nachfolgende Abbildung zeigt beispielhaft das Nicht-Anzeigen der anwenderspezifischen Namen für Leitungen.

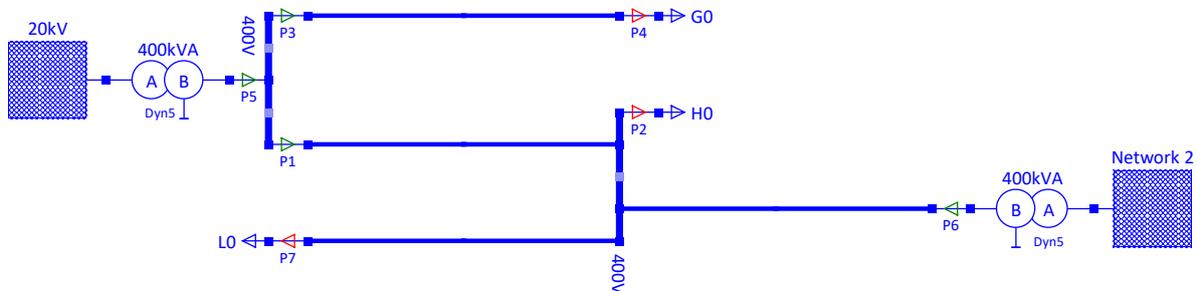


Abbildung 16: Nicht-Anzeigen der anwenderspezifischen Namen für Leitungen

5.2.1.3 Ausrichtung des anwenderspezifischen Namens

Die Ausrichtung des Namens relativ zu dem gezeichneten grafischen Abbild des Netzwerkelementes kann mit Hilfe des kontextsensitiven **Right Mouse Button Menu** für ausgewählte Netzwerkelemente verändert werden.

- Das Netzwerkelement mit einem **Left Mouse Button Click** **markieren**
- Das kontextsensitive Menü mit einem **Right Mouse Button Click** öffnen
- Falls vorhanden, den letzten Menüpunkt mit dem Namen des Netzwerkelementes **Verbraucherlast** wie nachfolgend gezeigt öffnen und einen der Menüpunkte mit einem **Left Mouse Button Click** anwählen

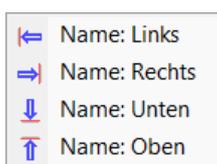


Abbildung 17: Ausrichtung des anwenderspezifischen Namens verändern

Es muss dabei beachtet werden, dass die Positionen des Namens **Links**, **Rechts**, **Unten** und **Oben** sich in der Netzgrafik relativ zur Zeichenorientierung des grafischen Abbildes des Netzwerkelementes ergeben.

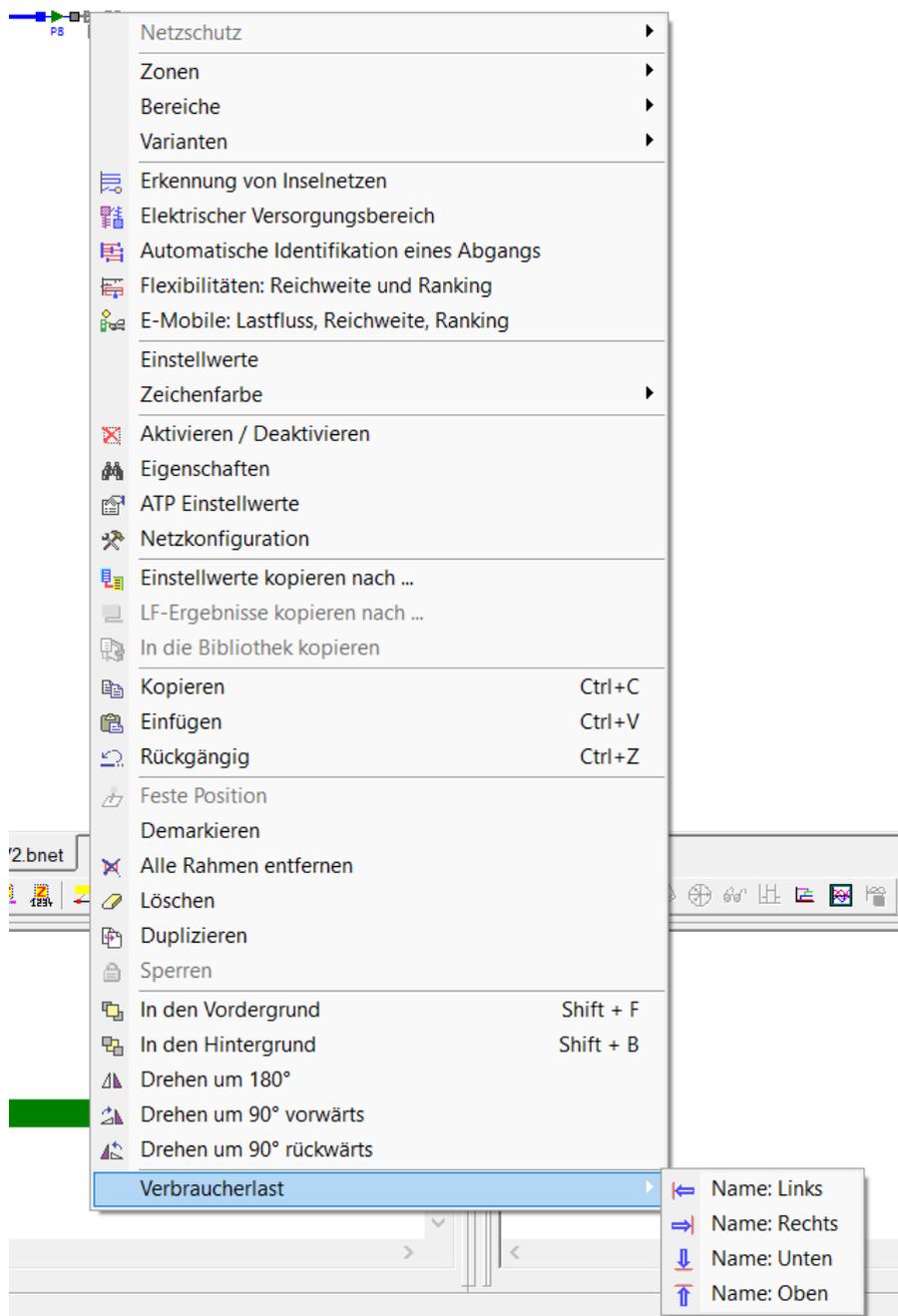


Abbildung 18: Position des Namens für eine Verbraucherlast ändern

Die Ausrichtung der anwenderspezifischen Namen kann ggfs. auch mit Hilfe des **Mouse Wheel** erfolgen.

1. Netzwerkelement mit einem Left **Mouse Button Click** markieren
2. Position des anwenderspezifischen Namens des Netzobjektes durch Drehen des Mauserades, d.h. am **Mouse Wheel** verändern.

5.2.1.4 Anzeige von Kurzinformatoren in einem Tooltip

Ist die Ausgabe der anwenderspezifischen Namen in der Netzgrafik ausgeschaltet, so wird eine Kurzinformatoren in einem Tooltip angezeigt, wenn der Mauscursor über dem Netzwerkelement positioniert wird.

- ⇒ Die Ausgabe der Kurzinformatoren erfolgt nur dann, wenn die Ausgabe der anwenderspezifischen Texte ausgeschaltet ist.

5.2.2 Anwenderspezifischer Text für ein Netzwerkelement

Anwender können zusätzliche zum anwenderspezifischen Namen einen anwenderspezifischen Text für ein Netzwerkelement eingeben. Der Eingabedialog kann mit Hilfe des Buttons  im Einstelldialog oder durch einen **Left Mouse Button Double Click** auf das Eingabefeld **Name** geöffnet werden.

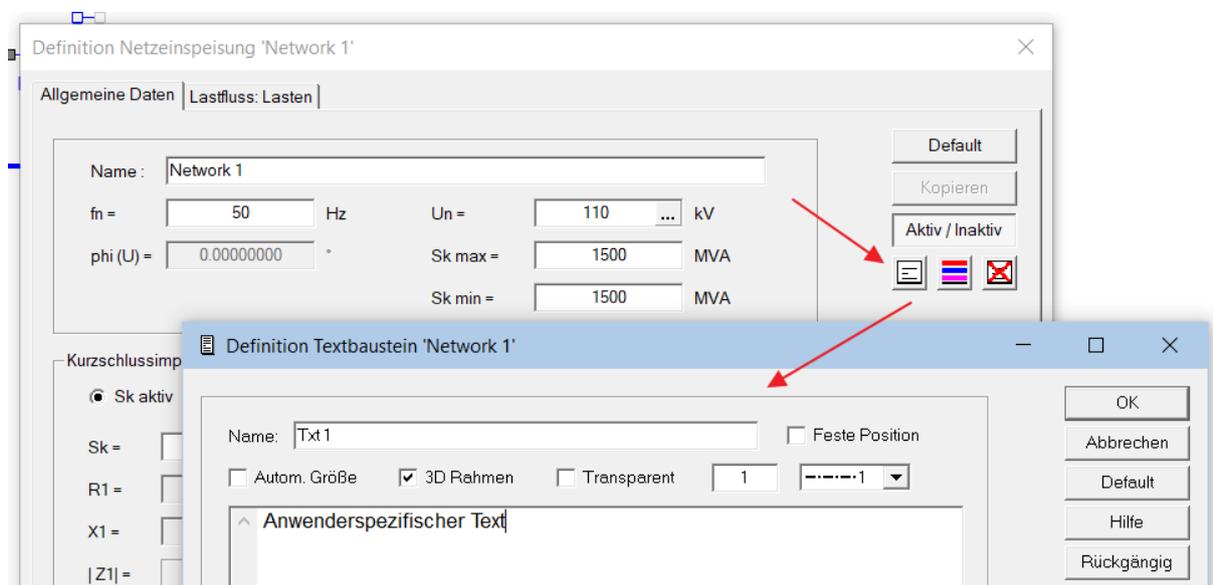


Abbildung 19: Eingabe eines anwenderspezifischen Textes

Der Eingabedialog entspricht dem Standardelement **Textbaustein**. Es kann ein Text eingegeben, Schriftart, Schriftfarbe, etc. verändert werden. Der anwenderspezifische Text wird in der **.NET-Datei** gespeichert.

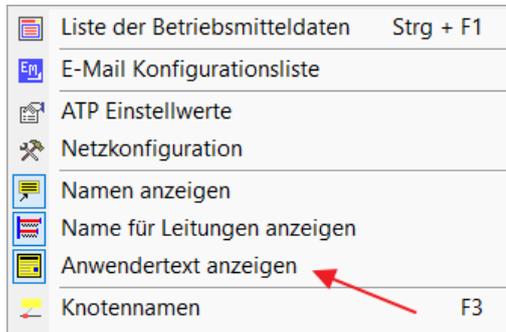
5.2.2.1 Anwenderspezifischer Text löschen

Der anwenderspezifische Text eines Netzwerkelementes kann durch einen **Left Mouse Button Click** auf den Button  gelöscht werden.

5.2.2 Anwenderspezifischen Text in einem Tooltip ausgeben

Der anwenderspezifische Text kann in einem Tooltip in der Netzgrafik angezeigt werden, wenn der Mauszeiger über dem Netzwerkelement positioniert ist und die Option zum Anzeigen des anwenderspezifischen Textes aktiviert ist.

- Im Hauptmenü **Netzwerk**, Menüpunkt **Anwendertext anzeigen**



- In der **Netzwerk Design Toolbar** der Button 



Die Anzeige erfolgt in einem mehrzeiligen Tooltip an der Cursorposition.

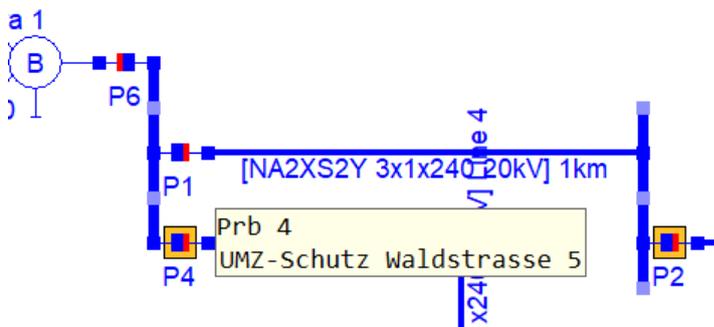


Abbildung 20: Anzeige des anwenderspezifischen Textes in einem Tooltip

5.2.3 Anwenderspezifische Zeichenfarbe für ein Netzwerkelement

Für jedes Netzwerkelement kann im Einstelldialog eine anwenderspezifische Zeichenfarbe eingestellt werden.

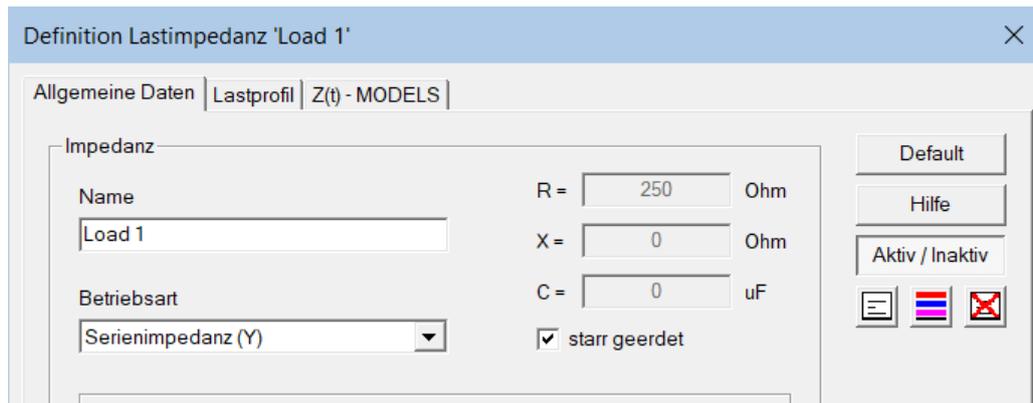


Abbildung 21: Anwenderspezifische Zeichenfarbe im Einstelldialog

5.2.4 Anonymisierung - Anzeige Alternativer Namen (Alias) in der Netzgrafik

ATPDesigner ermöglicht es dem Anwender, eine anonymisierte Darstellung des Stromnetzes einzustellen. Dazu muss in der Gruppe **Anzeige der Namen von ..** folgende Einstellungen vorgenommen werden.

- Option **Alle Netzwerkelemente** deaktivieren
- Option **Altern. Namen** aktivieren

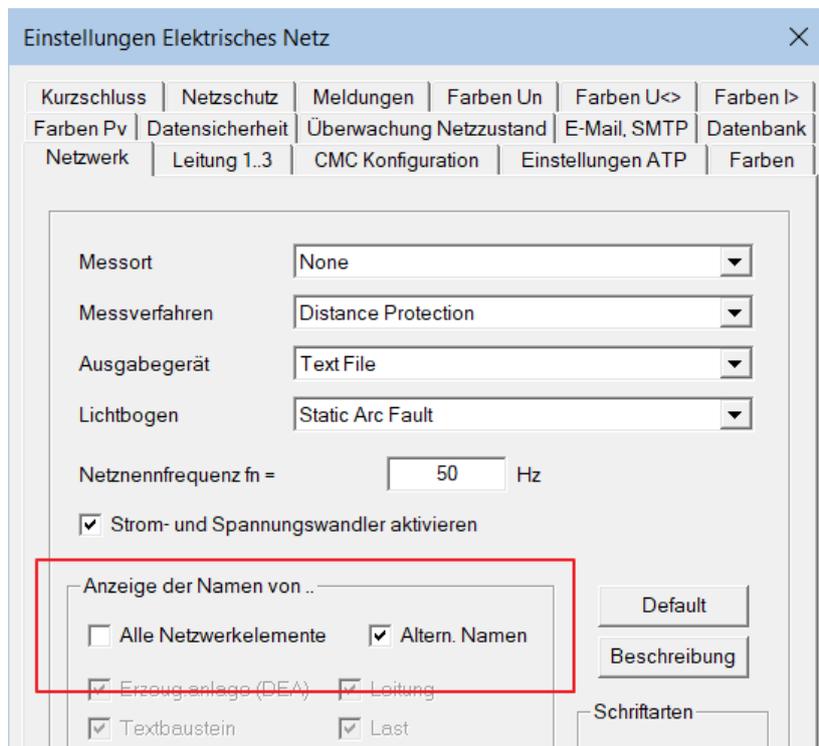


Abbildung 22: Einstellung einer anonymisierten Darstellung des Stromnetzes

ATPDesigner generiert in diesem Fall automatisch für ausgewählte Betriebsmittel einen alternativen Namen (Alias). Die anonymisierten Bezeichner sind eindeutige Bezeichner für die Netzwerkelemente.

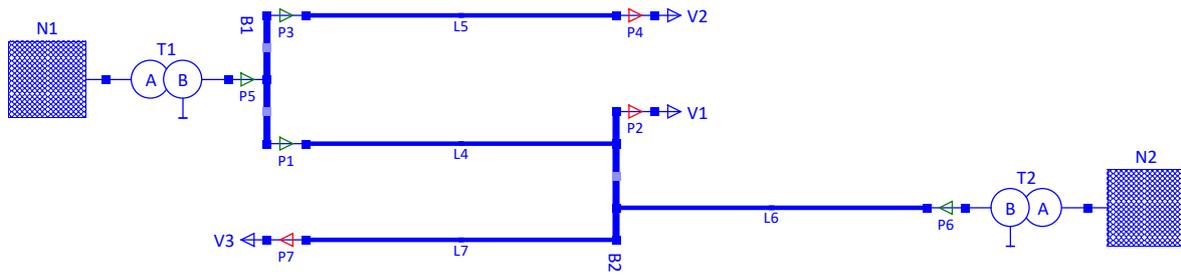


Abbildung 23: Anonymisierte Bezeichner für die Betriebsmittel

5.3 Allgemeine Parameter **ATP Einstellwerte**

Im Einstelldialog **ATP Einstellwerte** können Einstellwerte verändert werden, die für die **Berechnung stationärer Netzzustände** und die **Berechnung dynamischer Netzvorgänge** mit dem Rechenkern **ATP** und den in ATPDesigner vorhandenen Methoden zur **Lastflussberechnung** von Bedeutung sind, aber keinem Netzwerkelement oder der allgemeinen, netzspezifischen Einstellung des Stromnetzes zugeordnet werden können.

Der Einstelldialog kann wie folgt erläutert oder mit einem **Left Mouse Button Click** auf den Toolbar-Button  geöffnet werden.

- Hauptmenü **Netzwerk**
- Menüpunkt **ATP Einstellwerte**

Die allgemeinen, netzspezifischen Einstellungen werden im Einstelldialog [Einstellungen Elektrisches Netz](#) vorgenommen.

- Hauptmenü **Netzwerk**
- Menüpunkt **Netzkonfiguration** 

Der Einstelldialog kann auch in vielen Baumstrukturen wie z.B. **Projektinformationen** in der Registerkarte **Netzwerk** mit einem **Left Mouse Button Double Click** auf den Eintrag **Netzkonfiguration** geöffnet werden.

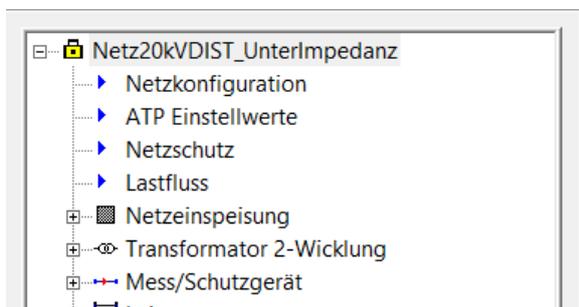


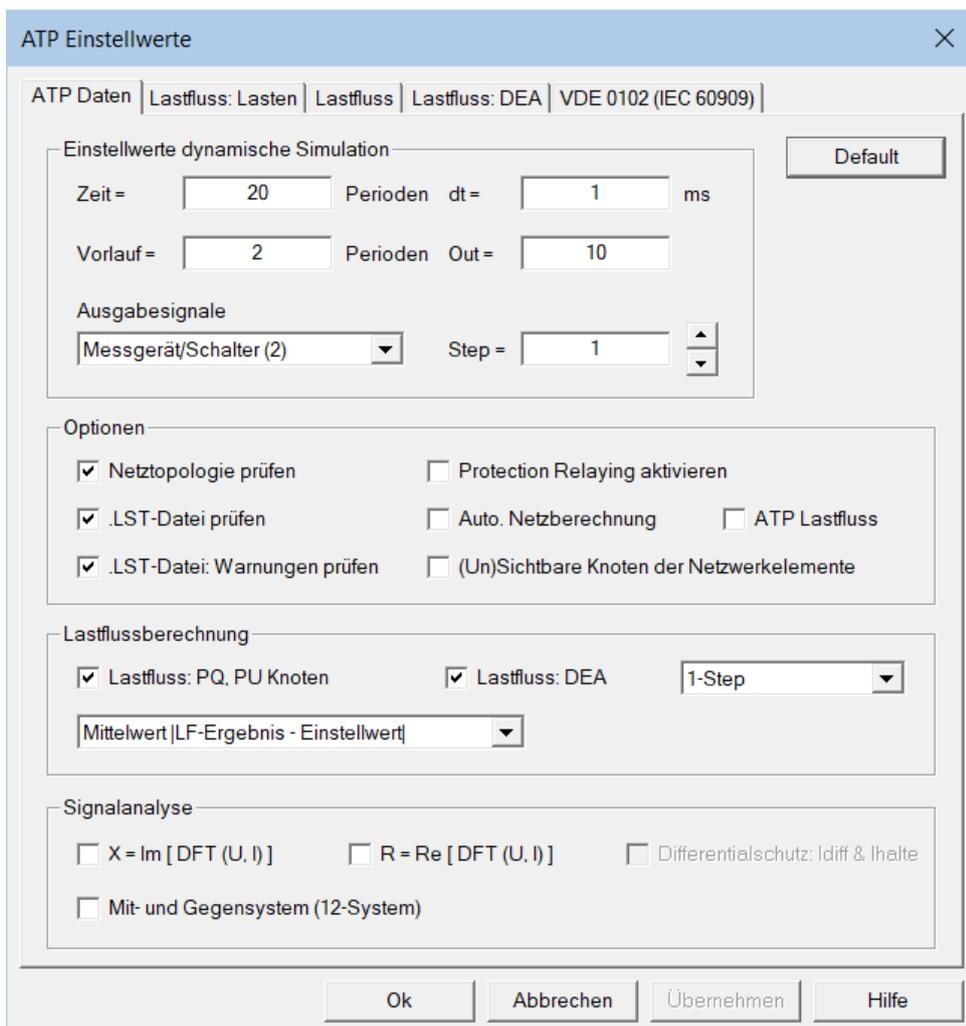
Abbildung 24: Öffnen von **ATP Einstellwerte** und **Netzkonfiguration** in **Projektinformationen**

5.3.1 Registerkarte **ATP Daten** - Allgemeine Einstellwerte

In dem Einstelldialog können allgemeine die Berechnungsmethoden übergreifende Einstellungen sowie Einstellungen für die **Berechnung stationärer Netzzustände** und die **Berechnung dynamischer Netzvorgänge** vorgenommen werden.

Einstellwert	Bedeutung für Berechnung dynamischer Netzvorgänge
Zeit	Zeitliche Länge der berechneten Signale in Vielfachen einer Netzperiode [s] = 1 / f _n [Hz]
dt	Die Ausgabeschrittweite der berechneten Abtastwerte in Millisekunden. Die Ausgabeschrittweite wird zur Speicherung der Abtastwerte von Spannungen und Strömen z.B. in der .PL4-Datei oder der COMTRADE-Datei verwendet.
Step	Divisor der eingestellten Ausgabeschrittweite dt zur Einstellung der internen Rechenschrittweite:

	$ATP \text{ interne Rechenschrittweite} = \frac{dt}{Step}$ <p>Beispiel nach obiger Abbildung:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ausgabeschrittweite $dt = 1 \text{ ms}$, d.h. die Abtastwerte werden mit einer Frequenz von 1000 Hz ausgegeben. ▪ ATP interne Rechenschrittweite $1 \text{ ms} / 9 = 0,11 \text{ ms}$, d.h. Spannungen und Ströme werden intern mit einer Abtastfrequenz von 9 kHz berechnet. <p>Die Einstellwerte dt und Step haben einen direkten Einfluss auf die Berechnung des Betragsspektrums.</p>
Out	Anzahl der Datensatzausgabe über eine angeschlossene Sekundärprüfeinrichtung der Fa. Omicron z.B. CMC356.



ATP Einstellwerte

ATP Daten | Lastfluss: Lasten | Lastfluss | Lastfluss: DEA | VDE 0102 (IEC 60909)

Einstellwerte dynamische Simulation

Zeit = 20 Perioden dt = 1 ms

Vorlauf = 2 Perioden Out = 10

Ausgabesignale

Messgerät/Schalter (2) Step = 1

Optionen

Netztopologie prüfen Protection Relaying aktivieren

.LST-Datei prüfen Auto. Netzberechnung ATP Lastfluss

.LST-Datei: Warnungen prüfen (Un)Sichtbare Knoten der Netzwerkelemente

Lastflussberechnung

Lastfluss: PQ, PU Knoten Lastfluss: DEA 1-Step

Mittelwert |LF-Ergebnis - Einstellwert

Signalanalyse

X = Im [DFT (U, I)] R = Re [DFT (U, I)] Differentialschutz: Idiff & Ihalte

Mit- und Gegensystem (12-System)

Ok Abbrechen Übernehmen Hilfe

Abbildung 25: Einstelldialog ATP Einstellwerte, Registerkarte ATP Daten

Einstellwert	Bedeutung
(Un)Sichtbare Knoten der Netzwerkelemente	Die Knoten der Netzwerkelemente können alternativ unsichtbar dargestellt werden.
(Un)sichtbare Knoten der Netzwerkelemente	Mit dieser Option können die quadratischen Anschlussknoten der Netzwerkelemente unsichtbar geschaltet werden. Die internen Knoten von Doppelsammelschienen sind davon ausgenommen.

Einstellwert	Bedeutung für die Berechnung stationärer Netzzustände
Lastfluss: PQ, PU Knoten	Lastflussberechnung für PQ- und PU-Knoten aktivieren
Lastfluss: DEA	Lastflussberechnung für Energieerzeugungsanlagen (DEA) aktivieren

5.3.1.1 Gruppe Lastflussberechnung: Lastfluss: PQ, PU Knoten und Lastfluss: DEA

Mit Hilfe der beiden Optionen **Lastfluss: PQ, PU Knoten** und **Lastfluss: DEA** kann eine Lastflussberechnung nach dem Stromiterationsverfahren aktiviert werden, die u.a. auch dezentrale Energieerzeugungsanlagen mit Netzstromrichtern berücksichtigt. Die Optionen [Lastfluss: PQ, PU Knoten](#) und [Lastfluss: DEA](#) werden in Kapitel 5.3.2 erläutert.

Einstellwert	Bedeutung für die Berechnung stationärer Netzzustände
Lastfluss: PQ, PU Knoten	Lastflussberechnung Lastfluss: PQ, PU Knoten
Lastfluss: DEA	Lastflussberechnung Lastfluss: DEA

5.3.1.1.1 Einstellung der Methode der Konvergenzprüfung

Darüber hinaus ist in der Gruppe **Lastflussberechnung** eine Auswahlliste enthalten, mit deren Hilfe die **ATPDesigner** spezifische Methode der Konvergenzüberprüfung der Lastflussberechnung für den Normal- und den Kurzschlussbetrieb des Stromnetzes eingestellt werden kann.

Einstellwert	Bedeutung für die Berechnung stationärer Netzzustände
Mittelwert LF-Ergebnis - Einstellwert 	Es werden Mittelwerte der Konvergenzkriterien aller aktivierten Verbraucherlasten und aktivierten Erzeugungsanlagen (DEA) gebildet. Liegen diese Mittelwerte unterhalb der eingestellten Grenzwerte wird Konvergenz festgestellt

5.3.1.2 Einstellwerte für die Berechnung dynamischer Netzvorgänge

Im Folgenden werden Einstellwerte erläutert, welche nur für die **Berechnung dynamischer Netzvorgänge** benötigt werden.

5.3.1.2.1 Vorlauf - Fehlerfreie Vorlaufzeit in Vielfachen einer Netzperiode¹

ATPDesigner stellt dem Anwender die Leitungen **Line 1..3** zur Verfügung, für die unabhängig vom **Kurzschluss (roter Blitz)** [Bd. 3] je Leitung ein eigener Kurzschluss definiert werden kann. Der Zeitpunkt des Kurzschlusseintritts ist nicht auf den Simulationsbeginn $t = 0s$ bezogen, sondern auf das Ende der **Vorlaufzeit**. Damit ist gewährleistet, dass zu Beginn der Simulation immer eine definierte Anzahl Netzperioden fehlerfreier Vorlauf berechnet werden, bevor der Kurzschluss aktiv wird. Darüber hinaus ist es möglich, den Zeitpunkt des Kurzschlusseintritts im Einstelldialog z.B. durch Definition des Fehlereintrittswinkels weiter zu beeinflussen.

5.3.1.2.2 Auto. Netzberechnung¹

Ist diese Option aktiv, so wird die **Berechnung dynamischer Netzvorgänge** automatisch durchgeführt.

5.3.1.2.3 Ausgabe von Zeitsignalen in die Diagrammdatei¹

Mit Hilfe der verschiedenen Optionen kann im Fall der **Berechnung dynamischer Netzvorgänge** die Anzahl der in die Diagrammdatei (.PL4-Datei) auszugebenden Spannungen und Ströme eingestellt werden. Die Diagrammdatei wird im Verzeichnis der .NET-Datei gespeichert.

Einstellwert	Bedeutung für Berechnung dynamischer Netzvorgänge
Messgeräte	wie Messgerät/Schalter (2)
Messgerät/Schalter (2)	Ausgabesignale von TACS , wichtige MODELS – Signale z.B. des Modells für dezentrale Energieerzeugungsanlagen
Messgerät/Schalter (3)	Messgerät/Schalter (2) + zusätzliche MODELS -Variablen
Messgerät/Schalter (4)	Messgerät/Schalter (3) + Short-Circuit + Fehlermeldungen der Schutzfunktionen + zusätzliche MODELS -Variablen
Messgeräte/Schalter/Interne Knoten	Messgerät/Schalter (4) + allgemeine Knotennamen des elektrischen Netzwerks

5.3.1.2.4 Gruppe Signalanalyse¹

Nachfolgend werden die Einstellwerte in der Gruppe **Signalanalyse** näher erläutert. ATPDesigner bietet dem Anwender die Möglichkeit, für die **Schalter (CB) Cb1..3**, die jeweils mit einem integrierten Messort **M1..3** ausgestattet sind, aus den Leiter-Erd-Spannungen und den zugehörigen Leiterströmen den zeitlichen Verlauf der komplexen Impedanz $\underline{Z}(t) = \underline{R}(t) + j\underline{X}(t)$ zu berechnen und in der Diagrammdatei (.PL4-Datei) zu speichern. Die zeitlichen Verläufe der Impedanzen können in einem Diagramm dargestellt werden.

Darüber hinaus ist es auch möglich, die Spannungen und Ströme des **Mitsystems (Positive Sequence System, 1)** und **Gegensystems (Negative Sequence System, 2)** zu berechnen und ebenfalls in einem Diagramm darzustellen. Die Berechnung erfolgt mit Hilfe der **Programmiersprache MODELS** des ATP. Der Programmcode wird von ATPDesigner automatisch in die .ATP-Eingabedatei ausgegeben.

¹ Nur für die **Berechnung dynamischer Netzvorgänge**

Einstellwert	Bedeutung für Berechnung dynamischer Netzvorgänge
X = Im [DFT (u(t), i(t))]	Reaktanz X für die Messorte M1...5 (Cb1...5)
R = Re [DFT (u(t), i(t))]	Resistanz R für die Messorte M1...5 (Cb1...5)

In Abbildung 27 sind die Signalnamen dargestellt, die automatisch von ATPDesigner verwendet werden. Die Signalnamen gelten für die Messorte **Mx** ($x = 1 \dots 5$).

- ⇒ Die hier beschriebenen Funktionen der Signalanalyse können auch im Einstell-dialog **Einstellwerte Signalanalyse** [Bd. 3] im Hauptmenü **Diagramme** [Bd. 1] eingestellt werden.

5.3.1.2.4.1 Spannungen und Ströme in Mit-, Gegen- und Nullsystem

Spannungen und Ströme in Mit-, Gegen- und Nullsystem bezogen auf die Sekundärseite der dem Messort **Mx** zugeordneten Spannungs- und Stromwandler

Signalname	Bedeutung für Berechnung dynamischer Netzvorgänge
V0S_Mx	Nullsystemspannung $u_0(t)$
V1S_Mx	Mitsystemspannung $u_1(t)$
V2S_Mx	Gegensystemspannung $u_2(t)$
I0S_Mx	Nullsystemspannung $i_0(t)$
I1S_Mx	Mitsystemstrom $i_1(t)$
I2S_Mx	Gegensystemstrom $i_2(t)$

5.3.1.2.4.2 Spitzenwert der Spannungen und Ströme in Mit-, Gegen- und Nullsystem

Spitzenwert der Spannungen und Ströme in Mit-, Gegen- und Nullsystem bezogen auf die Sekundärseite der dem Messort **Mx** zugeordneten Spannungs- und Stromwandler

Signalname	Bedeutung für Berechnung dynamischer Netzvorgänge
V0AS_Mx	Nullsystemspannung $u_0(t)$
V1AS_Mx	Mitsystemspannung $u_1(t)$
V2AS_Mx	Gegensystemspannung $u_2(t)$
I0AS_Mx	Nullsystemspannung $i_0(t)$
I1AS_Mx	Mitsystemstrom $i_1(t)$
I2AS_Mx	Gegensystemstrom $i_2(t)$

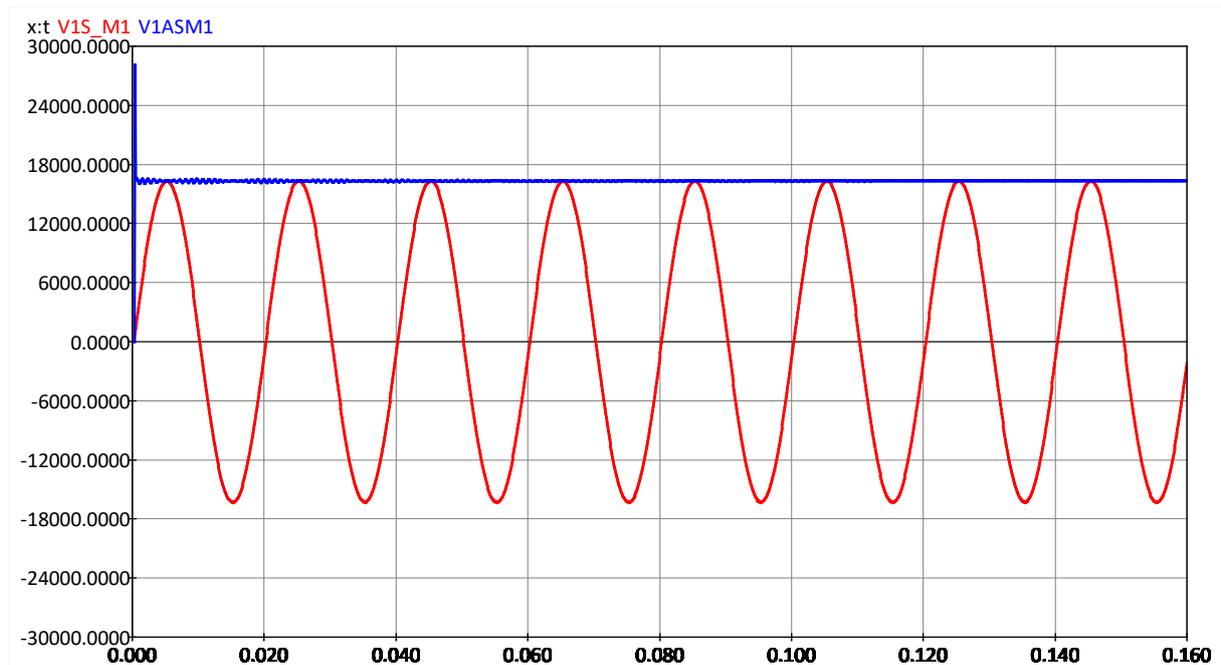


Abbildung 26: Mitsystemspannung $u_1(t)$ als Zeitfunktion **V1S_M1** und Spitzenwert **V1ASM1**

Obige Abbildung zeigt den zeitlichen Verlauf der Mitsystemspannung **V1S_M1** von Messort 1 sowie deren Spitzenwert **V1ASM1**.

5.3.1.2.4.3 Reaktanzen der Leiter-Erd-Schleifen

Reaktanzen der Leiter-Erd-Schleifen bezogen auf die Sekundärseite der dem Messort **Mx** zugeordneten Spannungs- und Stromwandler

Signalname	Bedeutung für Berechnung dynamischer Netzvorgänge
XAG_Mx	Leiter-Erd-Schleife Leiter L1 - Erde
XBG_Mx	Leiter-Erd-Schleife Leiter L2 - Erde
XCG_Mx	Leiter-Erd-Schleife Leiter L3 - Erde
XAB_Mx	Leiter-Erd-Schleife Leiter L1 – Leiter L2
XBC_Mx	Leiter-Erd-Schleife Leiter L2 – Leiter L3
XCA_Mx	Leiter-Erd-Schleife Leiter L3 – Leiter L1

5.3.1.2.4.4 Resistenzen der Leiter-Erd-Schleifen

Resistenzen der Leiter-Erd-Schleifen bezogen auf die Sekundärseite der dem Messort **Mx** zugeordneten Spannungs- und Stromwandler

Signalname	Bedeutung für Berechnung dynamischer Netzvorgänge
RAG_Mx	Leiter-Erd-Schleife Leiter L1 - Erde
RBG_Mx	Leiter-Erd-Schleife Leiter L2 - Erde
RCG_Mx	Leiter-Erd-Schleife Leiter L3 - Erde
RAB_Mx	Leiter-Erd-Schleife Leiter L1 – Leiter L2
RBC_Mx	Leiter-Erd-Schleife Leiter L2 – Leiter L3
RCA_Mx	Leiter-Erd-Schleife Leiter L3 – Leiter L1

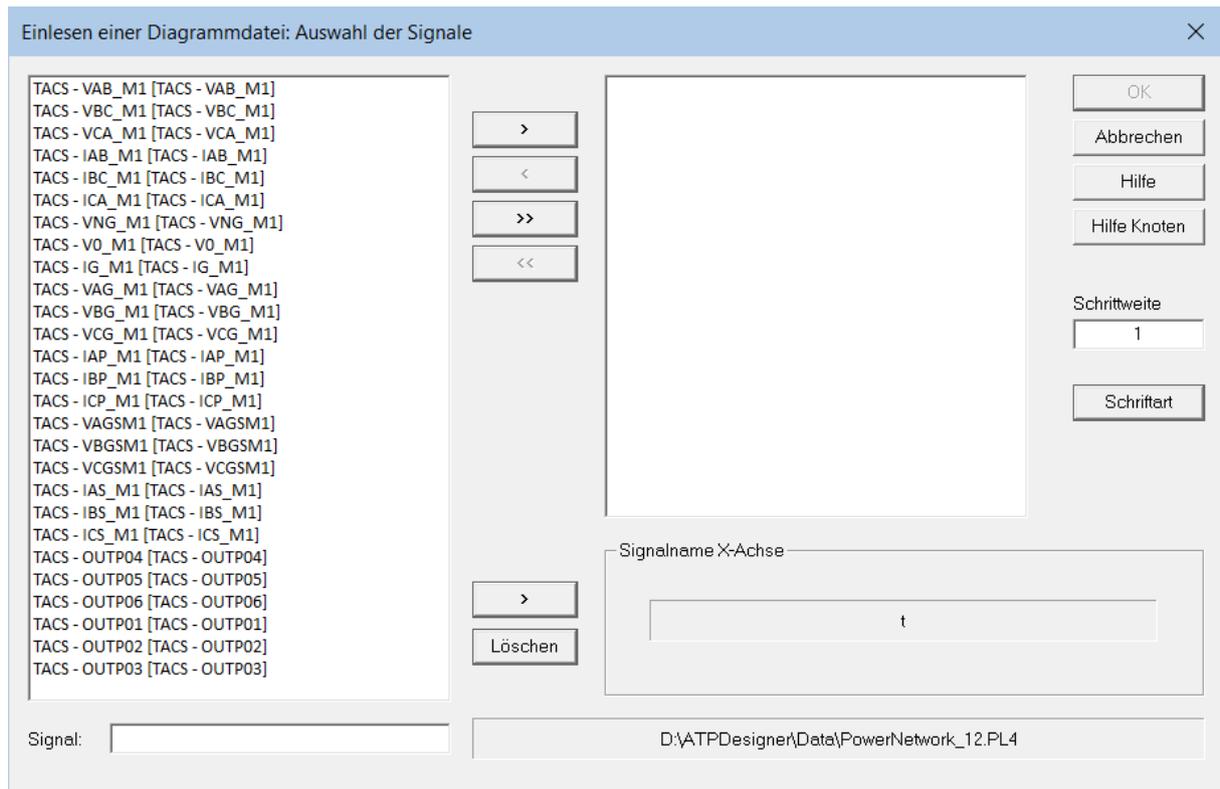


Abbildung 27: Berechnete Signale bei aktivierter Option *Signal Analysis*

Die Berechnung der Leiter-Erd-Impedanzen \underline{Z}_{LE} erfolgt unter Berücksichtigung des Erdstromkompensationsfaktors \underline{k}_E zur Kompensation der Erdimpedanz \underline{Z}_E :

$$\underline{Z}_{LE} = \frac{\underline{U}_{LE}}{\underline{I}_{LE} + \underline{k}_E \cdot \underline{I}_E} \quad \text{mit} \quad \underline{k}_E = \frac{\underline{Z}_E}{\underline{Z}_1} = \frac{\underline{Z}_0 - \underline{Z}_1}{3 \cdot \underline{Z}_1} \quad \text{und} \quad \underline{Z}_E = \frac{\underline{Z}_0 - \underline{Z}_1}{3}$$

Und dem Summenstrom \underline{I}_E

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

5.3.1.3 Registerkarte *Lastfluss* - ATP Load Flow

Mit Hilfe der Einstellwerte kann die ATP-interne Lastflussberechnung, die vom ATP selbst (**FIX SOURCE**) ausgeführt wird, eingestellt und aktiviert. Die zugehörigen Einstellwerte sind in der Registerkarte **Lastfluss** vorhanden.

- ⇒ Die ATP-interne Lastflussberechnung **ATP Load Flow** der Registerkarte **Lastfluss** ist nicht zu verwechseln mit der [Lastflussberechnung](#), die direkt von ATPDesigner mit dem ATP als Rechenkern ausgeführt wird. Während der Ausführung der Lastflussberechnung von ATPDesigner, wird das ATP nur zur [Berechnung des stationären Netzstatus](#) im Sinne einer Knotenpotentialanalyse und dem Stromiterationsverfahren verwendet. Der iterative Algorithmus der Lastflussberechnung wird von ATPDesigner selbst und nicht vom ATP ausgeführt.

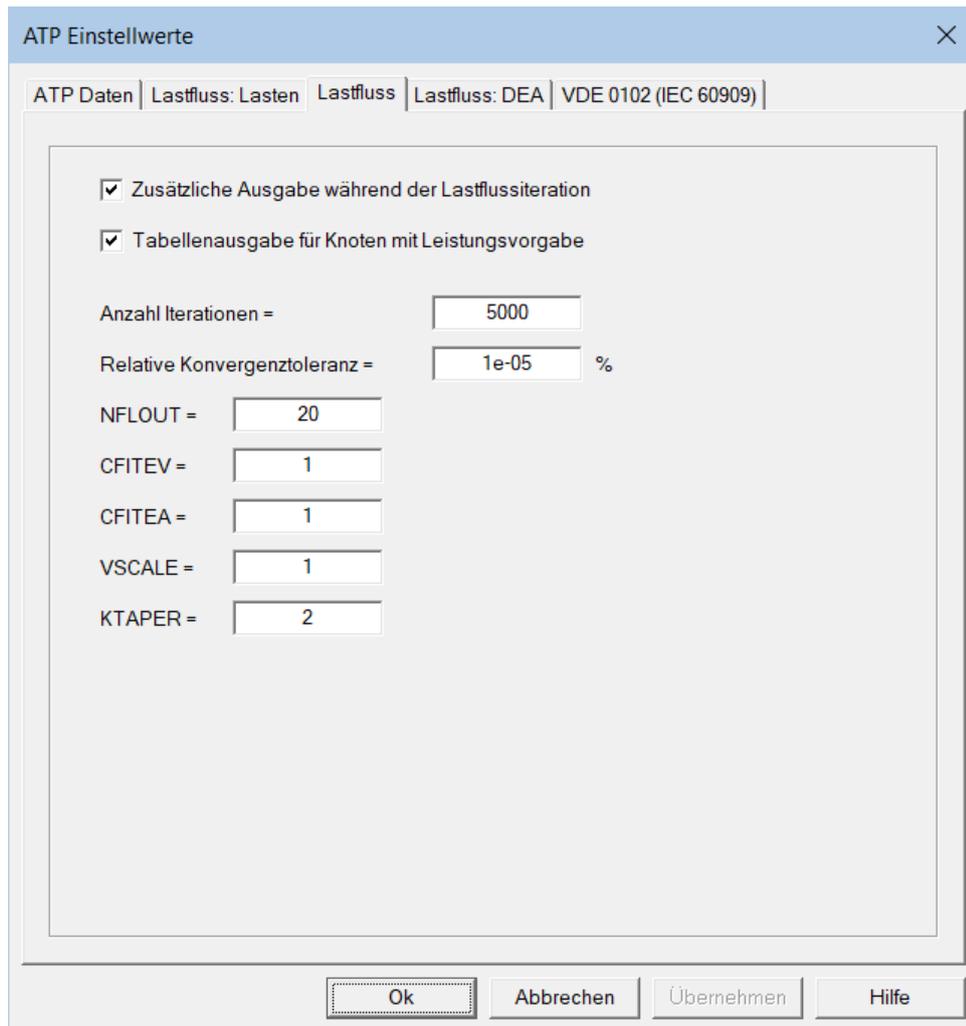


Abbildung 28: Einstelldialog *Lastfluss* für die ATP interne Lastflussberechnung

Es wird empfohlen, die ATP-interne Lastflussberechnung nicht zu verwenden. Im Rahmen der vorliegenden Dokumentation wird nicht weiter auf die ATP-interne Lastflussberechnung eingegangen. Es wird hier auf die für das Netzberechnungsprogramm ATP verfügbare spezifische Literatur hingewiesen.

5.3.2 Lastflussberechnung in ATPDesigner

Die in der Registerkarte [ATP Daten](#) einstellbaren Optionen **Lastfluss: PQ, PU Knoten** und **Lastfluss: DEA** ermöglichen es, den stationären Netzzustand iterativ an anwenderspezifische Vorgaben anzunähern. Beide Funktionen werden nur während der [Berechnung des stationären Netzzustandes](#) berücksichtigt.

Weitere Informationen sind im Kapitel **Ausführen einer Lastflussberechnung**  [Bd. 1] enthalten.

5.3.2.1 Warum zwei getrennte Schalter zum EIN/AUS – Schalten ?

Die beiden Lastflussverfahren **Lastfluss: PQ, PU Knoten** und **Lastfluss: DEA** können per Menüpunkt oder auch per Toolbar-Button getrennt voneinander aktiviert oder deaktiviert werden.

Diese Möglichkeiten des getrennten EIN/AUS-Schaltens sind insbesondere bei der Kurzschlussstromberechnung in Netzen mit dezentralen Erzeugungsanlagen von Bedeutung. Soll ein kurzschlussbetroffener stationärer Netzzustand berechnet werden, so ist eine Leistungsiteration eines PQ-Knotens (ohne Spannungsabhängigkeit der Last) wegen der zu geringen Netzspannung in aller Regel nicht möglich, eine Iteration des Verschiebungsfaktors mit z.B. $\cos \varphi = 0$ einer dezentralen Erzeugungsanlage am Netzanschlusspunkt (NAP) aber erforderlich, um das über- oder untererregte Verhalten zur Blindstrombereitstellung sicherzustellen. Die Folge wäre eine Divergenz der Lastflussberechnung.

In diesem Fall muss **Lastfluss: PQ, PU Knoten** deaktiviert, **Lastfluss: DEA** aber weiter aktiviert bleiben.

- Die Iteration des Verschiebungsfaktors für Netzwerkelemente [Erzeugungsanlage \(DEA\)](#) wird in Normalbetrieb aber auch bei anstehendem Kurzschluss im Stromnetz durchgeführt.
- Im Falle einer Kurzschlussberechnung mit dem **Kurzschluss (roter Blitz)** [Bd. 3] wird die Iteration der Leistung für Netzwerkelemente [Erzeugungsanlage \(DEA\)](#) automatisch deaktiviert.
- Ist die Option **Lastfluss: PQ, PU Knoten** deaktiviert, so werden die [Verbraucherlasten](#) als 3-phasige Impedanzen nachgebildet. Die Impedanz wird unter der Annahme berechnet, dass Nennspannung U_n am Netzknoten der Verbraucherlast anliegt.

Das Verfahren **Lastfluss: PQ, PU Knoten** iteriert die nachfolgenden Netzwerkelemente.

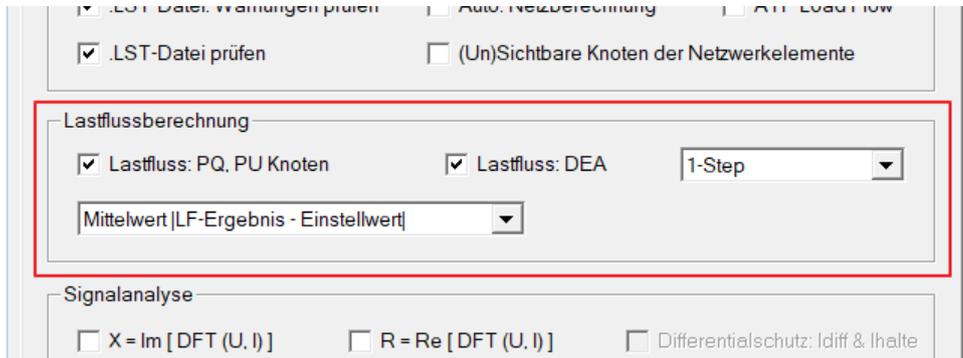
Lastfluss: PQ, PU Knoten
Verbraucherlasten
Netzeinspeisungen
Generatoren
Stufenschalter mit Spannungsregler von Transformatoren
Transformator 2-Wicklung mit aktiver interner Verbraucherlast
Leitung mit aktiver interner Verbraucherlast

Das Verfahren **Lastfluss: DEA** iteriert die nachfolgenden Netzwerkelemente.

Lastfluss: PQ, PU Knoten
Erzeugungsanlage (DEA)

Sind beide Iterationsverfahren aktiviert, so wird eine **Lastflussberechnung** basierend auf der **Methode der Stromiteration** durchgeführt. Die Lastflussberechnung kann wir folgt aktiviert werden:

- Im Einstelldialog [ATP Einstellwerte](#), Registerkarte [ATP Daten](#), Optionen [Lastfluss: PQ, PU Knoten](#) und [Lastfluss: DEA](#)



- Durch die Toolbar-Buttons  in der [Netzwerk Design Toolbar](#)
- Im Hauptmenü [ATP](#), Menüpunkt [Lastfluss: PQ, PU Knoten](#) und [Lastfluss: DEA](#)



Häufig verwendete Einstellwerte zur Einstellung der Lastflussberechnung sind in einem eigenen Einstelldialog [Einstellungen Lastflussberechnung](#) [Bd. 1] in mehreren Registerkarten zusammengefasst.

5.3.2.2 Lastflussberechnung *Lastfluss: PQ, PU Knoten*

Ist die Option **Lastfluss: PQ, PU Knoten** in der Registerkarte [ATP Daten](#) aktiviert und wird eine Berechnung des stationären Netzzustandes gestartet, so wird durch ein iteratives Verfahren ähnlich dem Verfahren der Lastflussberechnung versucht, vom Anwender definierte Einstellwerte von Betriebsmitteln wie z.B. Wirk- und Blindleistung einer Last oder die Wirkleistungseinspeisung einer Netzeinspeisung einzustellen. Da es sich hier um ein Iterationsverfahren handelt, kann es zur Konvergenz oder Divergenz kommen. Im Falle der Konvergenz werden die anwenderspezifischen Einstellwerte mit einer vom Anwender definierbaren Genauigkeit eingestellt, im Falle der Divergenz konnte der gewünschte Netzzustand nicht eingestellt werden.

Nachfolgend sind Betriebsmittel und anwenderspezifische Parameter aufgelistet, die bei aktiver Option **Lastfluss: PQ, PU Knoten** im Iterationsverfahren berücksichtigt werden.

5.3.2.2.1 Lastflussberechnung: Verbraucherlast als PQ Knoten

Durch iterative Korrektur der [Verbraucherlast](#) wird die im Einstelldialog vom Anwender definierte Scheinleistung S und den Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ schrittweise, d.h. iterativ

anzunähern. Es ist möglich, für jede Lastimpedanz getrennt einzustellen, ob diese vom Iterationsverfahren berücksichtigt oder ausgeschlossen wird. Das Modell des PQ Knotens berücksichtigt **keine Spannungsabhängigkeit**.

- ⇒ Damit die Impedanz von dem iterativen Algorithmus berücksichtigt wird, muss die Option **Lastfluss EIN** im Einstelldialog der [Verbraucherlast](#) aktiviert werden. Die Methode berücksichtigt sowohl 1-phasige, 2-phasige als auch 3-phasige Impedanzen.

Die zugehörigen Einstellwerte für die Überwachung des Iterationsverfahrens (Konvergenz- und Divergenzbedingung) sind im Einstelldialog [ATP Einstellwerte](#) in der Registerkarte [Lastfluss: Lasten](#) vorhanden.

5.3.2.2.2 Lastflussberechnung: 2-Wicklungs-Transformator als PQ-Knoten

Der [2-Wicklungs-Transformator](#) kann optional mit einem Stufenschalter und automatischer Spannungsregelung sowie optional mit einer an der Sekundärwicklung angeschlossenen Verbraucherlast ausgestattet werden.

Wurde die Spannungsregelung aktiviert, wird im Verlaufe des Iterationsverfahrens versucht, die vom Anwender definierte SOLL-Nennspannung an Wicklung A oder B einzustellen. Damit der Spannungsregler von dem iterativen Algorithmus berücksichtigt wird, muss im Einstelldialog des Transformators die Option **Spannungsregler aktiv** in der Registerkarte [Spannungsregler](#) aktiviert werden.

Wurde die [interne an der Sekundärwicklung angeschaltete Verbraucherlast](#) aktiviert, so wird diese wie ein Netzwerkelement [Verbraucherlast](#) in der Lastflussberechnung als PQ-Knoten berücksichtigt.

5.3.2.2.3 Lastflussberechnung: Leitung als PQ-Knoten

Das in ATPDesigner vorhandene Leitungsmodell kann mit einer im Leitungsmodell integrierten 3-phasig symmetrischen Last als [Leitung mit aktiver interner Verbraucherlast](#) ausgestattet werden. Entsprechend der Vorgehensweise für das Netzwerkelement [Verbraucherlast als PQ-Knoten](#) wird auch mit der integrierten Last der Leitung vorgegangen.

5.3.2.2.4 Lastflussberechnung: Netzeinspeisung als PU Knoten

Wenn die Option **Lastfluss EIN** in der Registerkarte [Lastfluss: Lasten](#) des Einstelldialogs der [Netzeinspeisung](#) aktiviert ist, wird während der Ausführung der Lastflussberechnung mit aktiver Option [Lastfluss: PQ, PU Knoten](#) die Netzeinspeisung berücksichtigt. ATPDesigner nähert iterativ die ins Netz eingespeiste Wirkleistung sowie die Versorgungsspannung am Netzanschlussknoten den eingestellten Werten an.

5.3.2.3 Lastflussberechnung Lastfluss: DEA

Ist die Option **Lastfluss: DEA** in der Registerkarte [ATP Daten](#) aktiviert und wird eine **Berechnung des stationären Netzzustandes** gestartet, so wird durch ein iteratives Verfahren der Phasenwinkel zwischen den Leiter-Erd-Spannungen \underline{U}_{L123} und den zugehörigen

Leiterströmen I_{L123} für 1/2/3-phasige [Erzeugungsanlagen \(DEA\)](#) und eine als konstant definierte Einspeisewirkleistung P oder Einspeisescheinleistung S iterativ am Netzanschlussknoten angenähert.

Im Falle einer 3-phasig symmetrischen Erzeugungsanlage wird Phasenverschiebung und Leistung im Mitsystem mit Hilfe der Mitsystemspannung \underline{U}_1 und des Mitsystemstromes I_1 iterativ angenähert. Mit Hilfe der Transformationsmatrix der symmetrischen Komponenten kann aus dem Mitsystemstrom unter den Randbedingungen, dass die Erzeugungsanlagen kein Gegen- und Nullsystem einspeist, d.h. $I_2 = 0$ und $I_0 = 0$ sind, die Leiterströme I_{L123} einer 3-phasigen symmetrischen Drehstromquelle berechnet werden.

Die Option **Lastfluss: DEA** kann u.a. dazu verwendet werden, Strom- oder Leistungseinspeisungen durch Windkraft- oder Solarstromanlagen mit definiertem Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ und definierter Einspeiseleistung (Wirk- oder Scheinleistung) für die Berechnung des stationären Netzzustandes nachzubilden. Die zugehörigen Einstellwerte für die Überwachung des Iterationsverfahrens (Konvergenz- und Divergenzbedingung) sind in der Registerkarte **Lastfluss: DEA** vorhanden. Der Netzanschlusspunkt (NAP) kann eingestellt werden.

Soll eine [Erzeugungsanlage \(DEA\)](#) in der Lastflussberechnung berücksichtigt werden, muss die Option **Lastfluss: DEA** im zugehörigen Einstelldialog in der Registerkarte [Allgemeine Daten](#) aktiviert werden.

5.3.2.4 Lastflussberechnung – Lastfluss: PQ, PU Knoten und Lastfluss: DEA

Es ist möglich und in aller Regel für eine Lastflussberechnung sinnvoll, die beiden Optionen **Lastfluss: PQ, PU Knoten** und **Lastfluss: DEA** gleichzeitig zu aktivieren. ATPDesigner führt dann beide iterative Algorithmen sequentiell aus. Die Beendigung der iterativen Lastflussberechnung erfolgt im Sinne der Konvergenz, wenn beide Konvergenzbedingungen gleichzeitig erfüllt sind.

Die gleichzeitige Aktivierung beider Optionen **Lastfluss: PQ, PU Knoten** und **Lastfluss: DEA** ist dann vorzunehmen, wenn sich gleichzeitig sowohl [Verbraucherlasten](#) als auch [Erzeugungsanlage \(DEA\)](#) im Stromnetz befinden, die iterativ auf eine vom Anwender definierte Leistung und einen Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ einzustellen sind.

5.3.2.4.1 Betriebsarten des Iterationsverfahrens für die Lastflussberechnung

Sind beide Optionen aktiviert, so kann eine Betriebsart für die kombinierte, iterative Netzberechnung ausgewählt werden. Der Abbruch der iterativen Netzberechnung erfolgt immer dann, wenn die eingestellte Genauigkeit oder die maximale Iterationsschrittzahl für beide Verfahren erreicht wurde.

Betriebsart	Bedeutung
1-Step	Nach einer stationären Netzberechnung werden in Serie die Verfahren Lastfluss: PQ, PU Knoten und Lastfluss: DEA ausgeführt, bevor eine erneute stationäre Netzberechnung gestartet wird. Dann erfolgt die gemeinsame Beurteilung der Abbruchbedingungen. ⇒ Es wird empfohlen, diese Betriebsart zu verwenden.

2-Step Linear	Nach einer ersten stationären Netzberechnung wird zunächst das Verfahren Lastfluss: PQ, PU Knoten ausgeführt. Nach einer zweiten stationären Netzberechnung wird zunächst das Verfahren Lastfluss: DEA ausgeführt. Dann erfolgt die gemeinsame Beurteilung der Abbruchbedingungen.
2-Step Kaskade	Beide Verfahren werden kaskadiert ausgeführt. Die Abbruchbedingungen werden getrennt überprüft. Das Verfahren Lastfluss: DEA wird unterlagert zu Lastfluss: PQ, PU Knoten ausgeführt.

Die Arbeitsweise des Verfahrens **Lastfluss: PQ, PU Knoten** mit Zwischenergebnissen wird in einer Textdatei und optional als Teil eines Berichtes zur Lastflussberechnung (.XML-Datei [21] [Bd. 1]) dokumentiert. Diese Textdatei kann im Hauptmenü **Ansicht** mit dem Menüpunkt **Lastfluss: Ergebnisdatei für Lasten** bzw. **Lastfluss: Ergebnisdatei für DEA** in einem Texteditor geöffnet werden. In der **Statusleiste** werden die Genauigkeiten angezeigt, die im Verlaufe der iterativen Netzberechnung für die beiden Verfahren **Lastfluss: PQ, PU Knoten** und **Lastfluss: DEA** erreicht werden.

```

> ATP CPU Zeit 0.031s
> ATPDesigner CPU Zeit 0.128s
--- Netzberechnung beendet: 0 Fehler, 0 Warnungen gefunden. ---

TIME> Suche Fehler, Warnungen in .LST-Datei=10.0ms
TIME> Überprüfe .LST-Datei=7.0ms, Analyse Netzschutz=deaktiviert
LF> Genauigkeit  $\phi=0.033^\circ$ , MAX( $\phi$ )=0.056°, S=2.038kVA=0.012%, MAX(S)=0.065% | S=0.013%, MAX(S)=0.01453% | P=0.000%, U=0.000% | Tr=0

> .ATP-Datei schreiben ... 'C:\Users\MICHAE~1\AppData\Local\Temp\Netz20kVDistUMZFuse.ATP'
>> T = 9ms

> Berechnung der .ATP-Datei C:\Users\MICHAE~1\AppData\Local\Temp\Netz20kVDistUMZFuse.ATP
> .ATP-Datei durch ATP ausführen ...: [C:\Users\MICHAE~1\AppData\Local\Temp\Netz20kVDistUMZFuse.ATP]

```

Abbildung 29: Ausgabe der Genauigkeiten der Lastflussberechnung im Meldungsfenster

In der nachfolgenden Tabelle ist die Zeile **Genauigkeit** des Meldungsfensters erläutert. Im Meldungsfenster sind mehrere Gruppen vorhanden.

Bezeichner	Bedeutung für Lastfluss: DEA
ϕ	Mittelwert der Abweichung des Betrages des Phasenwinkels für alle Netzwerkelemente (Lasten: DEA)
MAX(ϕ)	Maximale Abweichung des Betrages des Phasenwinkels eines einzelnen Netzwerkelementes (Lasten: DEA)
S	Mittelwert der Abweichung des Betrages der Scheinleistung für alle Netzwerkelemente (Lasten: DEA)
MAX(S)	Maximale Abweichung des Betrages der Scheinleistung eines einzelnen Netzwerkelementes (Lasten: DEA)

Bezeichner	Bedeutung für Lastfluss: PQ, PU Knoten
S	Mittelwert der Abweichung des Betrages der Scheinleistung für alle Netzwerkelemente (Lasten: PQ, PU Knoten)
MAX(S)	Maximale Abweichung des Betrages der Scheinleistung eines einzelnen Netzwerkelementes (Lasten: PQ, PU Knoten)
Tr	in der Statuszeile: <ul style="list-style-type: none"> ▪ = 0 : Alle Stufenschalter sind korrekt gestuft. ▪ > 0 : Mindestens ein Stufenschalter sollte noch gestuft werden.

Bezeichner	Bedeutung
N	Anzahl Iterationsschritte
LF=?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ o.k. = Konvergenz der Lastflussberechnung ▪ fehlerhaft = Divergenz der Lastflussberechnung

In der nachfolgenden Abbildung ist die Ausgabe in der Statusleiste dargestellt.

LF=o.k.	S=0.176%/0.311% P=0.000%	ϕ =0.169°/0.197° S=0.094%	N=5
---------	--------------------------	--------------------------------	-----

Abbildung 30: Anzeige der Genauigkeiten in der Statusleiste

Bezeichner	Bedeutung
LF=o.k.	Status der Lastflussberechnung <ul style="list-style-type: none"> ▪ LF=o.k. : Konvergenz der Lastflussberechnung ▪ LF=fehlerhaft : Divergenz der Lastflussberechnung
S=xx%/yy%	Verbraucherlast , 2-Wicklungs-Transformator , Leitungen <ul style="list-style-type: none"> ▪ xx : Mittelwert der Betragsabweichungen der Scheinleistungen ▪ yy : Maximaler Wert der Betragsabweichungen der Scheinleistungen
P=xx%	Mittelwert der Betragsabweichungen der Scheinleistungen für Netzeinspeisungen
ϕ=xx°/yy°	Erzeugungsanlage (DEA) <ul style="list-style-type: none"> ▪ xx : Mittelwert der Betragsabweichungen des Differenzphasenwinkels im Mitsystem zwischen Mitsystemstrom I_1 und Mitsystemspannung U_1 ▪ yy : Maximaler Wert der Betragsabweichungen des Differenzphasenwinkels
S=xx%	Mittelwert der Betragsabweichungen der Scheinleistungen

5.3.2.4.2 Ausgabe der Netzspannungen im Meldungsfenster

Im Falle der Konvergenz der Lastflussberechnung werden im **Meldungsfenster** die Spannungen der [Sammelschienen](#) und die Spannungen am Netzanschlusspunkt (NAP) der [Erzeugungsanlage \(DEA\)](#) ausgegeben.

```

> Spannungsüberwachung: Sammelschiene
>> [Bb 1] U12=102.840%; U23=102.840%; U31=102.840% :
>> [Bb 1] UL1=102.840%; UL2=102.840%; UL3=102.840% :
>> [Bb 1] ULE,ULL min=102.840%; ULE,ULL max=102.840%
>> [Bb 2]:1 U12= 0.000%; U23= 0.000%; U31= 0.000% < U<= 90.000% : Bb 2
>> [Bb 2]:1 UL1= 0.000%; UL2= 0.000%; UL3= 0.000% < U<= 90.000% : Bb 2
>> [Bb 2]:2 U12=103.224%; U23=103.224%; U31=103.224% : Bb 2
>> [Bb 2]:2 UL1=103.224%; UL2=103.224%; UL3=103.224% : Bb 2
>> [Bb 2] ULE,ULL min=---%; ULE,ULL max=---%
>> [Bb 3] U12=103.294%; U23=103.294%; U31=103.294% : Bb 3
>> [Bb 3] UL1=103.294%; UL2=103.294%; UL3=103.294% : Bb 3
>> [Bb 3] ULE,ULL min=103.294%; ULE,ULL max=103.294%

> Spannungsüberwachung: Erzeugungsanlage (DEA)
>> [3Ph 1] U12=104.137%; U23=104.137%; U31=104.137% : 5MW
>> [3Ph 1] UL1=104.137%; UL2=104.137%; UL3=104.137%
>> [3Ph 2] U12=102.840%; U23=102.840%; U31=102.840% : 3Ph 2
<

```

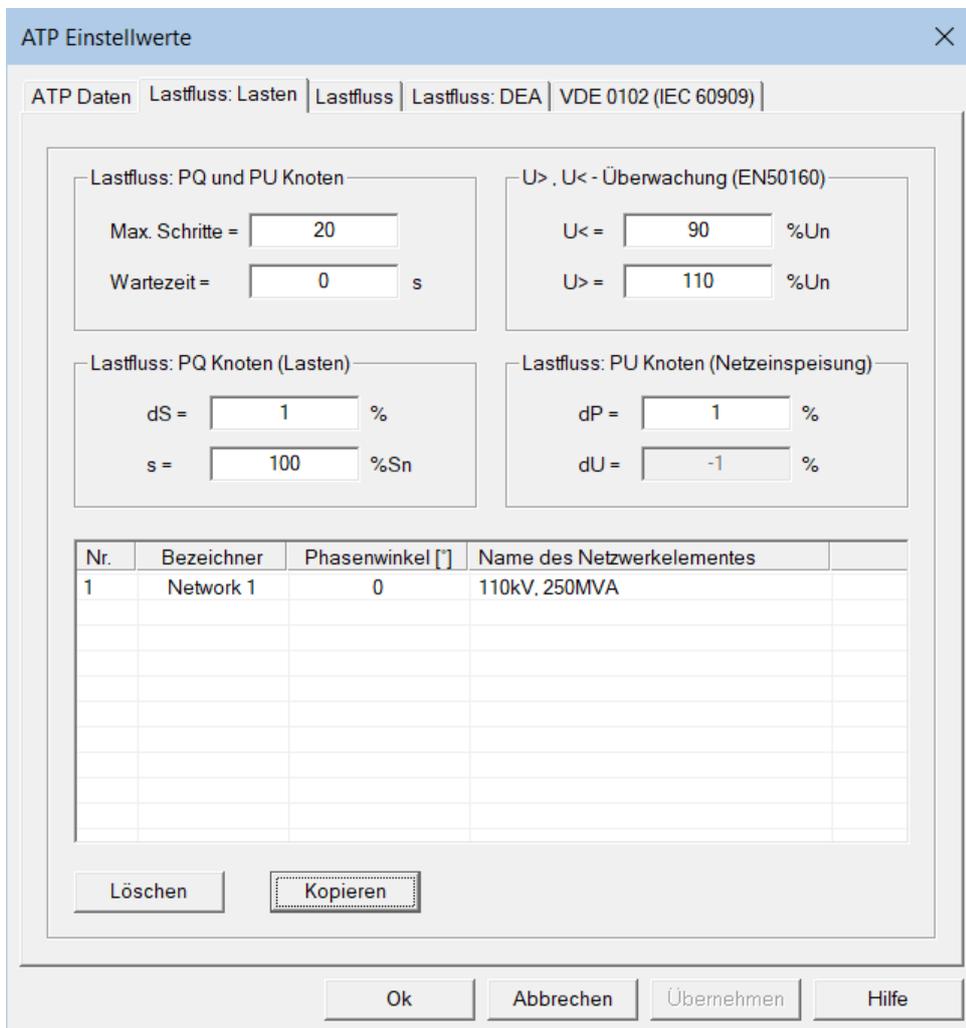
Abbildung 31: Beispiel: Spannungen der Sammelschienen und Erzeugungsanlagen (DEA)

5.3.2.4.3 Abbruch der Lastflussberechnung durch den Anwender

Die Lastflussberechnung kann während der Iteration mit der **ESC-Taste** abgebrochen werden. In diesem Fall wird in der **Statusleiste** die Anzahl Iterationsschritte **N = 999** angezeigt.

5.3.3 Registerkarte *Lastfluss: Lasten*

Mit Hilfe der Option [Lastfluss: PQ, PU Knoten](#) aus der Registerkarte [ATP Daten](#) ist es möglich, die aus der Lastflussberechnung bekannten PQ- und PU-Randknoten nachzubilden. Die Registerkarte **Lastfluss: Lasten** kann u.a. mit einem **Left Mouse Button Double Click** auf den Eintrag **ATP Einstellwerte** in der Registerkarte **Netzwerk** oder den Eintrag **Lastfluss: Lasten** in der Registerkarte **Favoriten** in den [Projektinformationen](#) geöffnet werden.



The screenshot shows the 'ATP Einstellwerte' dialog box with the 'Lastfluss: Lasten' tab selected. The dialog contains several input fields and a table.

ATP Einstellwerte

ATP Daten | **Lastfluss: Lasten** | Lastfluss | Lastfluss: DEA | VDE 0102 (IEC 60909)

Lastfluss: PQ und PU Knoten

Max. Schritte =

Wartezeit = s

U>, U<- Überwachung (EN50160)

U< = %Un

U> = %Un

Lastfluss: PQ Knoten (Lasten)

dS = %

s = %Sn

Lastfluss: PU Knoten (Netzeinspeisung)

dP = %

dU = %

Nr.	Bezeichner	Phasenwinkel [°]	Name des Netzwerkelementes
1	Network 1	0	110kV, 250MVA

Löschen | Kopieren

Ok | Abbrechen | Übernehmen | Hilfe

Abbildung 32: Einstelldialog ATP Einstellwerte, Registerkarte Lastfluss: Lasten

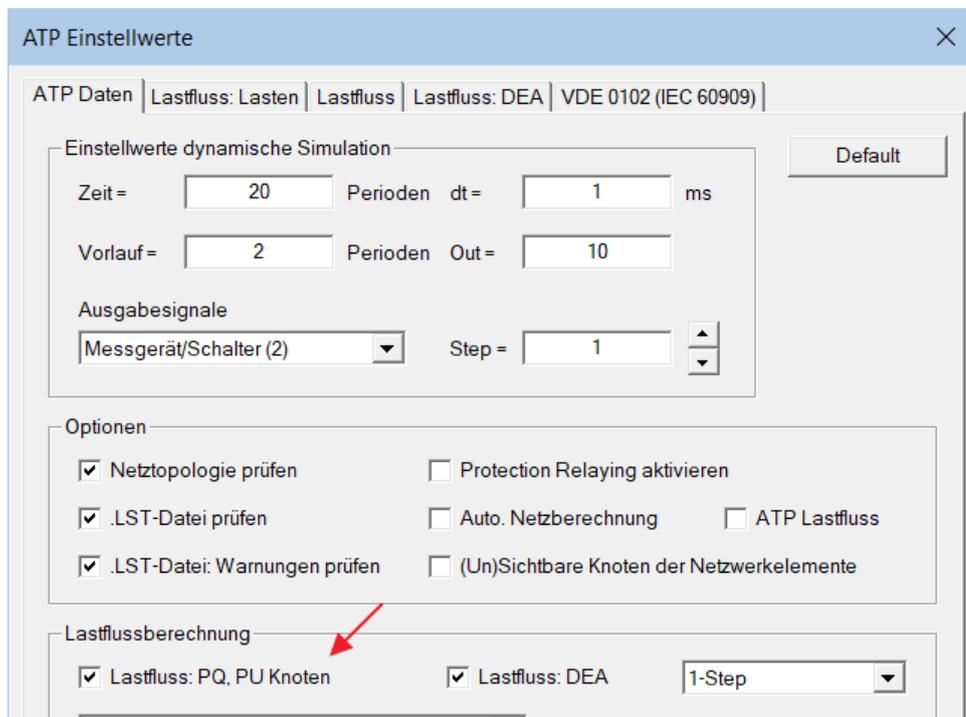
5.3.3.1 PQ-Knoten

Ein PQ-Knoten ist ein Netzknoten mit konstantem Bezug oder konstanter Einspeisung von Wirk- und Blindleistung. Der PQ-Knoten wird durch eine [Verbraucherlast](#) konstanter Wirk- oder Scheinleistung mit Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ nachgebildet. Während der

Lastflussberechnung werden die Impedanzen der Verbraucherlasten iterativ so verändert, dass die Summe der Abweichungsbeträge der berechneten Scheinleistungen ΣS_{IST} von der Betragssumme der vom Anwender vorgegebenen Scheinleistungen der Lastimpedanzen ΣS_{SOLL} geringer als eine vom Anwender vorgegebene Genauigkeit wird.

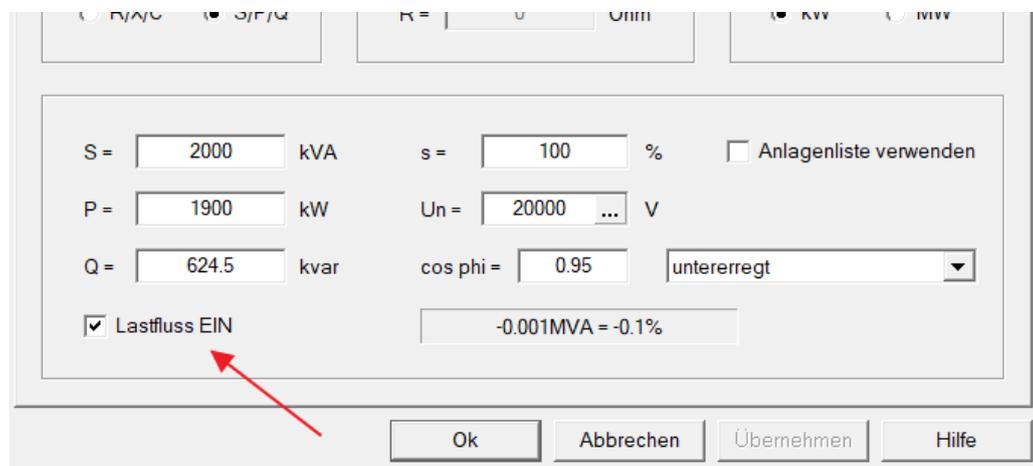
PQ-Knoten als interne Verbraucherlasten sind als Option auch für die Netzwerkelemente [Transformator 2-Wicklung](#) und [Leitung](#) einstellbar.

- ⇒ Die Lastflussberechnung wird für PQ- und PU-Knoten während der [Berechnung des stationären Netzzustandes](#) nur dann ausgeführt, wenn die Option **Lastfluss: PQ, PU Knoten** in der Registerkarte [ATP Daten](#) aktiviert ist.



The screenshot shows the 'ATP Einstellwerte' dialog box with the 'ATP Daten' tab selected. The 'Lastflussberechnung' section at the bottom has the checkbox 'Lastfluss: PQ, PU Knoten' checked, indicated by a red arrow. Other options in this section include 'Lastfluss: DEA' (checked) and a dropdown menu set to '1-Step'. The 'Optionen' section above has several checkboxes, with 'Netztologie prüfen', '.LST-Datei prüfen', and '.LST-Datei: Warnungen prüfen' checked. The 'Einstellwerte dynamische Simulation' section contains input fields for 'Zeit = 20', 'Perioden dt = 1 ms', 'Vorlauf = 2', and 'Perioden Out = 10'.

- ⇒ Es werden nur Verbraucherlasten berücksichtigt, deren Option **Lastfluss EIN** im Einstelldialog der [Verbraucherlast](#) aktiviert sind.



The screenshot shows the 'Verbraucherlast' dialog box with various parameters: S = 2000 kVA, P = 1900 kW, Q = 624.5 kvar, s = 100 %, Un = 20000 V, cos phi = 0.95, and a dropdown set to 'untererregt'. The checkbox 'Lastfluss EIN' is checked, indicated by a red arrow. The calculated value '-0.001MVA = -0.1%' is shown in a text box. Buttons for 'Ok', 'Abbrechen', 'Übernehmen', and 'Hilfe' are at the bottom.

5.3.3.2 PU-Knoten

Ein PU-Knoten ist ein Netzknoten mit einer konstanten Wirkleistungseinspeisung P_n bei konstanter Knotenspannung U_n . Die Nachbildung erfolgt mit einer [Netzeinspeisung](#) oder einem [Generator](#).

5.3.3.3 Lastfluss: PQ und PU Knoten

Die Einstellwerte werden als Kriterien zur Überwachung der Konvergenz des Iterationsverfahrens der Lastflussberechnung verwendet.

Einstellwert	Bedeutung
Max. Schritte	<p>Maximale Anzahl Iterationsschritte für alle PQ-Knoten und PU-Knoten. Wird die maximale Iterationsschrittzahl erreicht, ohne die eingestellten Genauigkeiten zu erzielen, ist das Iterationsverfahren divergent (→ Divergenz).</p> <p>Es ist zu beachten, dass ATPDesigner zur Überwachung der Konvergenz aus den Einstellwerten Max. Schritte der Registerkarten Lastfluss: Lasten und Lastfluss: DEA den Maximalwert ermittelt und zur Konvergenzüberwachung verwendet.</p>
Wartezeit	<p>Bei Computersystemen mit geringer Performance können bei der schnellen Abfolge der Netzberechnungen der Lastflussiteration zeitbedingte Zugriffsprobleme auf temporäre Dateien auftreten. Mit Hilfe des Einstellwertes kann eine Wartezeit zwischen zwei Iterationsschritten eingestellt werden.</p>

5.3.3.4 Lastfluss: PQ Knoten - Konvergenzkriterien

Die Einstellwerte werden als Kriterien zur Überwachung der Konvergenz des Iterationsverfahrens der Lastflussberechnung für [PQ-Knoten](#) verwendet.

5.3.3.4.1 Lastfluss: PQ Knoten - Konvergenzkriterien dS und MAX(dS)

Die Konvergenz der Lastflussberechnung wird durch mehrere Kriterien überwacht und bewertet. Die Einstellwerte definieren die maximal zulässigen Abweichungen für [PQ-Knoten](#). Um die Konvergenz der Lastflussberechnung zu erreichen, müssen alle Konvergenzkriterien gleichzeitig als erfüllt bewertet werden.

1. Überwachung und Bewertung des Mittelwertes

Es wird der Mittelwert der Summe der Abweichungsbeträge der berechneten und eingestellten Scheinleistungen der [PQ-Knoten](#) bezogen auf die Summe der eingestellten Scheinleistungen berechnet und mit Hilfe der maximal zulässigen Abweichung **dS** bewertet.

$$\frac{\sum_{k=1}^N \left| \frac{S_{k \text{ berechnet}} - S_{k \text{ eingestellt}}}{S_{k \text{ eingestellt}}} \right|}{N} \leq dS$$

mit N = Anzahl [PQ-Knoten](#) mit aktiver Option **Lastfluss EIN**

2. Überwachung und Bewertung des Maximalwertes

Es wird der Maximalwert der Abweichungsbeträge der berechneten und eingestellten Scheinleistung der [PQ-Knoten](#) bezogen auf die eingestellte Scheinleistung ermittelt und mit Hilfe der maximal zulässigen Abweichung **dS** bewertet.

$$\max \left(\left| \frac{S_{k \text{ berechnet}} - S_{k \text{ eingestellt}}}{S_{k \text{ eingestellt}}} \right|_{k=1..N} \right) \leq dS$$

mit N = Anzahl [PQ-Knoten](#) mit aktiver Option **Lastfluss EIN**

Ist die Option **Lastfluss EIN** für einen PQ-Knoten nicht aktiviert, so wird eine Lastimpedanz mit konstantem Wert nachgebildet. Die Berechnung der Leiterimpedanzen \underline{Z}_{L123} erfolgt als Beispiel für das Modell der 3-phasigen Serienimpedanz in Sternschaltung entsprechend der nachfolgenden Gleichung.

$$\underline{Z}_{L123} = \frac{U_{LL}^2}{P - jQ}$$

Die Option **Lastfluss EIN** ist insbesondere für [Verbraucherlasten](#) von Bedeutung, da mit dieser Option z.B. eine externe Erdschlusslöschspule im Sternpunkt eines Transformators nachgebildet werden kann, die in der Lastflussberechnung nicht verändert werden darf.

5.3.3.4.2 Lastfluss: PQ Knoten - Globaler Teillastfaktor s

Die netzphysikalisch wirksame Scheinleistung der im Stromnetz vorhandenen [PQ-Knoten](#) kann für alle PQ-Knoten gemeinsam durch den **globalen Teillastfaktor s** auf einen Wert zwischen 0% und 100% eingestellt werden.

$$S = \sum_{k=1..N} S_k \cdot s_{global}$$

5.3.3.5 Lastfluss: PU Knoten - Konvergenzkriterien

Die Konvergenz der Lastflussberechnung wird durch mehrere Kriterien überwacht und bewertet. Die Einstellwerte definieren die maximal zulässigen Abweichungen für [PU-Knoten](#). Um die Konvergenz der Lastflussberechnung zu erreichen, müssen alle Konvergenzkriterien gleichzeitig als erfüllt bewertet werden.

1. Überwachung und Bewertung des Mittelwertes der Wirkleistung

Es wird der Mittelwert der Summe der Abweichungsbeträge der berechneten und eingestellten Wirkleistungen der [PU-Knoten](#) bezogen auf die Summe der eingestellten Wirkleistungen berechnet und mit Hilfe der maximal zulässigen Abweichung **dP** bewertet.

$$\frac{\sum_{k=1}^N \left| \frac{P_{k \text{ berechnet}} - P_{k \text{ eingestellt}}}{P_{k \text{ eingestellt}}} \right|}{N} \leq dP$$

mit N = Anzahl [PU-Knoten](#) mit aktiver Option **Lastfluss EIN**

2. Überwachung und Bewertung des Mittelwertes der Netzspannung

Die Abweichung der Netzspannung **dU** wird als Konvergenzkriterium derzeit nicht überwacht.

In der Tabelle im unteren Teil des Einstelldialogs sind die absoluten Phasenwinkel der symmetrischen 3-phasigen Spannungsquellen der Netzeinspeisungen, d.h. der Phasenwinkel der Mitsystemspannung \underline{U}_1 dargestellt, die als Ergebnis der Lastflussberechnung ermittelt wurden. Mit Hilfe dieser absoluten Phasenwinkel wird die Wirkleistungseinspeisung der Netzeinspeisungen im Iterationsverfahren eingestellt.

Bezeichner	Bedeutung
Löschen	Die in der Liste angezeigten Phasenwinkel werden zu 0.0° zurückgesetzt.
Kopieren	Die in der Liste angezeigten Werte werden in die korrespondierenden Einstellwerte phi (U) kopiert. Eine Rücknahme ist nicht möglich.

5.3.3.6 Lastfluss: PU-Knoten - Konvergenzbeschleunigung

Mit Hilfe der Funktion **Kopieren** ist es möglich, den absoluten Phasenwinkel als Ergebnis der Lastflussberechnung in den Einstelldialog der jeweiligen Netzeinspeisung zu kopieren und dann diesen Wert als Startwert einer erneuten Lastflussberechnung zu verwenden. Dadurch kann sich eine Konvergenzbeschleunigung ergeben.

5.3.4 Überwachung der Netzspannung - U>, U< - Überwachung (EN50160)

Die Leiter-Erd- und die Leiter-Leiter-Spannungen an den [Sammelschienen](#) sowie am Netzanschlusspunkt (NAP) der [Erzeugungsanlagen \(DEA\)](#) werden Leiter-Erd-selektiv bzw. Leiter-Leiter-selektiv bezüglich des Auftretens einer unzulässig hohen oder niedrigen Netzspannung überwacht.

Einstellwert	Bedeutung
U<	Kleinste zulässige Leiter-Leiter-Spannung in %U _n bzw. Leiter-Erd-Spannung in U _n / √3
U>	Größte zulässige Leiter-Leiter-Spannung in %U _n bzw. Leiter-Erd-Spannung in U _n / √3

- ⇒ Für Sammelschienen wird als Bezugswert die Nennspannung **U_n**, für die Erzeugungsanlagen (DEA) die Nennspannung **U_{n init}** verwendet.
- ⇒ Wird eine unzulässige hohe oder niedrige Spannung erkannt, wird das Betriebsmittel **rot** eingefärbt.

Die Ergebnisse der Spannungsüberwachung werden als Ergebnis der Lastflussberechnung in einem **Bericht** (.XLM-Datei [21]) im **Projektverzeichnis** gespeichert. Der Dateiname ist wie folgt definiert. Der **NetDateiname** ist der Dateiname der zugehörigen **.NET-Datei**.

JJJJMMThhmmss_NetDateiname_LF.xml

Berichte von ATPDesigner verwenden das international standardisierte XML-basierten Format **Office Open XML** [21] und können mit den üblichen Textverarbeitungssystemen wie z.B. WORD direkt geöffnet und weiterverarbeitet werden.

Spannungsüberwachung: Sammelschiene

Name	Un [kV]	U12 [%]	U23 [%]	U31 [%]	U<> [%]	HB [%]	Zustand
[Bb 1]	20.0	101.18	101.18	101.18	90% - 110%	0	Grün

Name	Un [kV]	UL1 [%]	UL2 [%]	UL3 [%]	U<> [%]	HB [%]	Zustand
[Bb 1]	20.0	101.18	101.18	101.18	90% - 110%	0	Grün

Name	Un [kV]	U1 [%]	U2 [%]	U0 [%]	phiU1 [°]	phiU2 [°]	phiU0 [°]	Zustand
[Bb 1]	20.0	101.18	0.00	0.00	-88.33	-51.34	-169.70	Grün

Häufigkeiten der Sammelschienenspannungen

Klassen	ULL	ULE	U1
<=90%	0	0	0
]90% - 92%]	0	0	0
]92% - 94%]	0	0	0
]94% - 96%]	0	0	0
]96% - 98%]	0	0	0
]98% - 100%]	0	0	0
]100% - 102%]	1	1	1
]102% - 104%]	0	0	0
]104% - 106%]	0	0	0
]106% - 108%]	0	0	0
]108% - 110%]	0	0	0
>110%	0	0	0

Spannungsüberwachung: Erzeugungsanlage (DEA)

Name	Un [kV]	U12 [%]	U23 [%]	U31 [%]	U<> [%]	Zustand
[3Ph 1] 5MW	20.0	102.21	102.21	102.21	U<=0%; U>=1e+17%	Grün

Name	Un [kV]	UL1 [%]	UL2 [%]	UL3 [%]	U<> [%]	Zustand
[3Ph 1] 5MW	20.0	102.21	102.21	102.21	U<=0%; U>=1e+17%	Grün

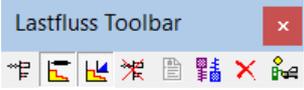
Abbildung 33: Bericht - Ergebnisse der Überwachung der Sammelschienenspannungen

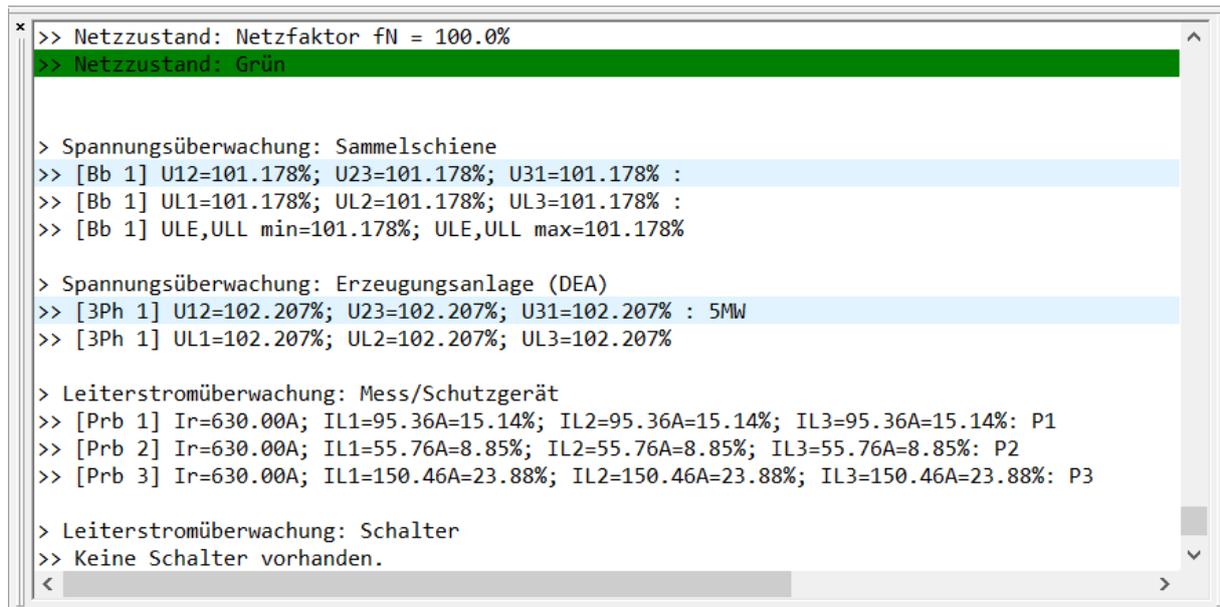
Die Ergebnisse werden auch im **Meldungsfenster** ausgegeben.

5.3.4.1 U>, U< - Überwachung – Ausgabe im Meldungsfenster

Die Sammelschienenspannungen werden selektiv nach Leiter-Leiter-Spannungen und Leiter-Erd-Spannungen durch die beiden Einstellwerte U< und U> nach der Berechnung des stationären Netzzustandes überwacht.

Die Ergebnisse werden wie nachfolgend dargestellt im **Meldungsfenster** und optional in dem Dialog **Ergebnisse Lastflussberechnung**  ausgegeben. Liegt die berechnete Leiter-Leiter- oder Leiter-Erd-Spannung außerhalb des zulässigen Bereiches wird die Sammelschiene in der Netzgrafik **rot** gezeichnet. Die rote Zeichenfarbe kann mit dem

Toolbar-Button  z.B. in der **Lastfluss Toolbar**  aus der Netzgrafik entfernt werden.



```

x
>> Netzzustand: Netzfaktor fN = 100.0%
>> Netzzustand: Grün

> Spannungsüberwachung: Sammelschiene
>> [Bb 1] U12=101.178%; U23=101.178%; U31=101.178% :
>> [Bb 1] UL1=101.178%; UL2=101.178%; UL3=101.178% :
>> [Bb 1] ULE,ULL min=101.178%; ULE,ULL max=101.178%

> Spannungsüberwachung: Erzeugungsanlage (DEA)
>> [3Ph 1] U12=102.207%; U23=102.207%; U31=102.207% : 5MW
>> [3Ph 1] UL1=102.207%; UL2=102.207%; UL3=102.207%

> Leiterstromüberwachung: Mess/Schutzgerät
>> [Prb 1] Ir=630.00A; IL1=95.36A=15.14%; IL2=95.36A=15.14%; IL3=95.36A=15.14%: P1
>> [Prb 2] Ir=630.00A; IL1=55.76A=8.85%; IL2=55.76A=8.85%; IL3=55.76A=8.85%: P2
>> [Prb 3] Ir=630.00A; IL1=150.46A=23.88%; IL2=150.46A=23.88%; IL3=150.46A=23.88%: P3

> Leiterstromüberwachung: Schalter
>> Keine Schalter vorhanden.

```

Abbildung 34: Ausgabe der Ergebnisse der Spannungsüberwachung im Meldungsfenster

5.3.5 Registerkarte *Load Flow* (ATP Lastfluss)

Die Einstelldaten der **EMTP Load Flow** Option entsprechen den Einstelldaten im **ATP Rule Book** (Kapitel X. EMTP Load Flow Cards).

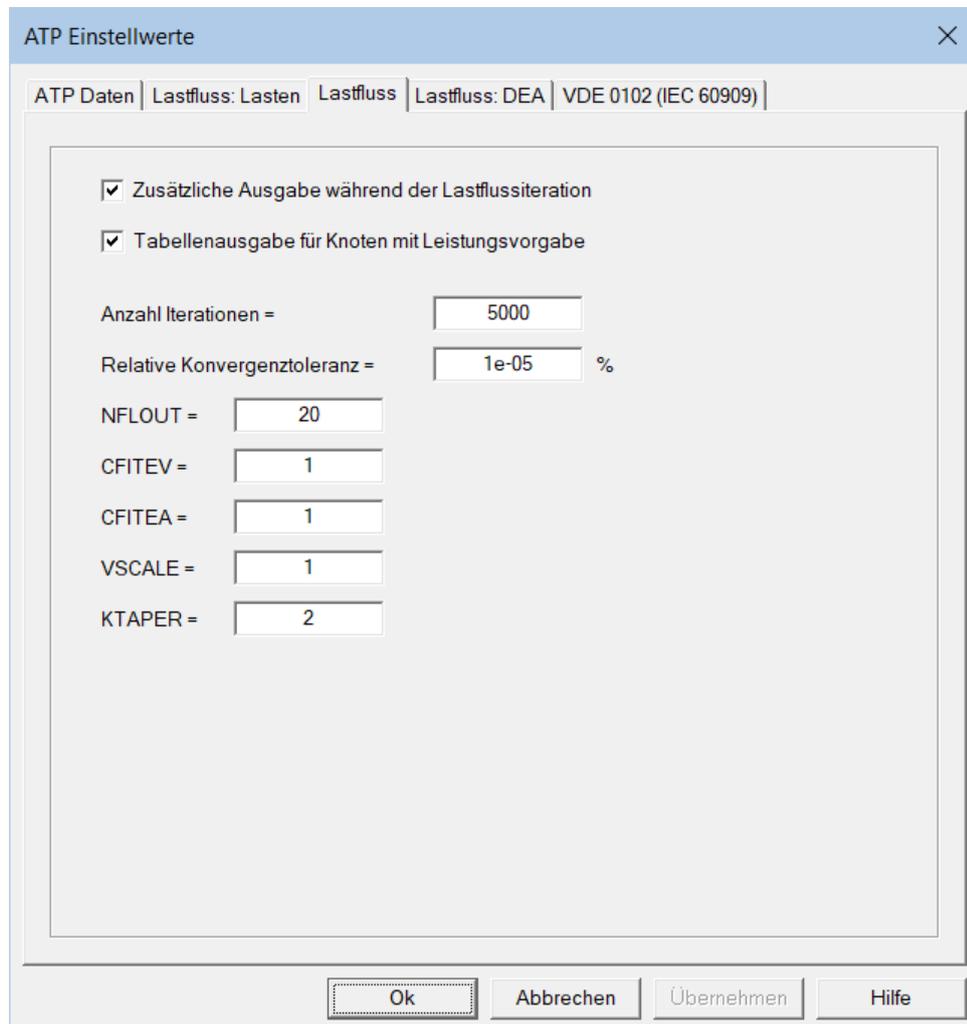


Abbildung 35: Einstelldialog ATP Load Flow

Ist die Option **ATP Load Flow** in der Registerkarte **ATP Daten** aktiv, wird von ATPDesigner automatisch das Schlüsselwort **FIX SOURCE** in die .ATP-Eingabedatei eingefügt. Der ATP Lastfluss ist nicht mit der Lastflussberechnung des ATPDesigner identisch, sondern wird vom ATP direkt ausgeführt.

5.3.6 Registerkarte **Lastfluss: DEA**

Die Option **Lastfluss: DEA** kann dazu verwendet werden, dezentrale Erzeugungsanlagen, die mit Hilfe von Netzstromrichtern (Wechselrichter) Strom ins Stromnetz einspeisen, nachzubilden. Die Nachbildung der Netzstromrichter basiert auf einem grundschwingungsfrequenten Stromquellenmodell und verwendet das Erzeugerzählpfeilsystem (EZS). Der Einstelldialog kann z.B. mit einem **Left Mouse Button Double Click** den Eintrag **ATP Einstellwerte** in den **Projektinformationen** geöffnet werden.

5.3.6.1 1-phasiger Wechselrichter

Im Niederspannungsnetz finden oftmals bis zu drei 1-phasige Wechselrichter an einem Netzanschlusspunkt (NAP) Verwendung. Je nach einzuspeisender Leistung wird eine 1- oder 2- oder 3-phasige Einspeisung durch mehrere nicht gekoppelte 1-phasige Wechselrichter realisiert, die unabhängig voneinander Strom einspeisen. Jeder 1-phasige Wechselrichter erfasst nur die Leiter-Erd-Spannung des Leiters, an den er angeschaltet ist, und speist in Abhängigkeit dieser Spannung einen Leiterstrom mit eingestelltem Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ ein. Es erfolgt kein Datenaustausch zwischen den 1-phasigen Wechselrichtern. Beim Betrieb von mehreren 1-phasigen Wechselrichtern können daher die Leiterströme unterschiedliche Beträge aufweisen, die Phasenverschiebung kann wegen des fehlenden Datenaustauschs zwischen den Wechselrichtern unsymmetrisch sein, kann sich also abhängig vom Netzzustand frei einstellen. Es kann eine symmetrische oder unsymmetrische Einspeisung mit 1, 2 oder 3 nicht gekoppelten Wechselrichtern nachgebildet werden. Ein 1-phasiger Wechselrichter wird in ATPDesigner durch eine 1-phasige, geregelte Stromquelle nachgebildet.

5.3.6.2 3-phasiger symmetrischer Wechselrichter (Vollumrichter)

In Mittel- und Hochspannungsnetzen werden nach VDE-AR-N 4110/4120 [18],[30] wegen der größeren Einspeiseleistung ausschließlich 3-phasige symmetrisch einspeisende Wechselrichter (Vollumrichter) eingesetzt. Zukünftig müssen auch im Niederspannungsnetz nach VDE-AR-N 4105 [31] für die in der Anwendungsrichtlinie definierte Einspeiseleistungen 3-phasige symmetrisch einspeisende Wechselrichter (Vollumrichter) eingesetzt werden.

Vollumrichter speisen im fehlerfreien Normalbetrieb des Stromnetzes symmetrische Leiterströme ein, d.h. die Beträge der drei Leiterströme I_{L123} sind gleich, die Phasenverschiebung $\Delta\varphi$ beträgt 120° .

$$|I_{L1}| = |I_{L2}| = |I_{L3}|$$

$$\varphi_{I_{L2}} = \varphi_{I_{L1}} - 120^\circ$$

$$\varphi_{I_{L3}} = \varphi_{I_{L1}} + 120^\circ$$

Es erfolgt im Normalbetrieb des Stromnetzes somit am Netzanschlusspunkt (NAP) der Erzeugungsanlage nur eine Einspeisung im Mitsystem mit einem Mitsystemstrom I_1 . Gegensystemstrom I_2 und Nullsystemstrom I_0 sind beide dem Betrage nach immer gleich Null.

$$|\underline{I}_1| \geq 0, |\underline{I}_2| = 0, |\underline{I}_0| = 0$$

Im Kurzschlussfall, d.h. im Kurzschlussbetrieb des Stromnetzes kann entsprechend den Anwendungsrichtlinien VDE-AR-N 4110/4120 [18],[30] für den LVRT-Betrieb eine unsymmetrische Stromeinspeisung mit einem Mitsystemstrom \underline{I}_1 und einem Gegensystemstrom \underline{I}_2 ungleich Null erforderlich sein. In aller Regel wird im Kurzschlussbetrieb der Nullsystemstrom $\underline{I}_0 = 0$ angenommen, da zwischen dem Stromnetz der dezentralen Erzeugungsanlage und dem Stromnetz des Netzbetreibers i.a. Regel ein Transformator die Nullsysteme der beiden Stromnetze entkoppelt.

$$|\underline{I}_1| \geq 0, |\underline{I}_2| \geq 0, |\underline{I}_0| = 0$$

Ein 3-phasiger symmetrisch einspeisender Wechselrichter (Vollumrichter) wird in ATPDesigner intern durch drei 1-phasige Stromquellen in Sternschaltung nachgebildet. Stromquellen bilden in guter Näherung das Grundschwingungsverhalten der leistungselektronischen Komponenten von Vollumrichtern aus Sicht des Stromnetzes nach.

- ⇒ Die Berechnung der Beträge der Leiterströme und der Phasenwinkel der Stromquellen erfolgt nicht in Leitergrößen, sondern mit Hilfe der Symmetrischen Komponenten des 012-Systems. Mit Hilfe der bekannten Transformationsgleichungen werden daraus die Leitergrößen berechnet. Weiteres kann dazu in der Beschreibung des Netzwerkelementes [Erzeugungsanlagen \(DEA\)](#) nachgelesen werden.

Es soll schon hier angemerkt werden, dass die dezentrale Erzeugungsanlage hinsichtlich der Wirk- und Blindleistung im 4-Quadranten-Betrieb verwendet werden kann. Das in ATPDesigner vorhandenen Modell ist in der Lage, Wirkleistung einzuspeisen und zu beziehen. Unabhängig von der Wirkleistung ist ein unter- oder übererregter Betrieb möglich, d.h. bezogen auf den Netzanschlusspunkt (NAP) kann Blindleistung bezogen oder eingespeist werden.

5.3.6.3 Iterative Lastflussberechnung, Konvergenzbedingungen

Die Option **Lastfluss: DEA** dient dazu, die im Netz verwendeten [Erzeugungsanlagen \(DEA\)](#) iterativ so einzustellen, dass die am Netzanschlusspunkt (NAP) der Erzeugungsanlage berechneten Leistungen P, Q und S sowie Leitströme \underline{I}_{L123} , Leiter-Erd-Spannungen \underline{U}_{L123} und die Phasenwinkel φ_{L123} unter Berücksichtigung der Anwendungsregeln VDE-AR-N 4xxx in guter Näherung den Vorgabe des Anwenders entsprechen.

Hier muss zwischen dem **Normalbetrieb des Stromnetzes** und dem **Kurzschlussbetrieb des Stromnetzes** unterschieden werden, da für beide Netzbetriebsarten verschiedene normative Anforderungen berücksichtigt werden müssen.

- ⇒ **Für den Kurzschlussbetrieb der Stromnetze sind hinsichtlich des Verhaltens dezentraler Erzeugungsanlagen insbesondere die Anwendungsrichtlinien VDE-AR-N 4105/4110/4120 [18],[30], [31] zu berücksichtigen.**

Die Genauigkeit der Lastflussberechnung wird während des Ablaufes des Iterationsverfahrens durch Konvergenzkriterien überwacht. Die Genauigkeit des Iterationsprozesses kann vom Anwender in der Registerkarte **Lastfluss: DEA** des Einstelldialogs **ATP Einstellwerte** eingestellt werden.

5.3.6.3.1 3-phasiger Wechselrichter (Vollumrichter) im Normalbetrieb

Im fehlerfreien Normalbetrieb soll die dezentrale Erzeugungsanlage, die als 3-phasiger symmetrisch einspeisender Wechselrichter (Vollumrichter) arbeitet, am Netzanschlusspunkt (NAP) Wirkleistung in das Stromnetz einspeisen oder im Falle von Speichersystemen aus dem Stromnetz beziehen. Unabhängig davon soll ein über- oder untererregter Betrieb, d.h. Einspeisung oder Bezug von Blindleistung möglich sein. Da im 3-phasig symmetrischen Betrieb des Wechselrichters nur Ströme in das Mitsystem eingespeist oder aus dem Mitsystem bezogen werden, arbeitet das iterative Verfahren nur im Mitsystem.

⇒ Man spricht hier von einer **Iteration im Mitsystem**. Es gilt: $|\underline{I}_1| \geq 0, |\underline{I}_2| = 0, |\underline{I}_0| = 0$

In dieser Betriebsweise wird die Winkeldifferenz φ_1 zwischen Mitsystemspannung \underline{U}_1 und Mitsystemstrom \underline{I}_1 , die am Netzanschlusspunkt (NAP) gemessen wird, sowie eine Einspeisescheinleistung P oder S iterativ den anwenderspezifischen Vorgaben angenähert und durch Konvergenzkriterien überwacht.

⇒ Die **Winkeldifferenz** φ_1 zwischen Strom \underline{I}_1 und Spannung \underline{U}_1 im Mitsystem ist im symmetrischen Netzbetrieb gleich dem **Winkel des Verschiebungsfaktors** $\cos \varphi$.

$$\cos(\varphi) = \frac{P}{S} = \cos(\varphi_1)$$

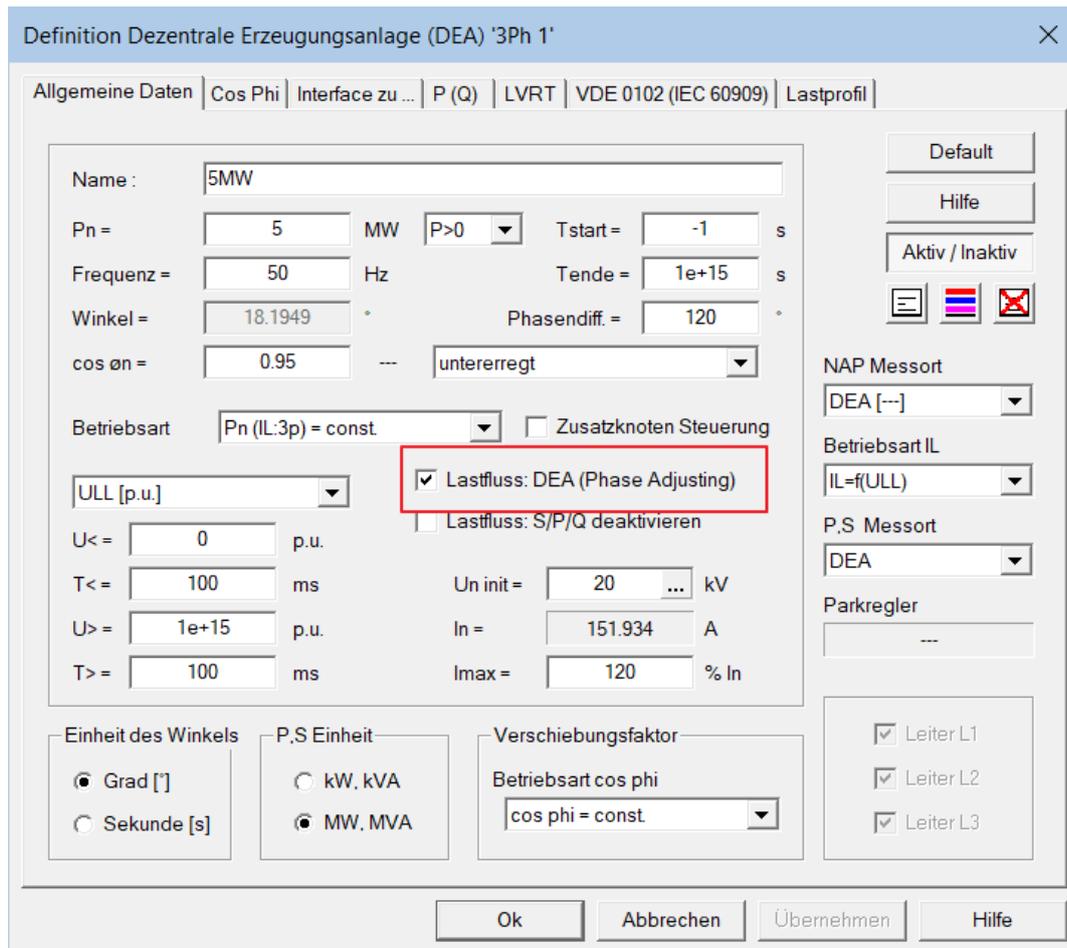


Abbildung 36: Option Lastfluss: DEA

In der vorhergehenden Abbildung ist die Definition einer [Erzeugungsanlagen \(DEA\)](#) mit Wirkleistungseinspeisung **P_n (IL:3p) = const.** dargestellt. Die Erzeugungsanlage arbeitet als 3-phasig symmetrisch einspeisende Leistungsquelle. Durch die Option **Lastfluss: DEA (Phase Adjusting)** wird die Erzeugungsanlage in der iterativen Lastflussberechnung berücksichtigt. Mit dem Verschiebungsfaktor **cos φ_n = 0.95** wird im unterregten Betrieb Blindleistung aus dem Stromnetz bezogen. Es ist zu beachten, dass die tatsächlich eingespeiste Wirkleistung P durch verschiedene Teillastfaktoren aus der Nennwirkleistung **P_n** berechnet wird. In der nachfolgenden Abbildung sind die Einstellungen für den **globalen** und **spezifischen Teillastfaktor** dargestellt.

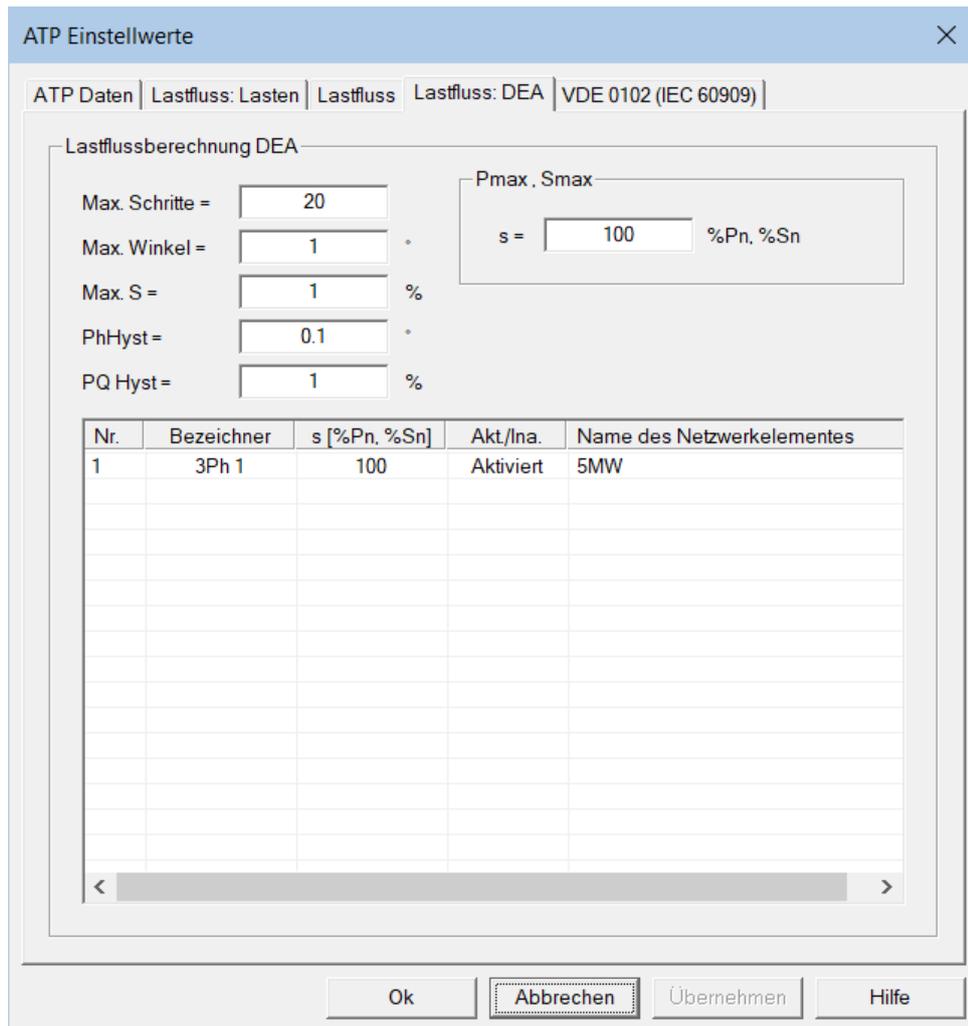


Abbildung 37: Einstelldialog **Lastfluss: DEA**

Der **globale Teillastfaktor** s_{global} wird als globaler Faktor für alle [Erzeugungsanlagen \(DEA\)](#) verwendet und kann in der Registerkarte **Lastfluss: DEA** mit dem Einstellwert **s** in der Gruppe **Pmax, Smax** eingestellt werden. Darüber hinaus ist es möglich, in der Registerkarte für jede Erzeugungsanlage getrennt einen spezifischen Teillastfaktor $s_{\text{spezifisch}}$ in der Tabelle mit den Einstellwerten **s [%Pn, %Sn]** einzustellen.

$$P = s_{\text{global}} \cdot s_{\text{spezifisch}} \cdot P_n$$

Für die eingespeiste Scheinleistung S gilt:

$$S = s_{\text{global}} \cdot s_{\text{spezifisch}} \cdot \frac{P_n}{\cos\varphi_n}$$

5.3.6.3.2 Lastfluss: DEA - Konvergenzkriterien

Nachfolgend sind die Konvergenzkriterien sowie die Vorgehensweise zur Überwachung und Bewertung der Konvergenz der Lastflussberechnung erläutert.

⇒ Konvergenz liegt vor, wenn alle Konvergenzkriterien gleichzeitig erfüllt sind.

Einstellwert	Bedeutung
Max. Schritte	<p>Maximale Anzahl Iterationsschritte der Lastflussberechnung</p> <p>Wird die maximal zulässige Anzahl Iterationsschritte erreicht, ohne dass alle weiteren Konvergenzkriterien erfüllt sind, wird die Divergenz der Lastflussberechnung erkannt und keine Berechnungsergebnisse ausgegeben oder in der Netzgrafik angezeigt.</p> <p>⇒ Es ist zu beachten, dass ATPDesigner zur Überwachung der Konvergenz aus den Einstellwerten Max. Schritte der Registerkarten Lastfluss: Lasten und Lastfluss: DEA den Maximalwert ermittelt und zur Konvergenzüberwachung verwendet.</p>
Max. Winkel	<p>Maximal zulässige Abweichung des Phasenwinkels zwischen Mitsystemstrom \underline{I}_1 und Mitsystemspannung \underline{U}_1</p> <p>Das Konvergenzkriterium wird verwendet, um die absolute Abweichung des berechneten zum eingestellten Differenzphasenwinkel zu bewerten. Der Differenzphasenwinkel wird aus dem Verschiebungsfaktor berechnet. Der Algorithmus verwendet den Betrag des Differenzwinkels.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Es wird der Mittelwert der absoluten Abweichung für alle Betriebsmittel berechnet und bewertet. 2. Es wird der der maximale Wert der absoluten Abweichung für alle Betriebsmittel ermittelt und bewertet. $\frac{\sum_{k=1}^N \Delta\varphi_k \text{ berechnet} - \Delta\varphi_k \text{ eingestellt} }{N} \leq \text{Max. Winkel}$ $\max \left(\Delta\varphi_k \text{ berechnet} - \Delta\varphi_k \text{ eingestellt} _{k=1..N} \right) \leq \text{Max. Winkel}$ <p>mit N = Anzahl Erzeugungsanlagen (DEA)</p> <p>Es muss hier beachtet werden, dass die Anzahl N abhängig von den Betriebsarten Sn,Pn(IL:1/2/3p) bzw. Sn,Pn(IL:3p) der jeweiligen Erzeugungsanlagen (DEA) bestimmt wird. Die Ursache ist, dass für eine 3-phasig symmetrische Stromquelle nur eine Winkeldifferenz zwischen Mitsystemspannung \underline{U}_1 und Mitsystemstrom \underline{I}_1 in der Mittelwertberechnung verwendet wird, für die 1/2/3-phasigen Stromquellen je aktiviertem Leiter eine Winkeldifferenz also bis zu drei Winkeldifferenzen.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ für Sn,Pn(IL:1/2/3p): $\Delta N = 1$ je Erzeugungsanlagen (DEA) ▪ für Sn,Pn(IL:3p): $\Delta N = 1, 2$ oder 3 je Erzeugungsanlagen (DEA) <p>Es werden nur Erzeugungsanlagen (DEA) betrachtet, deren Option Lastfluss: DEA (Phase Adjusting) aktiviert ist.</p>

Max. S**Maximal zulässige Abweichung der Scheinleistung**

Das Konvergenzkriterium wird verwendet, um die relative Abweichung der Scheinleistung zu überwachen. Der Algorithmus verwendet den Betrag der Differenz von berechneter und eingestellter Scheinleistung.

1. Es wird der Mittelwert der relativen Abweichung aller Betriebsmittel berechnet und bewertet.
2. Es wird der maximale Wert der relativen Abweichung aller Betriebsmittel berechnet und bewertet.

$$\frac{\sum_{k=1}^N \left| \frac{S_{k \text{ berechnet}} - S_{k \text{ eingestellt}}}{S_{k \text{ eingestellt}}} \right|}{N} \leq \text{Max. } S$$

$$\max \left(\left| \frac{S_{k \text{ berechnet}} - S_{k \text{ eingestellt}}}{S_{k \text{ eingestellt}}} \right|_{k=1..N} \right) < \text{Max. } S$$

mit N = Anzahl [Erzeugungsanlagen \(DEA\)](#)

Im Gegensatz zur Konvergenzbedingung der Phasenwinkel wird je **Erzeugungsanlage (DEA)** immer nur ein einziger Scheinleistungswert berechnet und in der Mittelwertbildung oder einzeln berücksichtigt. Abhängig von der Einstellung kann die Scheinleistung aus einer 1-, 2- oder 3-phasigen Stromquelle eingespeist oder bezogen werden.

Es werden nur [Erzeugungsanlagen \(DEA\)](#) verwendet, deren Option **Lastfluss: DEA (Adjusting Phase)** aktiviert ist.

Globaler Teillastfaktor s

Der Einstellwert **s** gibt den Anteil der Nennscheinleistung S_n bzw. der Nennwirkleistung P_n an, der während der Lastflussberechnung tatsächlich eingespeist wird.

$$S = s \cdot S_n$$

Mit Hilfe des Einstellwertes werden alle aktiven Konstantleistungsquellen der [Erzeugungsanlagen \(DEA\)](#) gleichzeitig bewertet.

Darüber hinaus enthält der Einstelldialog weitere Einstellungen, die nicht als Konvergenzbedingung verwendet werden.

Einstellwert	Bedeutung
Pmax, Smax	Globaler Teillastfaktor, der für alle Erzeugungsanlagen (DEA) angewendet wird.
PQ Hyst	Hysterese für die Winkeldrehung von Zeigern Ursache ist hier die mathematische Eigenschaft des Rechenkerns ATP, der absolute Winkellagen auch größer als 360°

	<p>oder kleiner 0° berechnet. So ist ein absoluter Winkel $2^\circ = 362^\circ$ elektrisch identisch, im Sinne der Konvergenzkriterien führt ein absoluter Winkel von 2° eher zum Erfüllen des Konvergenzkriteriums als 362°. Daher werden die Phasenwinkel in das Intervall $[0^\circ, 360^\circ]$ zurückgedreht.</p> <p>ATPDesigner korrigiert die von dem Rechenkern ATP berechneten Phasenverschiebungen zwischen den Leiter-Erd-Spannungen und den Leiterströmen so, dass die resultierenden Differenzwinkel im Intervall $[0^\circ \dots 360^\circ]$ liegen. Dazu werden außerhalb des Intervalls liegende Winkel so lange um 360° gedreht, bis der resultierende Winkel innerhalb des Intervalls liegt.</p> <p>Der Einstellwert PQ Hyst gibt den Hysteresebereich für die beiden Grenzwerte des Intervalls vor, in dem eine Korrektur um 360° erfolgt. Mit Hilfe der Hysterese können numerische Rundungsprobleme bei der Überprüfung des Konvergenzkriterien vermieden werden. Insofern erhöht eine größere Hysterese die Wahrscheinlichkeit der Konvergenz, eine sehr kleine Hysterese führt eher zu Divergenz.</p>
Akt./Ina.	Erzeugungsanlage (DEA) ist aktiviert oder deaktiviert.

5.3.6.4 Liste der spezifischen Teillastfaktoren s [%Pn, %Sn]

Zusätzlich zu dem globalen Teillastfaktor kann für jede [Erzeugungsanlagen \(DEA\)](#) ein spezifischer Teillastfaktor definiert werden. Die Einspeiseleistung ergibt sich unter Berücksichtigung des globalen und des spezifischen Teillastfaktors in Abhängigkeit der Betriebsart wie folgt:

$$S = s_{global} \cdot s_{spezifisch} \cdot \frac{P_n}{\cos\varphi} \quad \text{oder} \quad P = s_{global} \cdot s_{spezifisch} \cdot P_n$$

5.3.7 Registerkarte VDE 0102 (IEC 60909)

siehe Kapitel [Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102](#)

5.4 Einstellungen zur Netzkonfiguration

Die allgemeinen, netzspezifischen Einstellungen werden im Einstelldialog [Einstellungen Elektrisches Netz](#) vorgenommen. Der Einstelldialog kann wie folgt beschrieben geöffnet werden.

- Hauptmenü **Netzwerk**
- Menüpunkt **Netzkonfiguration** 

Der Einstelldialog kann auch in vielen Baumstrukturen wie z.B. **Projektinformationen** in der Registerkarte **Netzwerk** mit einem **Left Mouse Button Double Click** auf den Eintrag **Netzkonfiguration** geöffnet werden.



Abbildung 38: Öffnen von **ATP Einstellwerte** und **Netzkonfiguration** in **Projektinformationen**

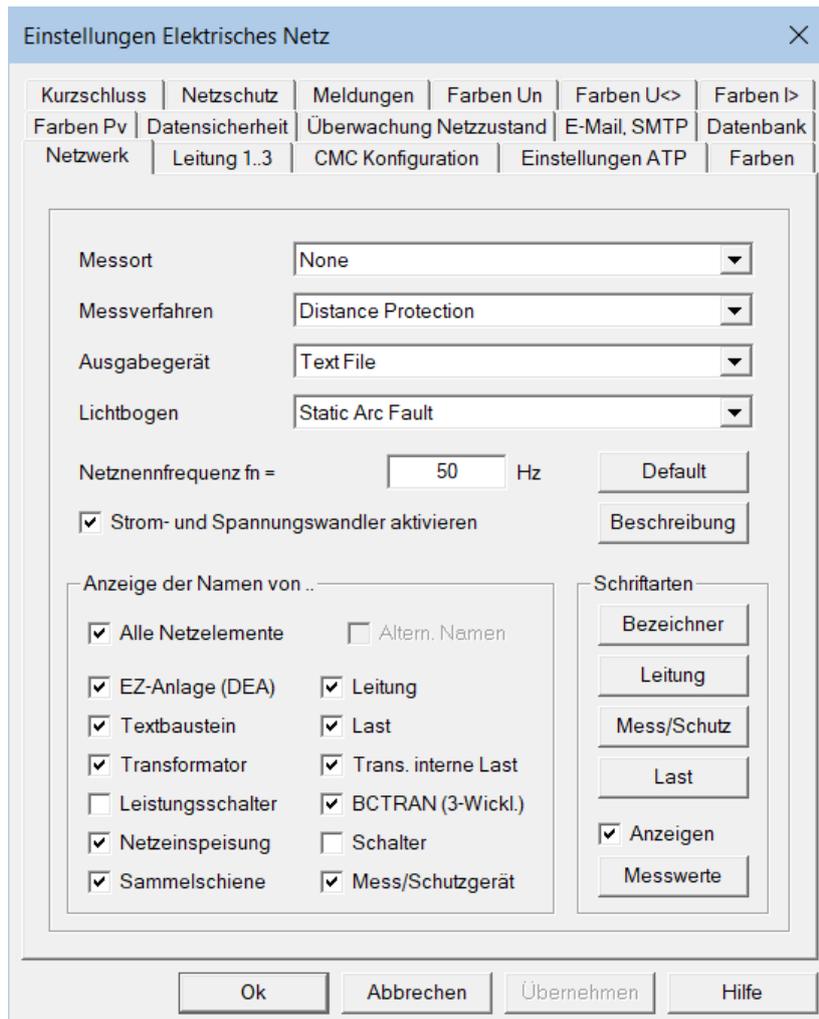
5.4.1 Registerkarte **Netzwerk**

Der nachfolgende Einstelldialog ermöglicht es, allgemeine Einstellungen für das Elektroenergieversorgungsnetz zu definieren.

Einstellwert	Bedeutung
Messort	Aktivierung von Messorten M1..5 an den zugehörigen Schaltern Schalter (CB) Cb1..5
Lichtbogen	Auswahl des Modells für die Lichtbogennachbildung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Statischer Lichtbogen - Static Arc Fault ▪ Dynamischer Lichtbogen - Dynamic Arc Fault
Strom- und Spannungswandler aktivieren	Aktivierung der Strom- und Spannungswandler für Schalter (CB) Cb1...5

Die Netznennfrequenz f_n ist immer identisch mit der Netznennfrequenz f_n , die im Einstelldialog der Netzeinspeisung **Network 1** definiert wird.

Die nachfolgenden Dialogelemente ermöglichen es, die Bezeichner der Netzwerkelemente in der Netzgrafik anzuzeigen oder nicht anzuzeigen. Der Einstellwert **Alle Netzwerkelemente** schaltet übergeordnet die Anzeige aller Textelemente aus. Um die Bezeichner einzuschalten, muss das übergeordnete Dialogelement **Alle Netzwerkelemente** und zusätzlich das spezifische Dialogelement eingeschaltet sein.

Abbildung 39: Einstelldialog *Einstellungen Elektrisches Netz*

Bezeichner	Bedeutung
Alle Netzelemente	Anwenderspezifische Namen aller Netzwerkelemente werden angezeigt. Ist die Option deaktiviert, so werden keine Bezeichner an den Netzwerkelementen angezeigt.
Altern. Namen	Ist die Option Alle Netzwerkelemente deaktiviert, so kann mit dieser Option die Anzeige Alternativer Namen sog. Aliases an den Netzwerkelementen aktiviert werden. Damit ist es möglich, eine anonymisierte Darstellung des Stromnetzes zu erhalten.
Leistungsschalter	Anwenderspezifische Namen der Leistungsschalter werden angezeigt.
Schalter	Anwenderspezifische Namen der Schalter werden angezeigt.
Last	Anwenderspezifische Namen der Verbraucherlast werden angezeigt.
Leitung	Anwenderspezifische Namen der Leitungen werden angezeigt.
Transformator	Anwenderspezifische Namen der 2-Wicklungs-Transformatoren werden angezeigt.
BCTRAN (3-Wickl.)	Anwenderspezifische Namen der 2/3-Wicklungs-Transformatoren (BCTRAN) werden angezeigt.

Sammelschiene	Anwenderspezifische Namen der Sammelschiene werden angezeigt.
Mess/Schutzgerät	Anwenderspezifische Namen der Mess/Schutzgeräte werden angezeigt.
EZ-Anlage (DEA)	Anwenderspezifische Namen der Erzeugungsanlagen (DEA) werden angezeigt.
Netzeinspeisung	Anwenderspezifische Namen der Netzeinspeisungen werden angezeigt.
Default	Laden der Grundeinstellung des Einstelldialogs
Beschreibung	Texteditor zur Eingabe und Änderung einer textuellen Beschreibung öffnen.
Anzeigen	Die Anzeige der Messwerte kann mit der Option Anzeigen ein- oder ausgeschaltet werden.
Textbaustein	Die Netzwerkelemente des Typs Textbaustein werden sichtbar oder unsichtbar geschaltet.
Trans. Interne Last	Anwenderspezifische Namen der internen Verbraucherlast der 2-Wicklungs-Transformatoren werden angezeigt.

In der Gruppe **Schriftarten** können Schriftarten und Schriftfarben eingestellt werden.

Bezeichner	Bedeutung
Bezeichner	Schriftart der anwenderspezifischen Bezeichner für die Netzwerkelemente wie z.B. der Name
Messwerte	Schriftart und Schriftfarbe für die Messwerte z.B. der Verbraucherlasten, die in der Netzgrafik nahe dem Symbol des Netzwerkelementes angezeigt werden. Die Anzeige der Messwerte kann mit der Option Anzeigen ein- oder ausgeschaltet werden.
Leitung	Schriftart der anwenderspezifischen Bezeichner von Leitungen
Mess/Schutz	Schriftart der anwenderspezifischen Bezeichner von Mess-/Schutzgeräten
Last	Schriftart der anwenderspezifischen Bezeichner der Lasten der Netzwerkelemente Verbraucherlast , Leitung und 2-Wicklungs-Transformatoren

5.4.1.1 Ausgabegerät

Mit diesem Einstellwert kann ein Ausgabegerät gewählt werden, das für mehrere Anwendungen verwendet wird. Das Ausgabegerät ist u.a. von Bedeutung, wenn **automatisierte Netzberechnungen** oder **Prüfungen von Schutzgeräten** durchgeführt werden.

Ausgabegerät	Bedeutung
CMC Test System	Mit diesem Ausgabegerät können die berechneten Spannungs- und Stromverläufe zu einem angeschlossenen Prüfsystem CMCxxx der Fa. Omicron zur Prüfung von Netzschutzeinrichtungen gesendet werden.
COMTRADE File	Mit diesem Ausgabegerät können die im Verlauf einer Testfunktion berechneten Spannungs- und Stromverläufe in getrennte COMTRADE - Dateien gespeichert werden.

Text File und Text File (Excel)	Mit diesem Ausgabegerät können die im Verlauf einer Testfunktion berechneten Spannungs- und Stromverläufe in getrennte Textdateien gespeichert werden. Im Falle der Betriebsart Text File (Excel) werden die Dezimalpunkte der Zahlenwerte zu Dezimalkommas konvertiert, um eine Weiterverarbeitung mit der deutschen Version von Excel zu vereinfachen.
Load Flow (Prbx)	ATPDesigner führt 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 ein Mess/Schutzgerät deaktiviert, so werden die Messwerte nicht in die Textdatei ausgegeben.

5.4.1.2 Messverfahren

Das Messverfahren ist von Bedeutung, wenn **Prüfungen von Schutzgeräten** mit Hilfe der Sekundärprüfeinrichtungen CMCxxx der Fa. Omicron durchgeführt werden.

- **Distanzschutz – Distance Protection**
Dieses Messverfahren ist zu wählen, wenn an einem Messort jeweils die Leiter-Erd-Spannungen und die Leiterströme berechnet und zur Prüfung verwendet werden. Das Messverfahren ist für **Distanzschutz-** oder **UMZ-Schutzeinrichtungen** geeignet.
- **Differentialschutz - Diff. Protection**
Dieses Messverfahren ist zu wählen, wenn an zwei oder mehr Messorten die Leiterströme berechnet und zur Prüfung verwendet werden. Das Messverfahren ist für **Transformator-** oder **Leitungsdifferentialschutzeinrichtungen** geeignet.

5.4.1.3 Anonymisierung Netzgrafik – Anwenderspezifische Bezeichner EIN/AUS

Mit den Einstellwerten in der Gruppe **Anzeige der Namen von ..** können die anwenderspezifischen Bezeichner der Netzwerkelemente global, d.h. für das ganze Stromnetz sichtbar oder unsichtbar geschaltet werden. Damit ist es möglich eine anonymisierte Darstellung des Stromnetzes z.B. zu Dokumentationszwecken mit wenig Aufwand zu erzeugen.

5.4.1.4 Gruppe Schriftarten

In der Gruppe Schriftarten können allgemeine Schriftarten sowie spezielle Schriftarten für einzelne Netzwerkelemente und Ergebnisdarstellungen in der Netzgrafik eingestellt werden.

Einstellwert	Bedeutung
Bezeichner	Schriftart für das Anzeigen von Einstellwerten der Netzwerkelemente in der Netzgrafik wie z.B. der anwenderspezifische Name mit Ausnahme von <ul style="list-style-type: none"> ▪ Leitung ▪ Mess/Schutzgerät
Leitung	Schriftart für das Anzeigen von Einstellwerten in der Netzgrafik

Mess/Schutzg.	Schriftart für das Anzeigen von Einstellwerten in der Netzgrafik
Messwerte	Schriftart für das Anzeigen von Ergebnissen der Netzberechnung z.B. der Lastflussberechnung in der Netzgrafik

5.4.2 Registerkarte Kurzschluss

In der Registerkarte können die Einstellungen für den **Kurzschluss (Short-Circuit)** eingestellt werden. Der Einstelldialog kann alternativ mit einem **Left Mouse Button Double Click** auf **Kurzschluss** in der Registerkarte **Favoriten** im Fenster **Projektinformationen** geöffnet werden. Die Einstellwerte können nur teilweise für die **Berechnung stationärer Netzzustände** bzw. **Lastflussberechnungen** verwendet werden.

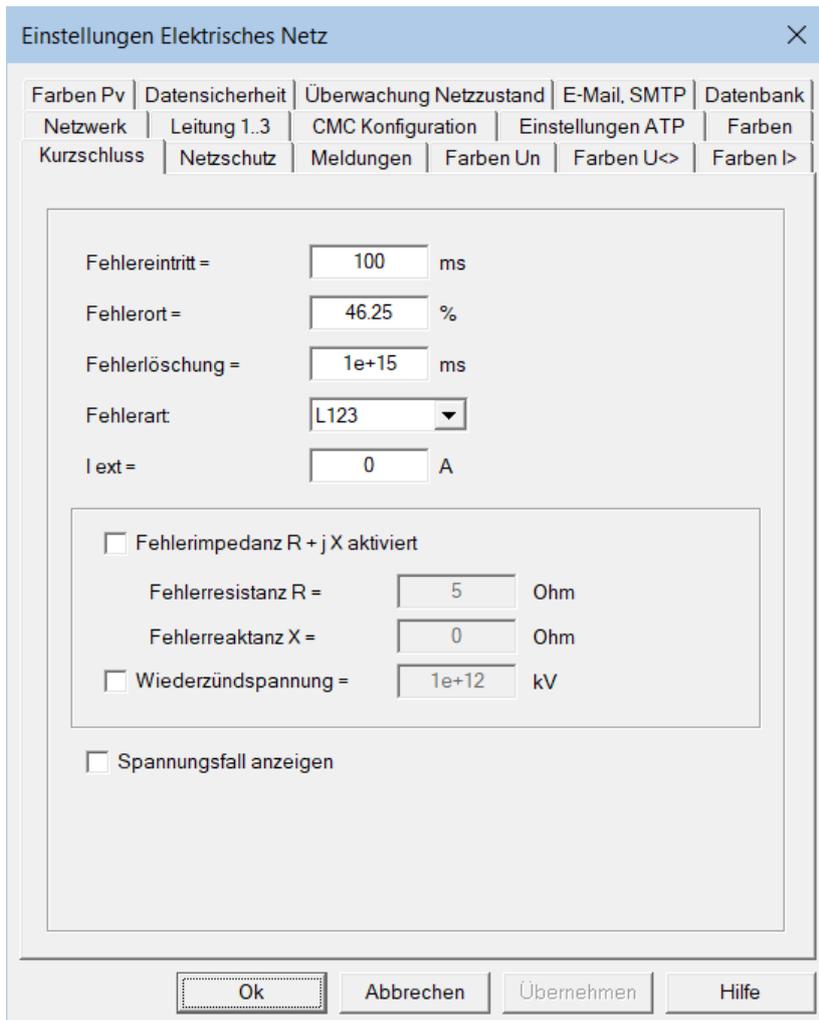


Abbildung 40: Registerkarte Kurzschluss

Der Einstelldialog kann auch durch eine **Left Mouse Double Click** auf das Kurzschluss-symbol (**roter Blitz**) in der Netzgrafik geöffnet werden, wie es vom Öffnen der Einstelldialog in ATPDesigner bekannt ist.

Einstellwert	st ²	dy ³	Bedeutung
Fehlereintritt	---	X	Zeitpunkt des Kurzschlusseintritts

² Für die **Berechnung stationärer Netzzustände**

³ Für die **Berechnung dynamischer Netzvorgänge**

Fehlerort	X	X	<p>Fehlerort des Kurzschlusses in % der Leitungslänge Der Fehlerort kann nur verändert werden, wenn der Kurzschluss schon mit einer Leitung verbunden ist. In allen anderen Fällen ist das Dialogelement deaktiviert. Nach Schließen des Einstelldialogs wird das grafische Symbol des Kurzschlusses neu positioniert.</p> <p>Der Fehlerort kann auch in der Toolbar verändert werden. Wird der Fehlerort verändert, muss die Eingabe durch Enter bestätigt werden, solange der Fokus des Eingabecursors im Editierfeld liegt.</p> 
Fehlerlöschung	---	X	Zeitpunkt des Erlöschens des Kurzschlusses
Fehlerart	X	X	Fehlerart L1, L12, L12E, L123, L123E, ...
I_{ext}	---	X	<p>Der Kurzschlussstrom erlischt, wenn der Augenblickswert $i(t)$ kleiner als der eingestellte Wert I_{ext} ist.</p> <p>Wenn der Kurzschluss mit Hilfe der Zeit Fehlerlöschung innerhalb der Simulationszeit abgeschaltet werden soll, so ist ein Wert I_{ext} > 0A vorzusehen, um numerische Oszillationen zu vermeiden.</p>
Spannungsfall anzeigen	X	---	Darstellung des Spannungsfalls ΔU an den Sammelschienen
Fehlerresistanz R	X	X	<p>Resistanz der Fehlerimpedanz Der Wert der Resistanz kann auf Werte $\geq 10^{-11}$ Ohm eingestellt werden, um mathematische Probleme bei der Inversion der Impedanzmatrix im ATP zu vermeiden.</p>
Fehlerreaktanz X	X	X	<p>Reaktanz der Fehlerimpedanz Der Wert Reaktanz kann =0 Ohm eingestellt werden.</p>

5.4.2.1 Fehlerimpedanz $\underline{Z} = R + jX$

Mit den Einstellwerten **Fehlerresistanz R** und **Fehlerreaktanz X** kann eine optionale Fehlerimpedanz als Serienimpedanz am Fehlerort nachgebildet werden. Das interne ATP-basierte Modell ist in [Nachbildung der Fehlerimpedanz](#) näher erläutert.

5.4.2.2 „Setzen“ des Fehlerortes an einer Leitung *Line 4..N*

Der Fehlerort kann wie oben beschrieben mit einer Leitung an einem beliebigen Ort entlang der Leitung verbunden werden. Die Leitungen [Leitung 1..3](#) sind davon ausgeschlossen, da diese Leitungen ein eigenes integriertes Fehlermodell u.a. mit Lichtbogenachbildung, Fehlerübergangswiderstand, etc. haben. Der Fehlerort in % an einer Leitung ist immer auf den **linken Leitungsknoten** gesehen berechnet. Die Knotenbezeichner **L** (= links) bzw. **R** (= rechts) an einer Leitung können im Einstelldialog aktiviert und in der Netzgrafik angezeigt werden.

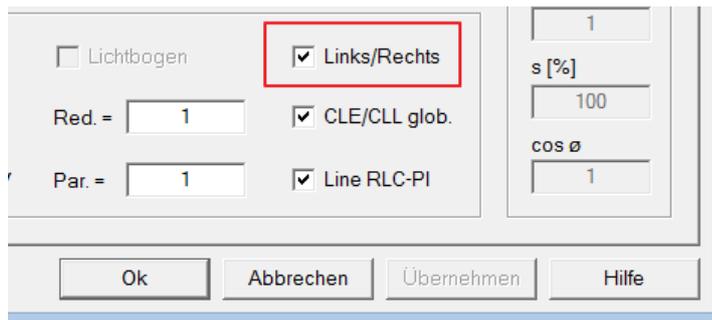


Abbildung 41: Aktivierung der Knotenbezeichner L und R einer Leitung in der Netzgrafik

5.4.2.3 Nachbildung der Fehlerimpedanz \underline{Z}

Die Fehlerimpedanz des **Kurzschlusses (roter Blitz)** [Bd. 3] wird durch eine oder mehrere einstellbare Serienimpedanz(en) $\underline{Z} = R + jX$ wie in der nachfolgenden Abbildung beschrieben am Fehlerort nachgebildet. Die Fehlerimpedanz(en) werden zwischen zwei Leitern oder Leiter und Erde geschaltet. Der Kurzschlussstrom am Fehlerort wird mit Hilfe von Messsystemen sowohl für die Berechnung stationärer Netzzustände als auch für die Berechnung dynamischer Netzzvorgänge gemessen.

Kurzschlussart	Fehlerimpedanz \underline{Z} nachgebildet durch
L1	\underline{Z}_{L1E}
L2	\underline{Z}_{L2E}
L3	\underline{Z}_{L3E}
L12E	\underline{Z}_{L1E} und \underline{Z}_{L2E}
L23E	\underline{Z}_{L2E} und \underline{Z}_{L3E}
L13E	\underline{Z}_{L1E} und \underline{Z}_{L3E}
L12	\underline{Z}_{L12}
L23	\underline{Z}_{L23}
L13	\underline{Z}_{L13}
L123	\underline{Z}_{L1E} und \underline{Z}_{L2E} und \underline{Z}_{L3E}
L123E	\underline{Z}_{L1E} und \underline{Z}_{L2E} und \underline{Z}_{L3E}

Abbildung 42: Optionale Fehlerimpedanz \underline{Z} des Kurzschlusses (Short-Circuit)

So bedeutet \underline{Z}_{L1E} , dass die Fehlerimpedanz zwischen Leiter L1 und Erde geschaltet wird. Eine Fehlerimpedanz zwischen den Leitern L1 und L2 wird mit \underline{Z}_{L12} gekennzeichnet.

5.4.2.3.1 Einstellung der Fehlerimpedanz \underline{Z} und Distanzschutz

In der Netzschutztechnik werden oft Szenarien untersucht, in denen am Kurzschlussort ein Übergangswiderstand z.B. durch einen Lichtbogen auftritt. Übergangswiderstände können mit Hilfe der Fehlerimpedanz nachgebildet werden. Um die Auswirkungen eines Übergangswiderstandes auf einen [Distanzschutz](#) zu untersuchen, muss der Übergangswiderstand abhängig von der Fehlerart geeignet gewählt werden. Darüber hinaus muss unbedingt das [fehlerartabhängige Modell des Übergangswiderstandes am Kurzschlussort](#) berücksichtigt werden, um die [Reaktionen des Distanzschutzes bei einem Übergangswiderstand am Kurzschlussort](#) korrekt interpretieren zu können.

5.4.2.4 Berechnung der dynamischen Netzvorgänge

Der Kurzschlussstrom an der Fehlerstelle kann in einem **Diagramm** ausgegeben werden. Dazu muss die Option **Ausgabesignale** im Einstelldialog **ATP Einstellwerte**, Registerkarte **ATP Daten** auf **Messgerät/Schalter/Interne Knoten** eingestellt werden.

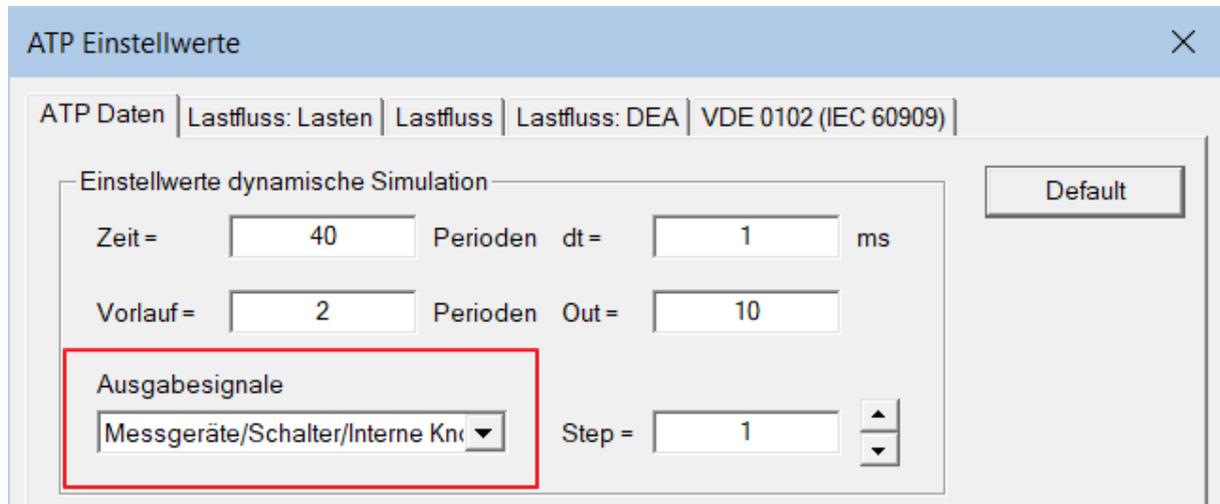


Abbildung 43: Einstellung Ausgabesignale im Einstelldialog ATP Einstellwerte

Der Kurzschlussstrom an der Kurzschlussstelle (**roter Blitz**) kann dann in einem Diagramm zur Darstellung verwendet werden.

- Knoten **(ABC)SCIK_**

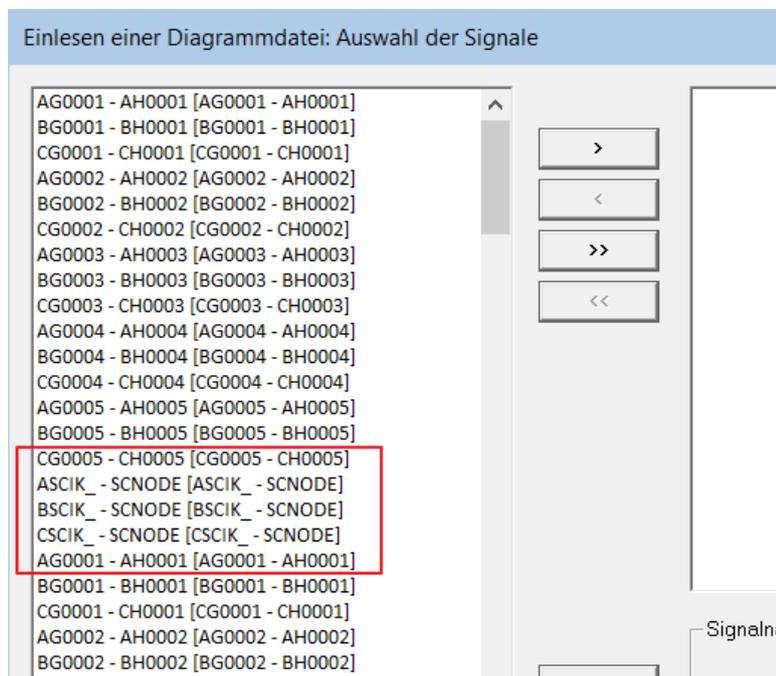


Abbildung 44: Auswahl der Kurzschlussströme für ein Diagramm

Das nachfolgende Diagramm zeigt die Kurzschlussströme, die im Falle eines 3-poligen Kurzschlusses L123E am Kurzschlussort zwischen den Leitern gegen Erde fließen.

Die Leiterströme können mit der in ATPDesigner verfügbaren **Verfahren der Signalverarbeitung** ausgewertet werden, um z.B. mit einer Diskreten Fourier-Transformation (DFT) die Beträge der Ströme zu berechnen. Diese Beträge können dann mit den Kurzschlussströmen des stationären Netzzustandes verglichen werden.

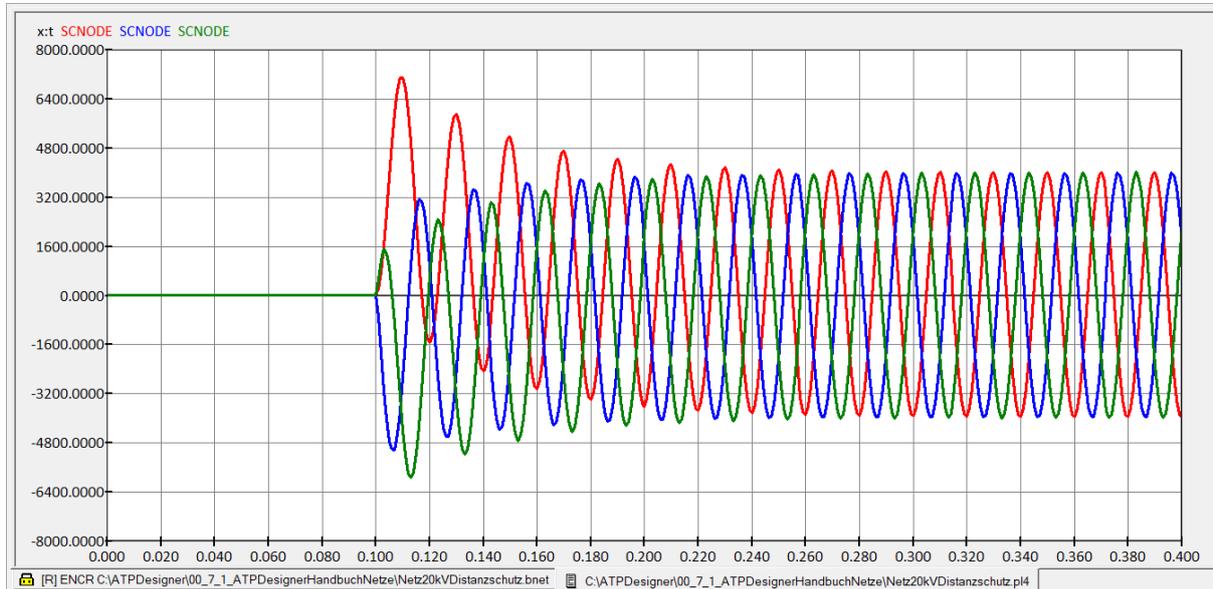


Abbildung 45: Darstellung eines Kurzschlussstroms am Kurzschlussort in einem Diagramm

5.4.3 Registerkarte Netzschutz

In der Registerkarte **Netzschutz** können Einstellwerte verändert werden, die für die schutztechnischen Funktionen für alle im Netz vorhandenen [Mess/Schutzgeräte](#) gemeinsam verwendet werden. Weitere Einstellwerte bzgl. Netzschutz und der Netzschutzanalyse sind im Einstelldialog [Netzschutz Analyse](#) zu finden.

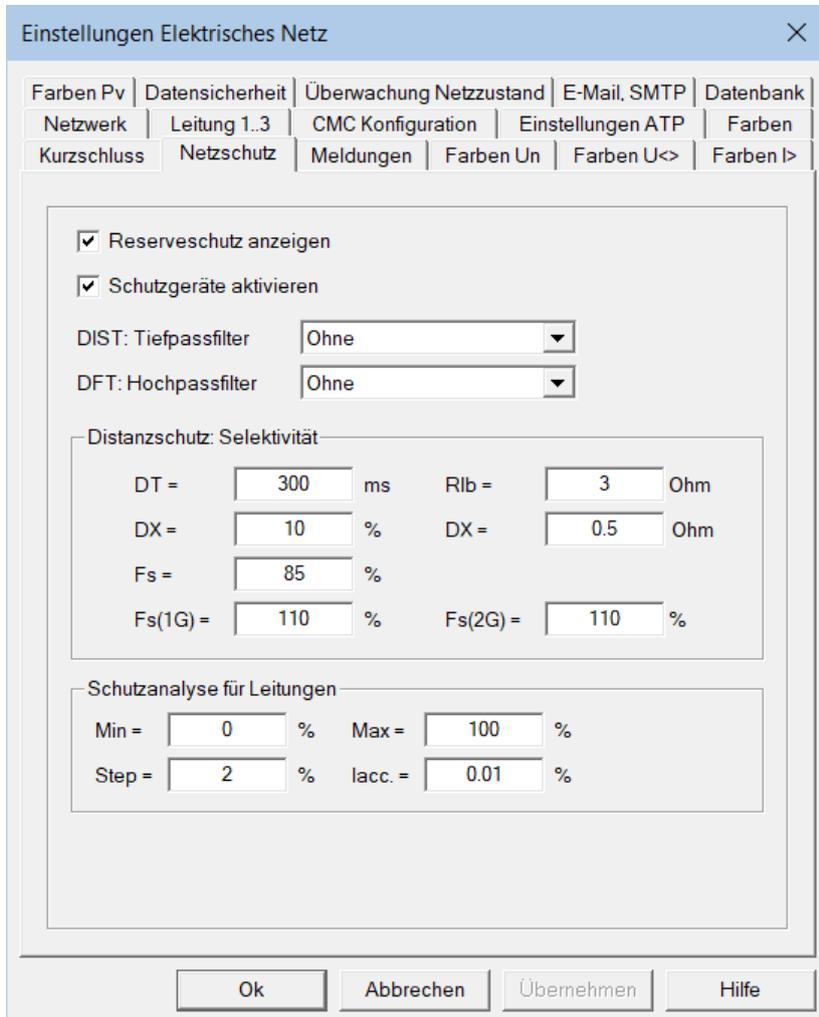


Abbildung 46: Konfiguration Netzschutz

5.4.3.1.1 Reserveschutz anzeigen

Wenn zusätzlich die Option **Schutzgeräte aktivieren** aktiviert ist, werden die Ergebnisse der Schutzfunktionsanalyse für den Reserveschutz in der Netzgrafik angezeigt.

5.4.3.1.2 Schutzgeräte aktivieren

Die Ergebnisse der Schutzfunktionsanalyse werden für die Schutzfunktionen in der Netzgrafik angezeigt. Es wird hier darauf hingewiesen, dass weitere Einstellwerte bzgl. Netzschutz und der Netzschutzanalyse im Einstelldialog [Netzschutz Analyse](#) zu finden sind.

5.4.3.2 Impedanzalgorithmus³

Mit diesem Einstellwert wird für alle **Mess/Schutzgeräte** gleichzeitig der Algorithmus zur Berechnung der Mitimpedanz Z_{1k} zwischen Messort und Kurzschlussort ausgewählt. Die angezeigten Einstellwerte im Einstelldialog der **Mess/Schutzgeräte** werden automatisch angepasst.

- **Phadke/Ibrahim** [1]
Der Impedanzalgorithmus von **Phadke/Ibrahim** basiert auf der Auswertung der komplexen Zeiger von Spannungen und Strömen. Der Algorithmus wird auch für die **Schalter Schalter (CB) Cbx** verwendet.
- **McInnes/Morrison**
Der Algorithmus basiert auf der Lösung der Differentialgleichung 1. Ordnung.

Die berechneten Impedanzen sind Sekundärimpedanzen, d.h. auf die sekundären Nenngrößen der Spannungs- und Stromwandler bezogen. Die primären und sekundären Nenngrößen der Spannungs- und Stromwandler werden in den Einstelldialogen des jeweiligen **Mess/Schutzgerätes** definiert.

5.4.3.3 Einstellwert *DIST*: Tiefpassfilter³

Die Leiter-Erd-Spannungen $u_{L1}(t)$, $u_{L2}(t)$, und $u_{L3}(t)$ und Leiterströme $i_{L1}(t)$, $i_{L2}(t)$, und $i_{L3}(t)$ können vor der Verarbeitung im Algorithmus des Distanzschutzes mit einem Tiefpassfilter gefiltert werden. Dadurch können höherfrequente Signalanteile, die den Impedanzalgorithmus im Sinne von Störsignalen negativ beeinflussen, gedämpft werden.

Einstellwert	Bedeutung
Ohne	Keine Filterung der Eingangssignale
Bessel 2. Ordnung	Filterung mit einem Bessel Tiefpass-Filter 2. Ordnung, Grenzfrequenz $f_g = 350\text{Hz}$

Die Implementierung des Filters erfolgt mit Hilfe einer Laplace-Übertragungsfunktion und ist unabhängig von der Abtastschrittweite bzw. Abtastfrequenz. Der Tiefpassfilter wird in den folgenden Schutzfunktionen für die Berechnung dynamischer Netzvorgänge verwendet:

- **Distanzschutz**

5.4.3.4 Einstellwerte Schutzanalyse für Leitungen²

Zur automatischen Durchführung einer [Kaskadenanalyse](#) für [Leitungen](#) können in der Gruppe **Schutzanalyse für Leitungen** die Randbedingungen für den entlang der Leitungen des Netzes automatisch verschobenen [Kurzschlussortes](#) eingestellt werden. Die Einstellungen gelten für alle Leitungen des Netzes gemeinsam.

Einstellwert	Bedeutung
Min	Kleinsten Kurzschlussort in % der Leitungslänge
Max	Größter Kurzschlussort in % der Leitungslänge
Step	Schrittweite in % der Leitungslänge
Iacc	Abbruchkriterium der Kaskadenanalyse in %

5.4.3.5 Einstellwert DFT: Hochpassfilter³

Die Diskrete Fourier Transformation (DFT) wird zur Berechnung der komplexen Zeiger von sinusförmigen, 1-frequenten und stationären Signalen $s(t)$ verwendet. Aus dem komplexen Zeiger kann der Betrag (Effektivwert) des Signals berechnet werden. Ist der zeitliche Verlauf des Eingangssignal $s(t)$ nicht mit dem zeitlichen Verlauf eines 1-frequenten sinusförmigen Signals

$$s(t) = \hat{s} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)$$

identisch, so wird der komplexe Zeiger und damit der Betrag des Signals fehlerhaft berechnet.

Mit Hilfe des Hochpassfilters werden niederfrequente Signalanteile unterhalb einer Grenzfrequenz von 40Hz und hier insbesondere der exponentiell abklingende Gleichanteil (DC-Komponente) im Kurzschlussstrom aus den Zeitsignale gedämpft, bevor die komplexen Zeiger mit Hilfe einer diskreten Fourier-Transformation (DFT) in den Schutzfunktionen verwendet werden. Der Hochpassfilter wird mit Hilfe einer Laplace-Übertragungsfunktion in MODELS implementiert. Daher ist eine Anpassung der Filterkoeffizienten an die ATP interne Rechenschrittweite nicht erforderlich.

Einstellwert	Bedeutung
Ohne	Keine Filterung der Eingangssignale
Bessel 1. Ordnung	Filterung mit einem Bessel Hochpass-Filter 1. Ordnung, Grenzfrequenz $f_g = 40\text{Hz}$
Bessel 2. Ordnung	Filterung mit einem Bessel Hochpass-Filter 2. Ordnung, Grenzfrequenz $f_g = 40\text{Hz}$

Der Hochpassfilter wird in den folgenden Schutzfunktionen für die Berechnung dynamischer Netzvorgänge verwendet:

- **Überstromzeitschutz**
- **Überstromzeitschutz mit Richtung**

5.4.3.6 Einstellwerte *Distanzschutz*: *Selektivität*

Darüber hinaus sind Einstellwerte für die automatische Einstellung und Überprüfung von Distanzschutzgeräten vorhanden. Die Verfahren zu dem Einstelldialog z.B. zum automatisierten Einstellen von Zeitstaffelschutzplänen für Distanzschutzgeräte oder das Prüfen von Netzschutzkonzepten sind in [Bd. 3] erläutert.

Einstellwert	Bedeutung
F_s	Staffelfaktor in % zur Auslegung der Staffelzonen eines Distanzschutzes
F_s(1G)	Staffelfaktor in % zur sicheren Überstaffelung der 1. Gegenstation
F_s(2G)	Staffelfaktor in % zur sicheren Überstaffelung der 2. Gegenstation(en)
DT	Kleinster zulässiger Wert des zeitlichen Staffelabstandes für die Zeitstafelkennlinie eines Distanzschutzes unter Berücksichtigung von Folgeleitungen
DX	Kleinster zulässiger Wert des Reaktanz - Staffelabstandes für die Zeitstafelkennlinie eines Distanzschutzes unter Berücksichtigung von Folgeleitungen sowohl in Prozent der Leitungsreaktanz als auch Reaktanz in Ohm.
R_{ib}	Lichtbogenreserve: Resistanz in Ohm (primär)

5.4.3.7 Netzschutz Analyse

Weitere Einstellwerte bzgl. Netzschutz und der Netzschutzanalyse sind im Einstelldialog [Netzschutz Analyse](#) zu finden.

5.4.4 Registerkarte **Farben**

In der Registerkarte **Farben** können verschiedene allgemeine Zeichenfarben definiert werden. Die Grundeinstellung der Farben kann in der Registerkarte **Farben** mit dem Button **Default** geladen werden.

Darüber hinaus kann zwischen **Farbschema** gewählt werden. Durch den Einstellwert kann zwischen der Darstellung der Netzgrafik, der Registerkarten der **Projektinformation** und der **Meldungsfenster** mit einem hellen und dunklen Hintergrund und Farbgestaltung pauschal gewählt werden. Die Farben können unabhängig davon auch einzeln eingestellt werden.

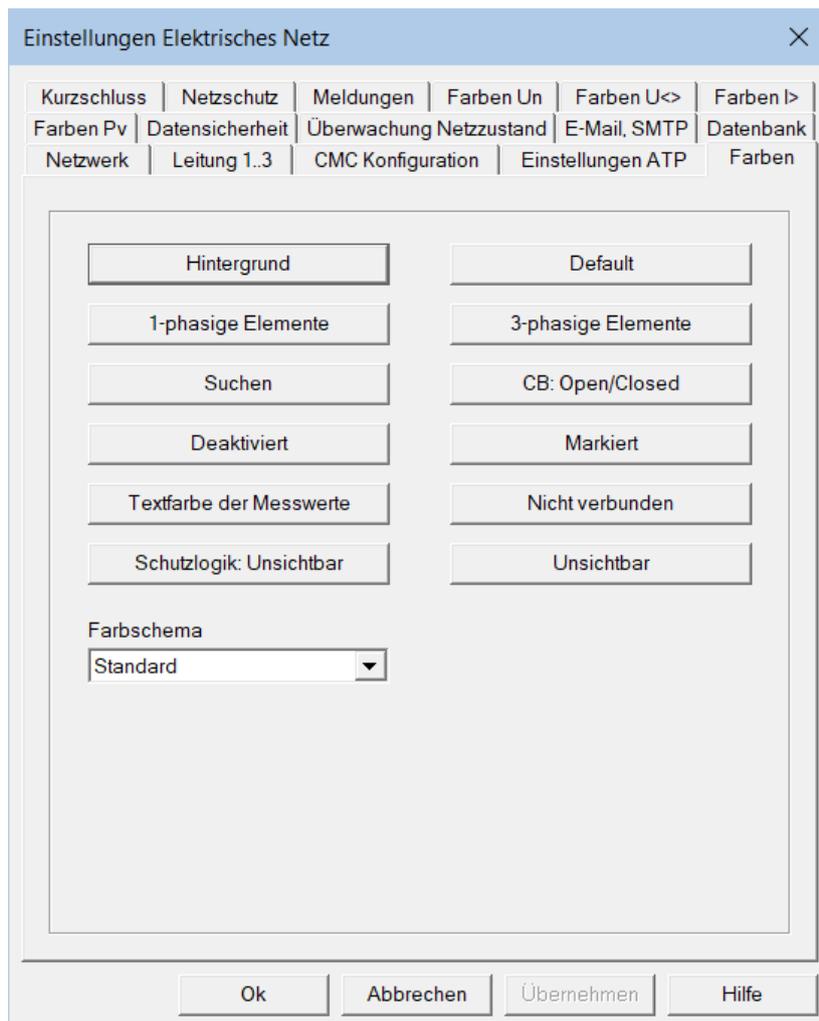
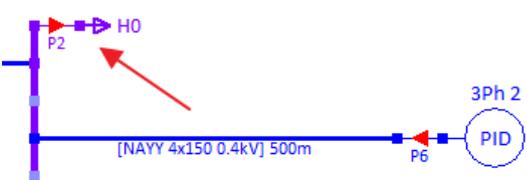
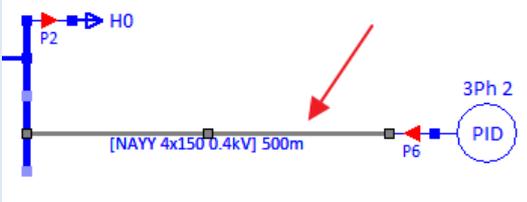
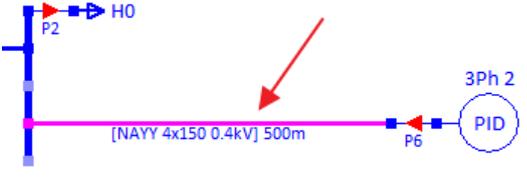
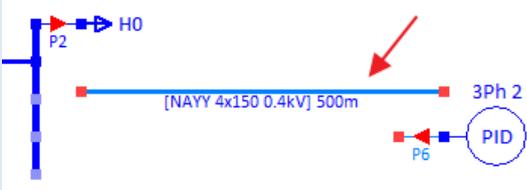


Abbildung 47: Registerkarte **Farben**

Einstellwert	Bedeutung
Hintergrund	Hintergrundfarbe der Zeichenfläche des elektrischen Netzes
Textfarbe der Messwerte	Farbe der Schriftart für die Anzeige der Messwerte d.h. der Ergebnisse der Lastflussberechnung in der Netzgrafik
3-phasige Elemente	Zeichenfarbe für 3-phasige Netzwerkelemente
1-phasige Elemente	Zeichenfarbe für 1-phasige oder 2-phasige Netzwerkelemente

	
CB: Open/Closed	Zeichenfarbe für Schalter (CB) , die als Ergebnis einer Netzberechnung geöffnet oder geschlossen wurden
Suchen	Zeichenfarbe für Netzwerkelemente, die mit der Suchfunktion gesucht und gefunden wurden.
Markiert	Zeichenfarbe für markierte Netzwerkelemente
	
Deaktiviert	Elektrisch deaktivierte Netzwerkelemente , die grafisch im elektrischen Netz sichtbar sind, aber bei der Netzberechnung nicht berücksichtigt werden
	
Nicht verbunden	Netzwerkelemente, die mindestens einen grafisch und elektrisch nicht verbundenen Knoten besitzen (Sammelschienen sind davon ausgenommen)
	
Schutzlogik: Unsichtbar	Zeichenfarbe zum Zeichnen von „unsichtbaren“ Elementen der Schutzlogik
Unsichtbar	Zeichenfarbe zum Zeichnen von „unsichtbaren“ Netzwerkelementen → Un Ebenen

5.4.4.1 Farbschema Standard

Das Farbschema **Standard** stellt die Netzgrafik, **Projektinformationen** und **Meldungsfenster** mit weißem Hintergrund dar.

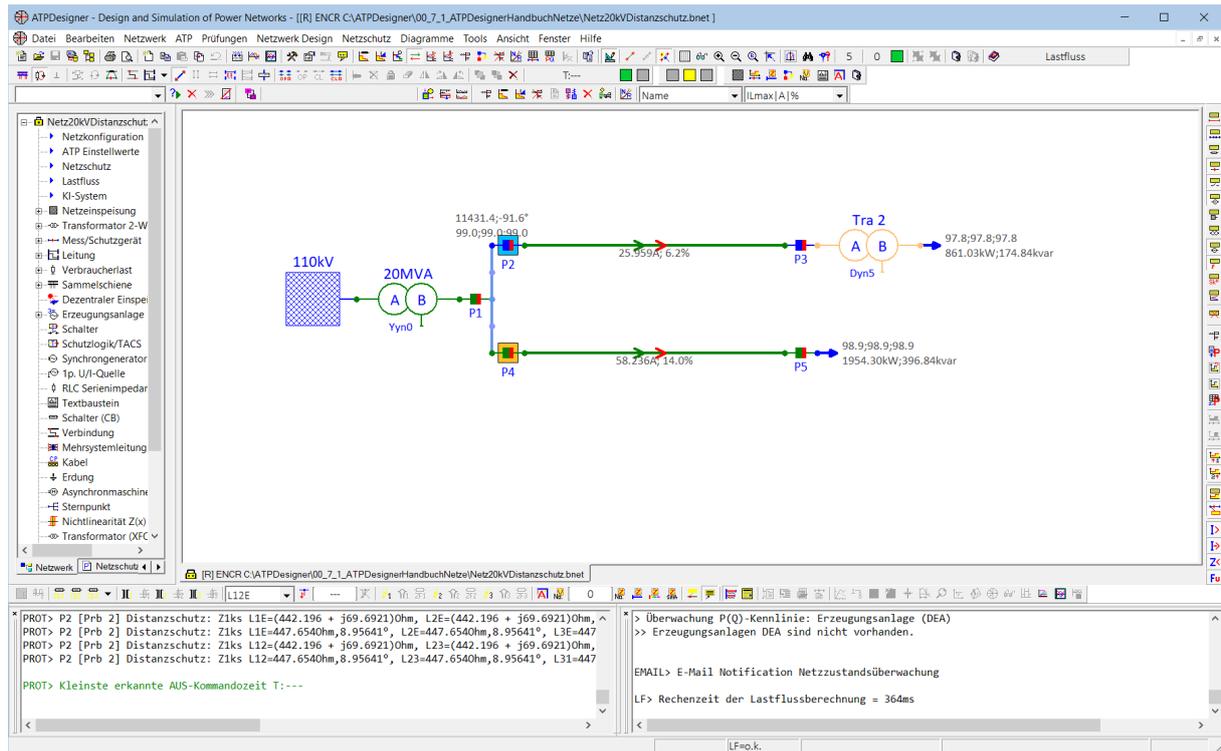


Abbildung 48: Darstellung mit Farbschema Standard

5.4.4.2 Farbschema Dark Mode

Das Farbschema **Dark Mode** stellt die Netzgrafik, **Projektinformationen** und **Meldungsfenster** mit einem dunkelgrauen Hintergrund dar.

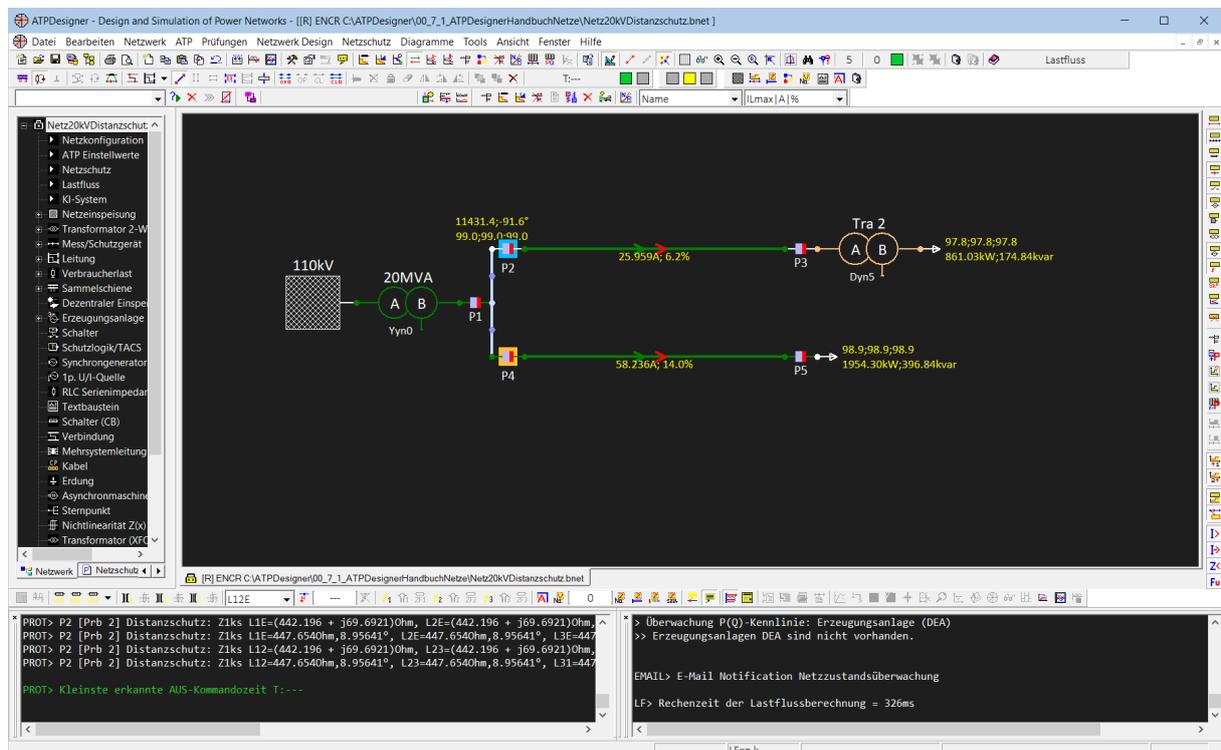


Abbildung 49: Darstellung mit Farbschema Dark Mode

5.4.5 Registerkarte *Leitung 1..3*

Die Einstellwerte der Registerkarte **Leitung 1..3** ermöglicht eine Konfiguration der [Leitungen Line 1..3](#), die einen integrierten Fehlerort mit einstellbarer Fehlerart besitzen. Zusätzlich können für diese Leitungen ein Lichtbogen oder ein Fehlerübergangswiderstand eingestellt werden.

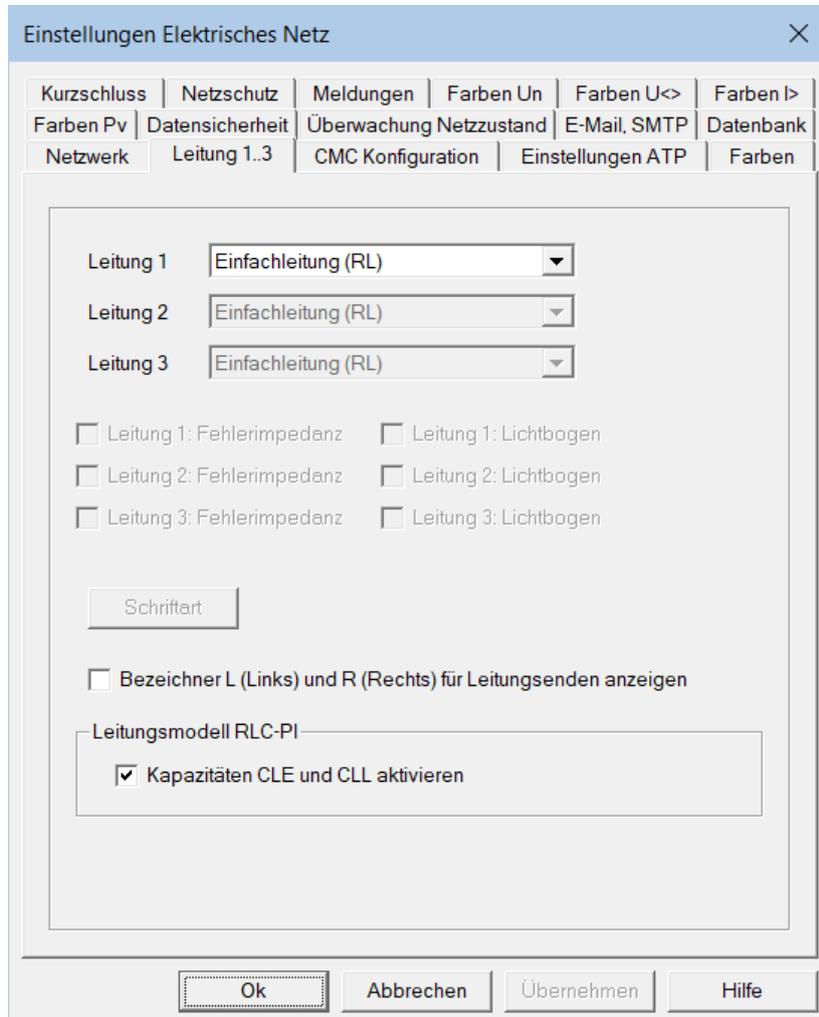


Abbildung 50: Registerkarte *Leitung 1..3*

Einstellwert	Bedeutung
Leitung 1..3	Leitungsmodell für die Leitungen Line 1..3 auswählen
Fehlerimpedanz	Fehlerübergangswiderstand für eine der Leitungen aktivieren
Lichtbogen	Lichtbogenmodell für eine der Leitungen aktivieren

5.4.5.1 Kapazitäten CLE und CLL aktivieren

Mit Hilfe des Einstellwertes kann eingestellt werden, ob die Kapazitäten aller in einem Netz verwendeten Leitungen, die mit einem Leitungstyp aus der Leitungsbibliothek oder dem Leitungsmodell **Einfachleitung (RLC-PI)** konfiguriert werden, mit oder ohne Kapazitäten verwendet werden. Im Einstelldialog für [Leitungen](#) wird die Einstellung angezeigt, kann aber dort nicht geändert werden.

5.4.6 Registerkarte *Einstellungen ATP*

In der Registerkarte, die nachfolgend zu sehen ist, können modellspezifische bzw. ATP spezifische Einstellwerte und allgemeine das gesamte Netz betreffende Einstellwerte verändert werden.

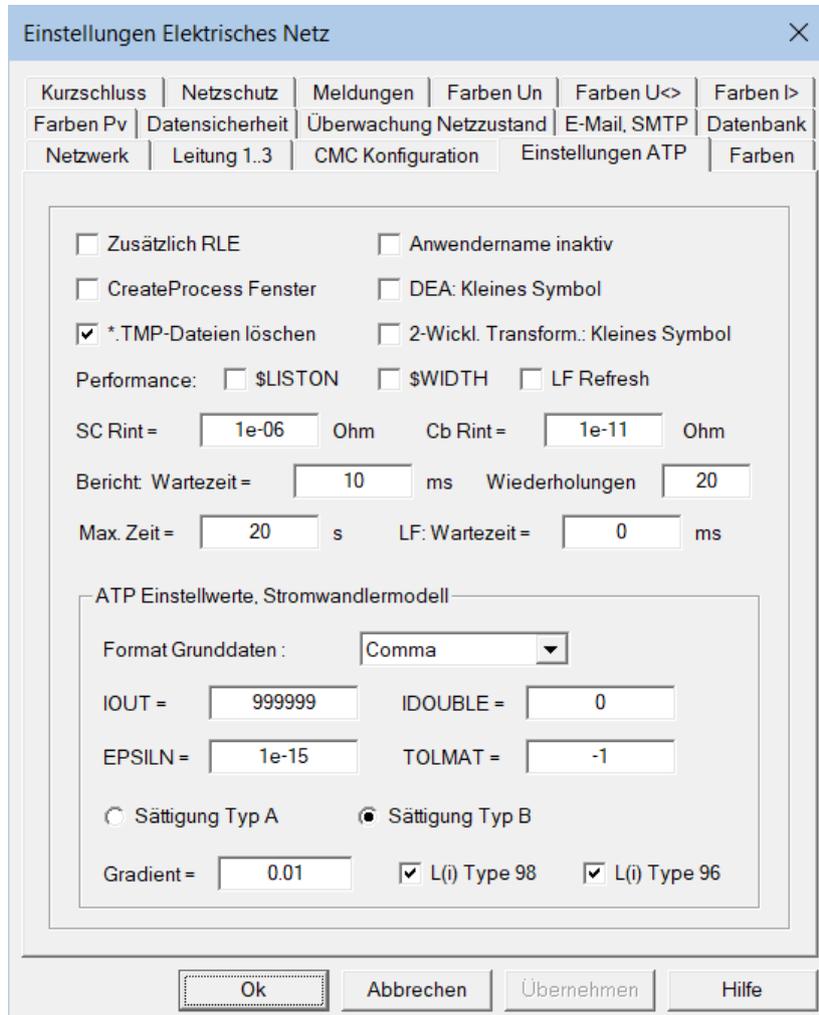


Abbildung 51: Dialog *Einstellungen ATP* - Modell und ATP relevante interne Einstellwerte

Einstellwert	Bedeutung
SC Interne Resistanz	Wird ein Kurzschluss verwendet, so kann hier der intern verwendete Fehlerwiderstand eingestellt werden. Dieser Widerstand wird nicht verwendet, wenn in dem Einstelldialog des Kurzschlusses ein optionaler Fehlerwiderstand aktiviert ist.
Cb Interne Resistanz	Die ATP basierten Modelle der Schalter (CB) Cb1..5 verwenden den Längswiderstand im internen Modell. Darüber hinaus wird der Einstellwert für das ATP basierte Modell der Mess/Schutzgeräte verwendet.
Format Misc. Data Card	Formatspezifikation für ATP Miscellaneous Data Card
CreateProcess Fenster	Im Einstelldialog Programmeinstellungen wird mit dem Einstellwert Task Priorität eingestellt, wie das ATP gestartet

	wird. Wird das ATP als Windows Prozess mit dem Systembefehl CreateProcess gestartet, so kann hier eingestellt werden, ob der Prozess zur Laufzeit in einem CMD-Fenster dargestellt wird. Als Grundeinstellung wird kein CMD-Fenster verwendet. Zur Minimierung der Rechenzeiten wird die Deaktivierung der Anzeige des CMD-Fensters empfohlen.
Max. Zeit	ATPDesigner überwacht den Windows Prozess, in dem das ATP im Sinne eines Hintergrundprozesses die Netzberechnung durchführt, mit einem Timeout. Ist die Zeit Max. Zeit abgelaufen, ohne dass der Windows Prozess beendet wurde, so wird der Windows Prozess von ATPDesigner beendet und max. 20mal wiedergestartet. Die Anzahl Timeouts wird im Fenster ATP Meldungen (Hauptmenü Ansicht) ausgegeben. > Error: Anzahl WaitForProcess Error = 0
.LST-Datei mit \$LISTON	ATP interpretiert die Eingabedaten, die in der .ATP-Datei gespeichert sind, und gibt diese Interpretation wie auch z.B. Warnungen in der Ergebnisdatei (.LST-Datei) aus. In der Grundeinstellung ist die Ausgabe in die Ergebnisdatei aktiviert. Um die Rechenzeit zu verringern, kann die Ausgabe abgeschaltet werden. Allerdings wird dann auch die Ausgabe von Warnungen in die Ergebnisdatei verhindert und ggfs. Modellierungsprobleme für das elektrische Netz nicht erkannt.
Anwendername inaktiv	Es werden die anwenderspezifischen Bezeichner für alle Netzwerkelemente ausgeblendet. Diese Funktion kann zur Anonymisierung z.B. vor Erstellen einer Bitmap der Netzgrafik verwendet werden.
DEA: Kleines Symbol	Für alle Erzeugungsanlagen (DEA) werden kleine Symbole mit Einfärbung in der Netzgrafik verwendet.
2-Wickl. Transformator: kleines Symbol	Das grafische Symbol der 2-Wicklungs-Transformatoren wird ohne die grafische Darstellung der Sternpunktbehandlung gezeichnet.
\$WIDTH	Die Ausgabe der Ergebnisse der Lastflussberechnung (Ergebnisse des Knotenpotentialverfahrens) werden falls deaktiviert im Standardformat oder falls aktiviert im Kompaktformat ausgegeben. Vor der Aktivierung des Kompaktformats wird empfohlen, das Kapitel Lastflussberechnung: Auswirkungen der Option \$WIDTH aktiv zu lesen.
\$LISTON	Ist die Option nicht aktiviert, kopiert das ATP keine Daten aus der .ATP-Eingabedatei in die .LST-Ergebnisdatei, Dadurch benötigt die .LST-Ergebnisdatei weniger Speicherplatz und die Rechenzeit des ATP wird ggfs. erheblich geringer, die Verarbeitungsgeschwindigkeit der Lastflussberechnung kann sich erheblich erhöhen.
LF Refresh	Ist die Option deaktiviert, so werden die in der Netzgrafik angezeigten Ergebnisse der Netzberechnung einmalig beim Start der Lastflussberechnung aus der Netzgrafik entfernt. Erst im Falle einer konvergenten Lastflussberechnung werden die neuen Ergebnisse der Netzberechnung in der Netzgrafik angezeigt. Ist die Option aktiviert, so werden nach jedem Iterationsschritt der Lastflussberechnung die

	Ergebnisse der Netzberechnung in der Netzgrafik aktualisiert angezeigt.
*.TMP-Dateien löschen	Während der Netzberechnungen werden temporäre Dateien angelegt. Um die Rechenzeiten bei einer sehr großen Anzahl von Netzberechnungen z.B. bei Lastflussberechnungen mit Lastprofilen zu minimieren, kann auf das Löschen der temporären Dateien ggfs. verzichtet werden. Es muss allerdings beachtet werden, dass das Verzeichnis zur Speicherung der temporären Dateien mit sehr vielen Dateien dauerhaft belegt sein kann. Die Auswirkungen sind zu bedenken und das temporäre Verzeichnis sollte ggfs. manuell oder durch geeignete Softwarewerkzeuge geleert werden. Das temporäre Verzeichnis kann im Einstelldialog Programmeinstellungen eingestellt werden. In der Grundeinstellung wird das temporäre Verzeichnis des Betriebssystems verwendet.
LF: Wartezeit	Wartezeit nach einem Iterationsschritt der Lastflussberechnung Die Wartezeit wird mit einer Sleep-Funktion ausgeführt und kann bei zeitkritischen Systemen Laufzeitprobleme ggfs. vermindern. Durch den Sleep-Befehl wird ATPDesigner für eine definierte Zeit durch das Betriebssystem inaktiv geschaltet, d.h. ATPDesigner erhält keine Prozessorzeit.

5.4.6.1 Lastflussberechnung: Auswirkungen der Option **\$WIDTH aktiv**

Die ATP-spezifische Option **\$WIDTH** kann mit dem Einstellwert **\$WIDTH aktiv** ein- oder ausgeschaltet werden. Mit dieser Option werden Format und Inhalte der .LST-Datei des ATP ausgewählt. Die .LST-Datei wird als Datenschnittstelle zwischen dem Rechenkern ATP und ATPDesigner verwendet und beinhaltet die Ergebnisse der Knotenpotentialanalyse. In der Grundeinstellung von ATPDesigner wird die .LST-Datei im temporären Verzeichnis von Windows (Einstelldialog **Programmeinstellungen**) gespeichert.

ATPDesigner liest die .LST-Datei ein, analysiert die Inhalte wie z.B. die komplexen Zeiger von Spannungen und Strömen und ordnet diese als Ergebnisse der Knotenpotentialanalyse den Netzwerkelementen zu. Diese Ergebnisse können in Tabellen, direkt in der Netzgrafik oder als Tooltip-Informationen angezeigt werden.

- ⇒ Auswirkungen der Option sind derzeit nur für die **Berechnung stationärer Netzzustände** bekannt. Auswirkungen auf die Zeitsignale als Ergebnis der **Berechnung dynamischer Netzzvorgänge** sind nicht bekannt.

Nachfolgend werden bekannte Vor- und Nachteile beschrieben, um dem Anwender eine Beurteilung vor der Aktivierung der Option zu ermöglichen.

- ⇒ Es wird hier explizit darauf hingewiesen, dass bei aktiviertem Kompaktformat nach dem derzeitigen Kenntnisstand nicht die Rechengenauigkeit des ATP wie z.B. die Genauigkeit zur Inversion der Admittanzmatrix selbst verändert wird sondern nur die Genauigkeit, mit der die Berechnungsergebnisse in der .LST-Datei gespeichert werden.

5.4.6.1.1 Einstellwert \$WIDTH aktiv - Vorteile

Wurde der Einstellwert **\$WIDTH aktiv** durch einen **Left Mouse Button Click** aktiviert, so wird das Kompaktformat der .LST-Datei von ATP geschrieben. Das Kompaktformat der .LST-Datei benötigt weniger Rechenzeit (CPU-Time) während des Schreibvorgangs und weniger Speicherplatz. Dadurch kann die Ausführung von **Berechnungen stationärer Netzzustände** z.B. der erweiterten Lastflussberechnung generell beschleunigt werden. Die Inhalte des Kompaktformates sind gegenüber dem Standardformat reduziert. Das kann zur Folge haben, dass die berechneten Werte für Spannungen und Ströme gegenüber dem Standardformat nur mit einer höheren Ungenauigkeit vorliegen.

5.4.6.1.2 Einstellwert \$WIDTH aktiv - Nachteile

Ist der Einstellwert **\$WIDTH aktiviert** inaktiv, so wird das gegenüber dem Kompaktformat deutlich aufwändigere Standardformat der .LST-Datei verwendet. Das Standardformat benötigt während des Schreibvorgangs mehr Rechenzeit und mehr Speicherplatz. Dadurch kann die Ausführung von **Berechnungen stationärer Netzzustände** z.B. der erweiterten Lastflussberechnung länger andauern.

5.4.6.1.3 Empfehlung bzgl. des Einstellwertes \$WIDTH aktiv

Der Einstellwert **\$WIDTH aktiv** sollte dann aktiviert werden, wenn eine geringe Rechenzeit zu Lasten einer geringeren Genauigkeit der Ergebnisse der Knotenpotentialanalyse durch den Anwender priorisiert wird. Bekannte Unterschiede können z.B. mit dem Suchbegriff **WIDTH** in den Handbüchern gesucht werden. Unterschiede der Ergebnisse der Netzberechnung könne einfach dadurch überprüft werden, in dem einmal die **Berechnungen stationärer Netzzustände** mit und einmal ohne die Option **\$WIDTH** durchgeführt und die Ergebnisse durch den Anwender verglichen werden.

5.4.7 Anwenderspezifische Beschreibung des elektrischen Netzwerkes

Der Anwender kann zu einem Elektroenergieversorgungsnetz einen textuellen Kommentar eingeben, der in der .NET-Datei gespeichert wird. Dieser Text wird in einem Tooltip an der Cursor-Position angezeigt, wenn im **Dateibrowser** die Option **Beschreibung anzeigen** aktiviert ist.

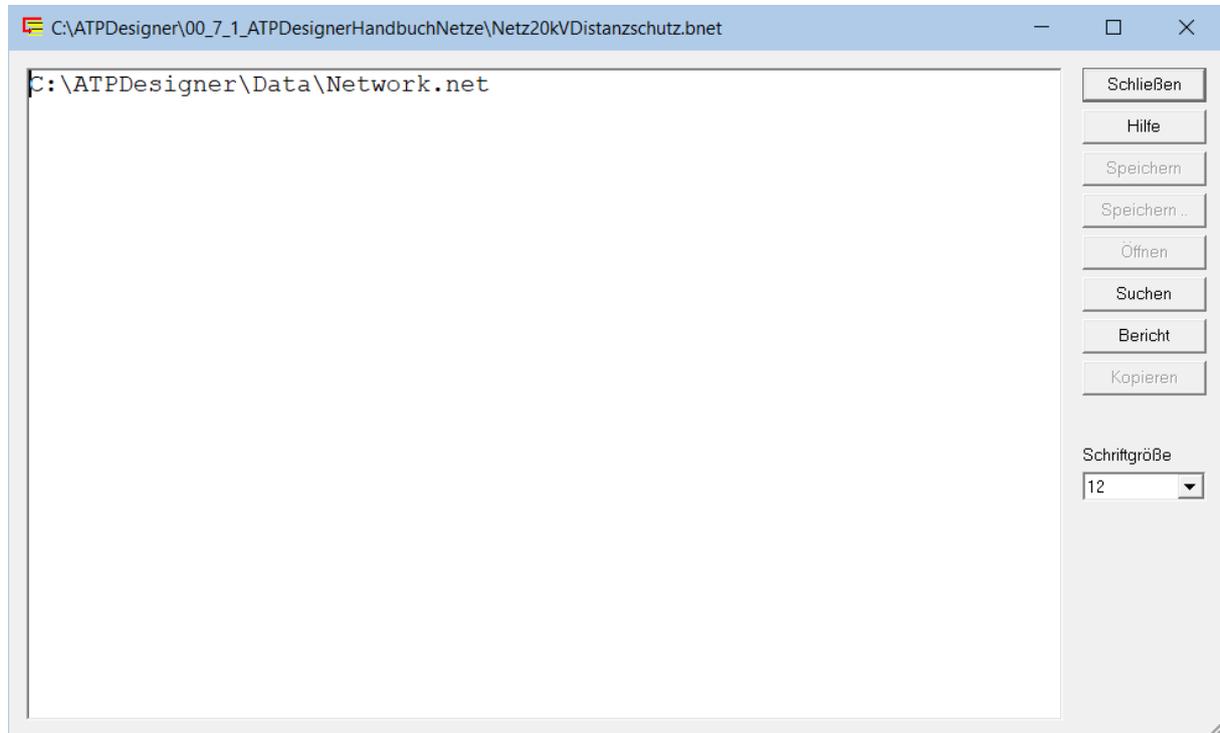


Abbildung 52: Texteditor zur Definition der textuellen Beschreibung des Netzes

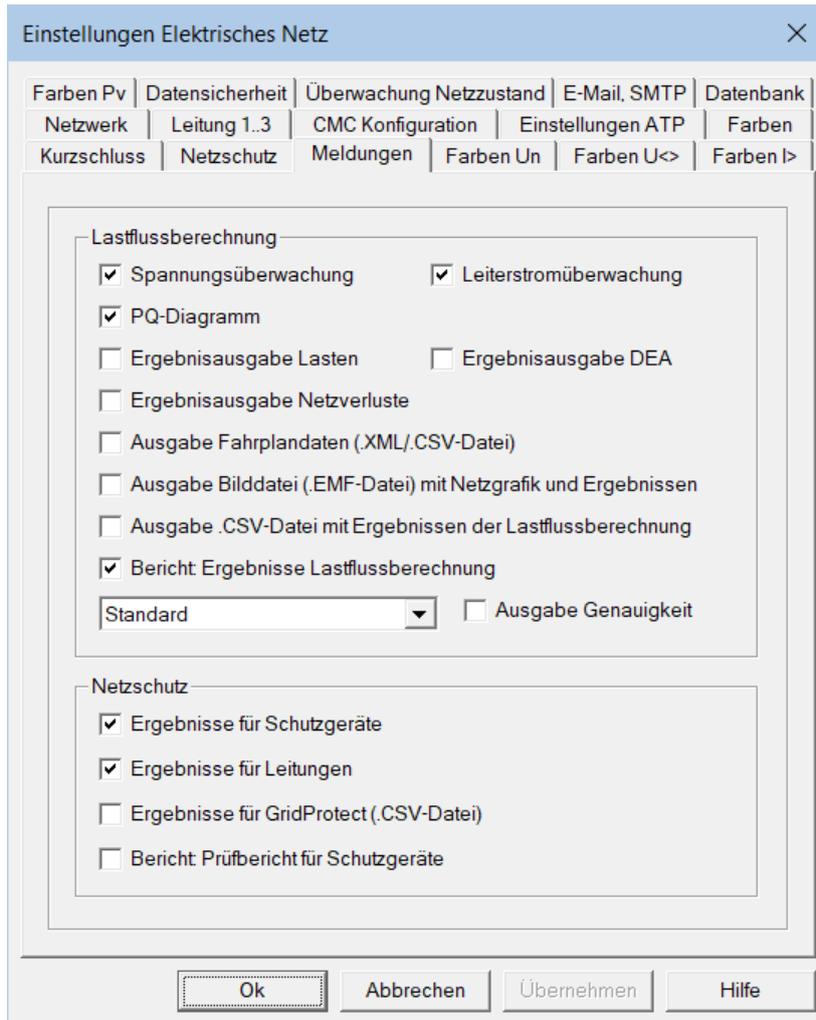
Alternativ kann der Einstelldialog **Beschreibung** in der Registerkarte **Favoriten** im Fenster **Projektinformationen** geöffnet werden.

Einstellwert	Bedeutung
Schließen	Schließen des Dialogs
Suchen	Öffnen eines Dialogs zur Textsuche
Schriftgröße	Definition der Schriftgröße des im Eingabefeld angezeigten Textes
Bericht	Speichern des Inhaltes des Eingabefeldes in einem Bericht (XML-Datei [21])

5.4.8 Registerkarte Meldungen

ATPDesigner gibt während einer Netzberechnung Informationen im **Meldungsfenster** aus. Die Ausgabe von Meldungen kann mit Hilfe des Einstelldialogs in der nachfolgenden Abbildung EIN/AUS-geschaltet werden. Das Meldungsfenster kann wie folgt aktiviert oder deaktiviert werden:

- Hauptmenü **Ansicht**, Menüpunkt **Meldungsfenster**, **Ausgabefenster EIN/AUS**

Abbildung 53: Registerkarte **Meldungen** – Konfiguration der Ausgabe ins **Meldungsfenster**

Einstellwert	Bedeutung
PQ-Diagramm	Die Ausgabe der Ergebnisse der Arbeitspunktberechnung in der P-Q-Ebene der dezentralen Erzeugungsanlagen, die mit dem Netzwerkelement Erzeugungsanlage (DEA) nachgebildet werden, kann EIN/AUS-geschaltet werden.
Spannungsüberwachung	Die Ausgabe der Ergebnisse der Spannungsüberwachung für die Netzwerkelemente Sammelschiene und Erzeugungsanlage (DEA) kann EIN/AUS-geschaltet werden.
Leiterstromüberwachung	Die Ausgabe der Ergebnisse der Leiterstromüberwachung für die Netzwerkelemente Mess/Schutzgerät und Schalter kann EIN/AUS-geschaltet werden.
Ergebnisausgabe Lasten	Die Ausgabe von Ergebnissen der Lastflussberechnung Lastfluss: Lasten (Load Adjusting) wird in eine Textdatei ausgegeben. Mit Hilfe der Datei kann auch der interne Iterationsprozess der Lastflussberechnung für Verbraucherlasten überprüft werden.
Ergebnisausgabe DEA	Die Ausgabe von Ergebnissen der Lastflussberechnung Lastfluss: DEA (Phase Adjusting) wird in eine Textdatei ausgegeben. Mit Hilfe der Datei kann auch der interne Iterationsprozess der Lastflussberechnung für Erzeugungsanlage (DEA) überprüft werden.

Ergebnisausgabe Netzverluste	Für ausgewählte Netzwerkelemente werden die Wirkleistungsverluste in eine Textdatei ausgegeben.
Ergebnisse für Schutzgeräte	Die Ausgabe der Ergebnisse für alle Schutzfunktionen der Mess-/Schutzgeräte und Leitungen kann EIN/AUS-geschaltet werden
Ergebnisse für Leitungen	Die Ausgabe der Ergebnisse des U<>-Schutzes für Leitungen Line kann EIN/AUS-geschaltet werden.
Ausgabe Bilddatei (.EMF-Datei) mit Netzgrafik und Ergebnissen	<p>Der Anwender kann für die nachfolgend definierten Funktionen automatisch die Netzgrafik mit allen darin enthaltenen Textelementen und Grafiken also auch mit den Ergebnissen der Lastflussberechnung als Bilddatei (.EMF-Datei) im jeweiligen Projektverzeichnis speichern.</p> <p>Für die Berechnung eines stationären Netzzustandes (Erweiterte Lastflussberechnung):</p> <p>Im Hauptmenü Prüfungen, Menüpunkt Lastfluss mit Flexibilitäten enthalten, weitere Erläuterungen in [Bd. 3]</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Lastfluss: Lastprofile ▪ Lastfluss: Prognose ▪ Lastfluss: Messwertkalibrierung ▪ Fahrplanberechnung für E-Mobile
Ausgabe .CSV-Datei mit Netzgrafik und Ergebnissen	Wie für die Funktion „ Ausgabe der Bilddatei ... “ werden die Ergebnisse der Lastflussberechnung wie im Ausgabedialog Mess-ergebnisse [Bd. 3] dargestellt, in eine .CSV-Datei und eine Excel-kompatible XML-Datei [21] ausgegeben. Damit können z.B. die Ergebnisse für jedes 15min-Zeitintervall einer Fahrplanberechnung mit Lastprofilen gespeichert und nachgelagert ausgewertet werden.
Bericht: Ergebnisse Lastflussberechnung	<p>Ergebnisse der Lastflussberechnung als Bericht speichern</p> <p>Die Ergebnisse werden in einem Bericht als XML-Datei [21] im Projektverzeichnis gespeichert. Der Dateiname ist wie folgt definiert. Der NetDateiname ist der Dateiname der zugehörigen .NET-Datei.</p> <p style="text-align: center;">JJJJMMThhmmss_NetDateiname_LF.xml</p> <p>Der Detaillierungsgrad des Berichtes kann mit dem Einstellwert der direkt nachfolgenden Auswahlliste eingestellt werden.</p>
Ausgabe Fahrplandaten (.XML/.CSV-Datei)	<p>Im Falle der Verwendung von Mess/Schutzgeräten als Fahrplanmessgeräte [Bd. 3] werden im Projektverzeichnis im Unterverzeichnis Results Ergebnisse der Lastflussberechnungen z.B. Spannungen und Ströme in einer Excel-kompatiblen .XML-Datei [21] und einer .CSV-Datei als Zeitreihe (15min-Intervalle) gespeichert.</p> <p>Der Dateiname ist wie folgt definiert. Der NetDateiname ist der Dateiname der zugehörigen .NET-Datei.</p> <p style="text-align: center;">JJJJMMThhmmss_NetDateiname_PPFORC.xml JJJJMMThhmmss_NetDateiname_PPFORC.csv</p>

Berichte verwenden das international standardisierte XML-basierten Format Office Open XML [21] und können mit den üblichen Softwaresystemen wie z.B. Word oder Excel direkt geöffnet und weiterverarbeitet werden.

The screenshot displays two pages of a technical report. The left page (Seite 4 von 6) includes sections for 'Spannungsüberwachung: Sammelschienen' (Voltage monitoring: Busbars), 'Spannungsüberwachung: Erzeugungsanlagen (DEA)' (Voltage monitoring: Generation plants), 'Leiterstromüberwachung: Mess/Schutzgeräte' (Conductor current monitoring: Measurement/Protection devices), 'Leiterstromüberwachung: Schalter' (Conductor current monitoring: Switches), 'Erzeugungsanlagen (DEA): Spannungen am NAP' (Generation plants: Voltages at NAP), 'Erzeugungsanlagen (DEA): Genauigkeit der Lastflussberechnung' (Generation plants: Accuracy of load flow calculation), and 'Verlustleistung' (Losses). The right page (Seite 5 von 6) includes 'Anzahl Leitungen' (Number of lines), 'Auslastung der Leitungen' (Line loading), 'Netzstatus der Leitungen' (Network status of lines), 'Handlungsbedarf (HB) der Leitungen' (Action required for lines), 'Häufigkeiten des Handlungsbedarfes (HB) der Leitungen' (Frequency of action required for lines), and 'Häufigkeiten der maximalen Auslastung der Leitungen' (Frequency of maximum line loading). Tables provide detailed data for various network elements and their operational status.

Abbildung 54: Bericht mit den Ergebnissen der Lastflussberechnung

Einstellwert	Bedeutung
Ergebnisse für Schutzgeräte	Es werden die Ergebnisse der Netzschutzprüfung für alle Netzschutzgeräte ausgegeben.
Ergebnisse für Leitungen	Es werden die Ergebnisse der Netzschutzprüfung für alle Netzschutzgeräte, die im Leitungsmodell integriert sind, ausgegeben.
Ergebnisse für GridProtect (.CSV-Datei)	Ergebnisse der Lastflussberechnung mit und ohne Kurzschluss werden für das Netzschutzanalyseprogramm GridProtect (www.gridprotect.com) in einer .CSV-Datei ausgegeben.
Bericht: Prüfbericht für Schutzgeräte	Die Ergebnisse einer Lastflussberechnung mit und ohne Kurzschluss werden als Bericht in eine XML-Datei [21] im Projektverzeichnis gespeichert. Der NetDateiname ist der Dateiname der zugehörigen .NET-Datei . Dem Dateinamen wird die Angabe von Datum und Uhrzeit vorangestellt. Der NetDateiname ist der Dateiname der zugehörigen .NET-Datei .

JJJJMMTThhmss_NetDateiname_PROT.xml

5.4.8.1 Bericht: Ergebnisse Lastflussberechnung – Zusatzinformationen

In dem Bericht zu Lastflussberechnungen können optional mit Zusatzinformationen gespeichert werden. Der nachfolgend dargestellte Einstellwert wird nicht in der .NET-Datei gespeichert.

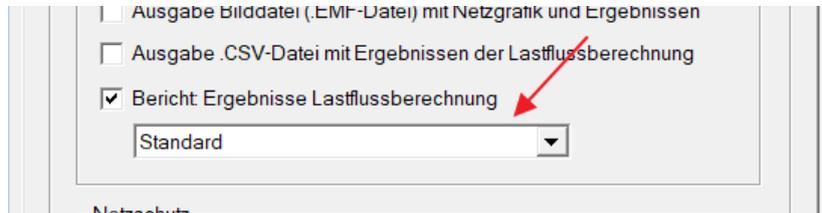


Abbildung 55: Ausgabe von Zusatzinformationen in der Ergebnisdatei

Einstellwert	Bedeutung
Standard	Ausgabe der Ergebnisse der Lastflussberechnung
Zusatzinformationen	Ausgabe von zusätzlichen Informationen <ul style="list-style-type: none"> Zwischenergebnisse des Iterationsverfahrens je Iterationsschritt

5.4.9 Registerkarte **Farben Un** – Einfärben von Spannungsebenen

In der Registerkarte **Farben Un** können in einer anwenderspezifisch einstellbaren Liste Nennspannungen **Un [kV]** Farben zugeordnet werden. Mit einem **Left Mouse Button Click** auf die Toolbar Taste  in der **Main Toolbar** werden die Nennspannungen automatisch identifiziert, fehlende oder inkonsistente Nennspannungen farblich markiert und für die Spannungsebenen mit den eingestellten Farben gezeichnet. Die Einfärbung erfolgt nur nach der **Berechnung eines stationären Netzzustandes**.

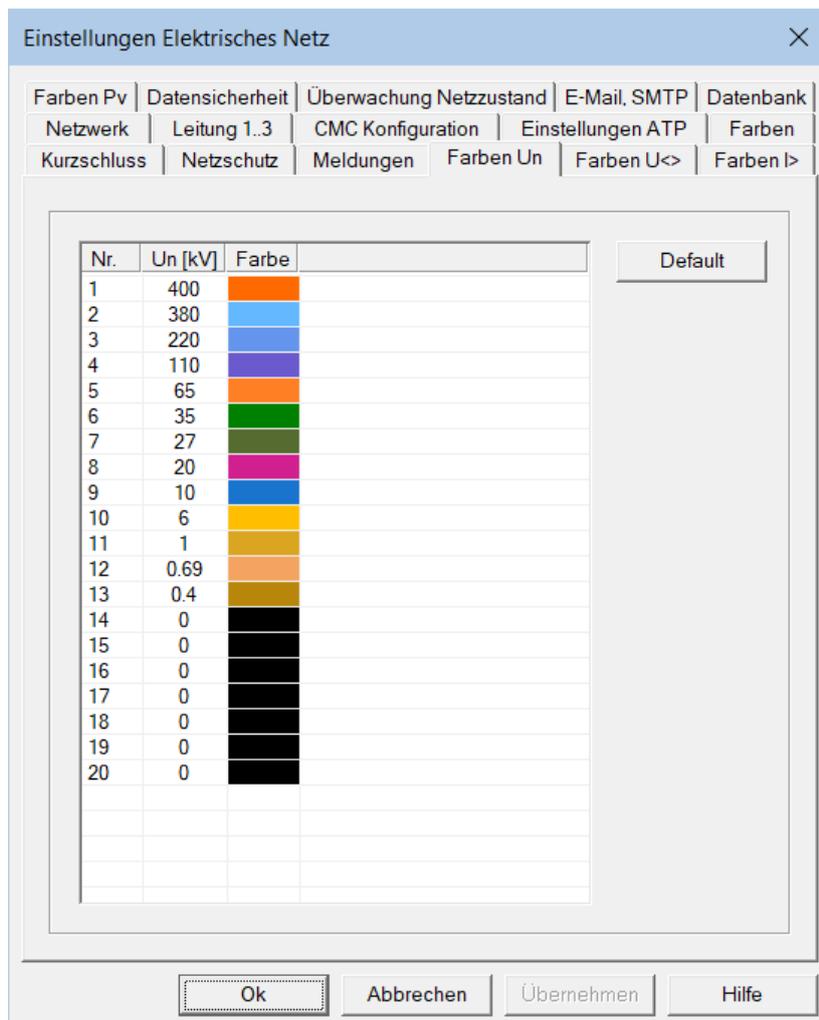


Abbildung 56: Registerkarte **Farben Un** – Einfärben von Spannungsebenen

Die Einfärbung kann mit dem Toolbar-Button  in der **Main Toolbar** oder dem Menüpunkt **Netzberechnung entfernen** im Hauptmenü **ATP** oder mit **Strg + Alt + E** zurückgesetzt werden.

5.4.10 Registerkarte **Farben U<>** – Einfärben von Spannungsbändern

In der Registerkarte **Farben U<>** können in einer anwenderspezifisch einstellbaren Liste mehrere Spannungsgrenzen **U<> [%]** definiert und diesen Farben zugeordnet werden. ATPDesigner identifiziert nach einer **Berechnung eines stationären Netzzustandes** automatisch die Netzspannungen z.B. an **Sammelschienen** und zeichnet diese Netzwerkelemente in den zugeordneten Farben. Ergebnisse der **Spannungsüberwachungen** werden auch im **Meldungsfenster** ausgegeben.

-  : Auswertung der dem Betrag nach größten Leiter-Erd-Spannungen
-  : Auswertung der dem Betrag nach kleinsten Leiter-Erd-Spannungen

Die Funktionen können mit den entsprechenden Menüpunkten im Hauptmenü **ATP** ausgeführt werden oder mit den oben angezeigten Toolbar-Buttons in der **Main-Toolbar**.

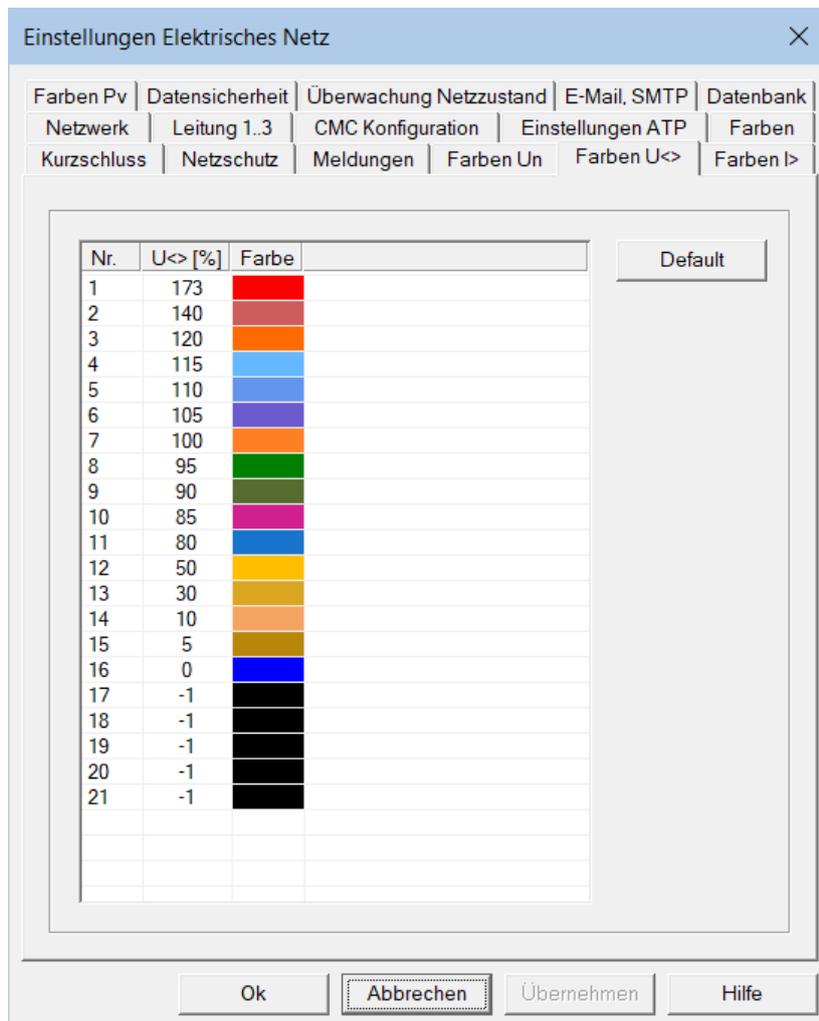


Abbildung 57: Registerkarte *Farben U<>* – Einfärben von Spannungsbändern

Die Einfärbung kann mit dem Toolbar-Button  oder dem Menüpunkt **Netzberechnung entfernen** im Hauptmenü **ATP** oder dem Hotkey **Strg + Alt + E** zurückgesetzt werden.

Zur Auswahl der Zeichenfarbe werden abhängig von den Netzwerkelementen die Beträge der Leiter-Erd- und/oder Leiter-Leiter-Spannungen ausgewertet, um den größten Betrag der Netzspannung am Netzknoten des Netzwerkelementes zu ermitteln.

Netzwerkelement	Maximaler Betrag der Spannungen U_{LE} und/oder U_{LL}
Sammelschiene	U_{LE} zwischen Netzknoten und Erde und U_{LL} zwischen den Leitern

	Ist eine Doppelsammelschiene konfiguriert, so wird der größte Betrag der Leiter-Erd-Spannungen beider Sammelschienen unabhängig vom elektrischen Schaltzustand (z.B. parallel oder elektrisch getrennt) ermittelt.
Leitung	U_{LE} zwischen Netzknoten und Erde am rechten Netzknoten (R)
Verbraucherlast	U_{LE} zwischen Netzknoten und Sternpunkt (ggfs. von Erde isoliert)
Mess/Schutzgerät	U_{LE}
Erzeugungsanlage (DEA)	U_{LE} zwischen Netzknoten und Erde
Synchrongenerator	U_{LE} zwischen Netzknoten und Erde
Asynchronmaschine	U_{LE} zwischen Netzknoten und Erde
Netzeinspeisung	U_{LE} zwischen Netzknoten und Erde
Transformator 2/3-Wicklung (BCTRAN)	U_{LE} zwischen Netzknoten und Erde
Transformator (XFORMER)	U_{LE} zwischen Netzknoten und Erde

In der nachfolgenden Abbildung ist beispielhaft ein Netz im Normalbetrieb dargestellt, dessen Betriebsmittel spannungsabhängig eingefärbt wurden.

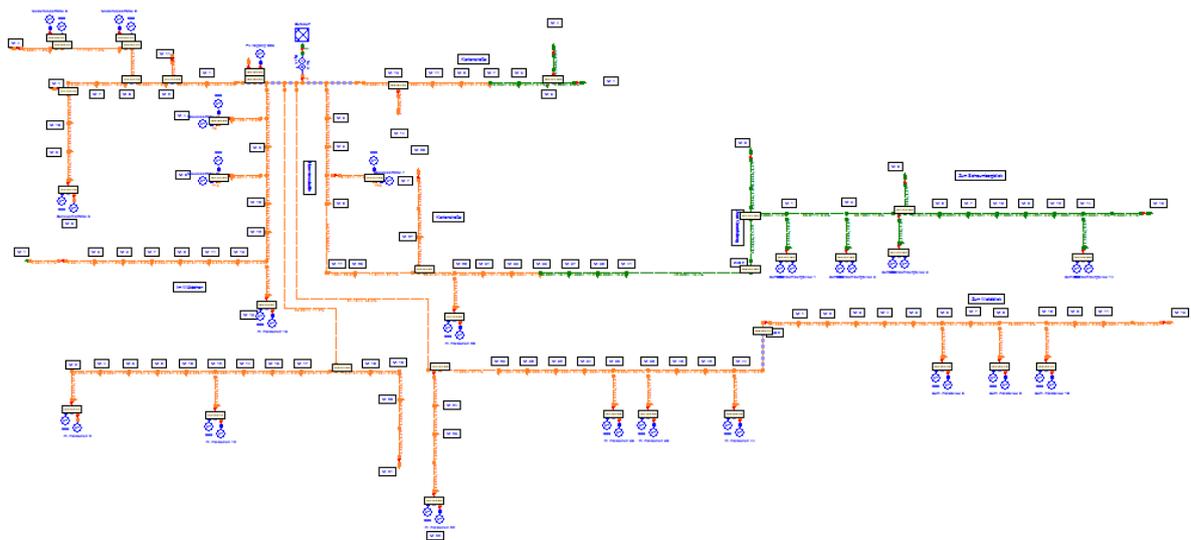


Abbildung 58: Netz mit einer spannungsabhängigen Einfärbung der Betriebsmittel

5.4.11 Registerkarte *Farben I>* - Überlastung von Betriebsmitteln

ATPDesigner stellt mehrere Einstellwerte zur Verfügung, um Betriebsmittel wie z.B. [Leitungen](#) oder [2-Wicklungs-Transformatoren](#) abhängig vom Lastzustand farblich zu markieren. Die Einfärbung erfolgt nur nach der [Berechnung eines stationären Netzzustandes](#).

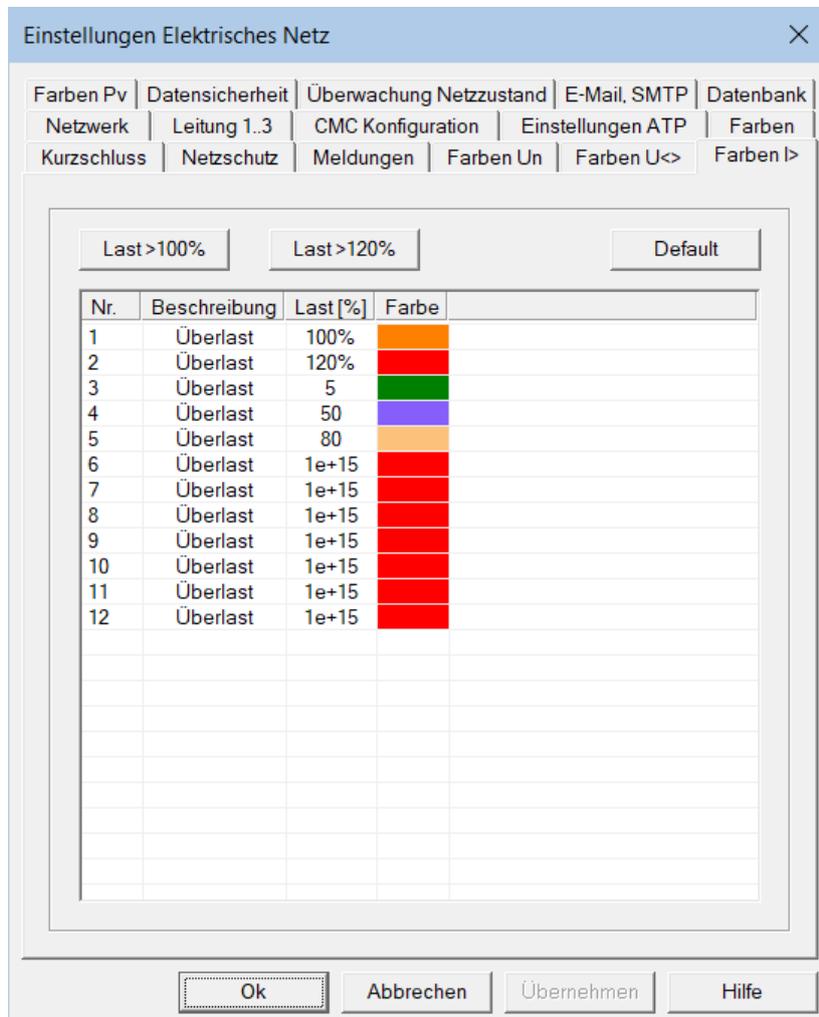
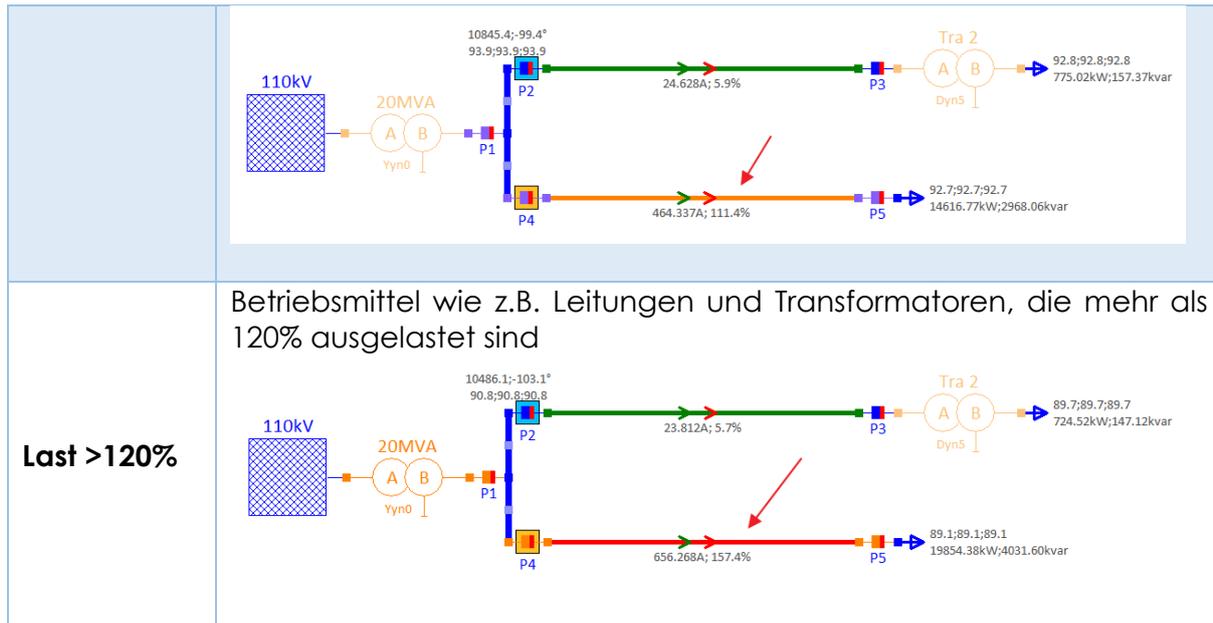


Abbildung 59: Registerkarte *Farben I>* - Überlastung von Betriebsmitteln

- Für die beiden Einstellwerte **Last > 100%** und **Last > 120%** können nur die Farben definiert werden, nicht die Überlastschwellen. Die beiden Einstellwerte sind in der Farbliste in den beiden ersten Zeilen Nr. 1 und Nr. 2 enthalten.
- In den Zeilen Nr. 3...12 können weitere Kombinationen {Last [%], Farbe} definiert werden.

Einstellwert	Bedeutung
Last > 100%	Betriebsmittel wie z.B. Leitungen und Transformatoren, die mehr als 100% ausgelastet sind



5.4.12 Registerkarte CMC Konfiguration

Die Registerkarte kann nur verwendet werden, wenn eine Sekundärprüfeinrichtung der Fa. Omicron mit ATPDesigner über eine Datenverbindung verbunden ist.

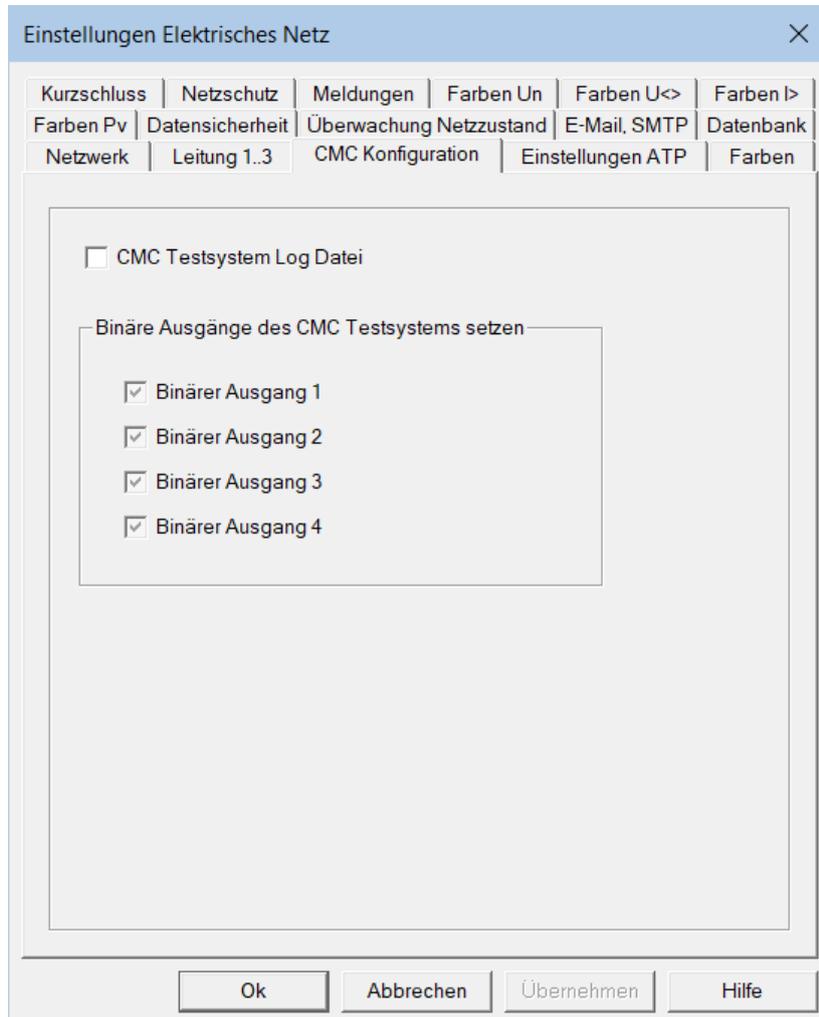


Abbildung 60: Registerkarte CMC Konfiguration

5.4.13 Registerkarte Farben Pv

ATPDesigner stellt mehrere Einstellwerte zur Verfügung, um Betriebsmittel wie z.B. [Leitungen](#) oder [2-Wicklungs-Transformatoren](#) abhängig von der Wirkverlustleistung in der Netzgrafik einzufärben. Die Einfärbung erfolgt nur nach der [Berechnung eines stationären Netzzustandes](#). Die Einfärbung kann mit dem Toolbar-Schalter  in der [Main Toolbar](#) aktiviert und deaktiviert werden.

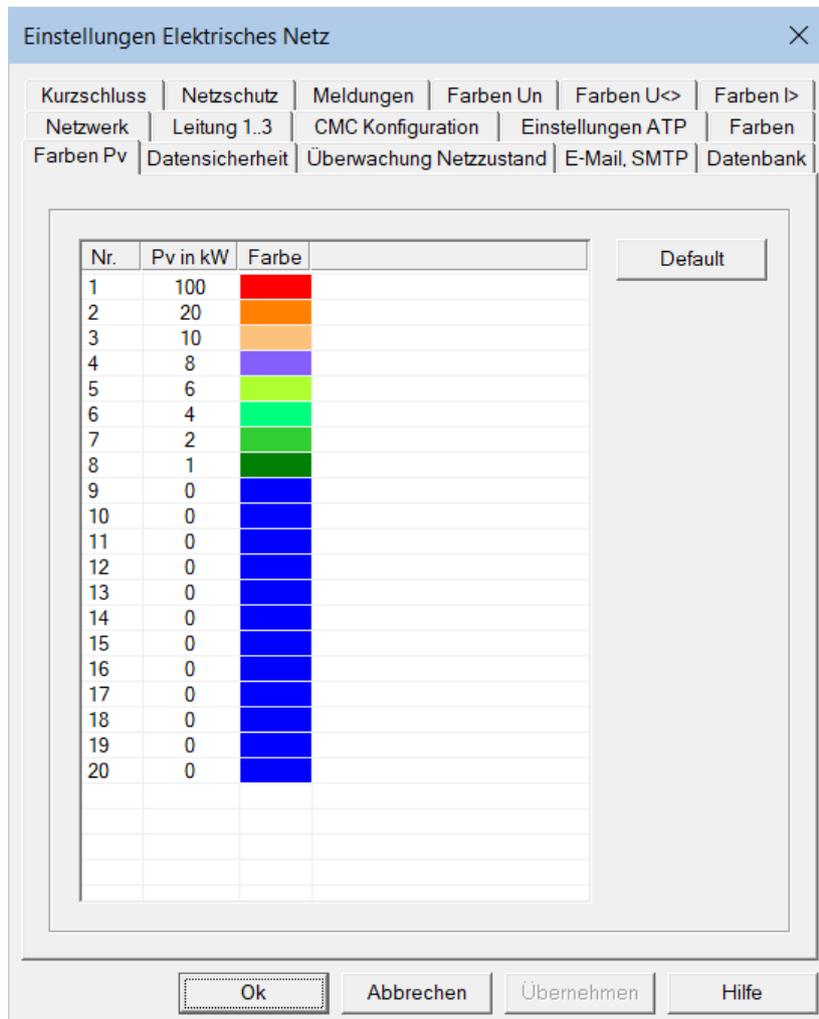


Abbildung 61: Registerkarte *Farben Pv* – Wirkleistungsverluste Pv von Betriebsmitteln

5.4.14 Registerkarte *Datensicherheit*

In der Registerkarte *Datensicherheit* sind verschiedene Einstellwerte z.B. zur anwenderspezifischen Verschlüsselung der .NET-Datei (Dateierweiterung **.BNET**) oder zum verschlüsselten Zugriff auf den Web-Server vorhanden.

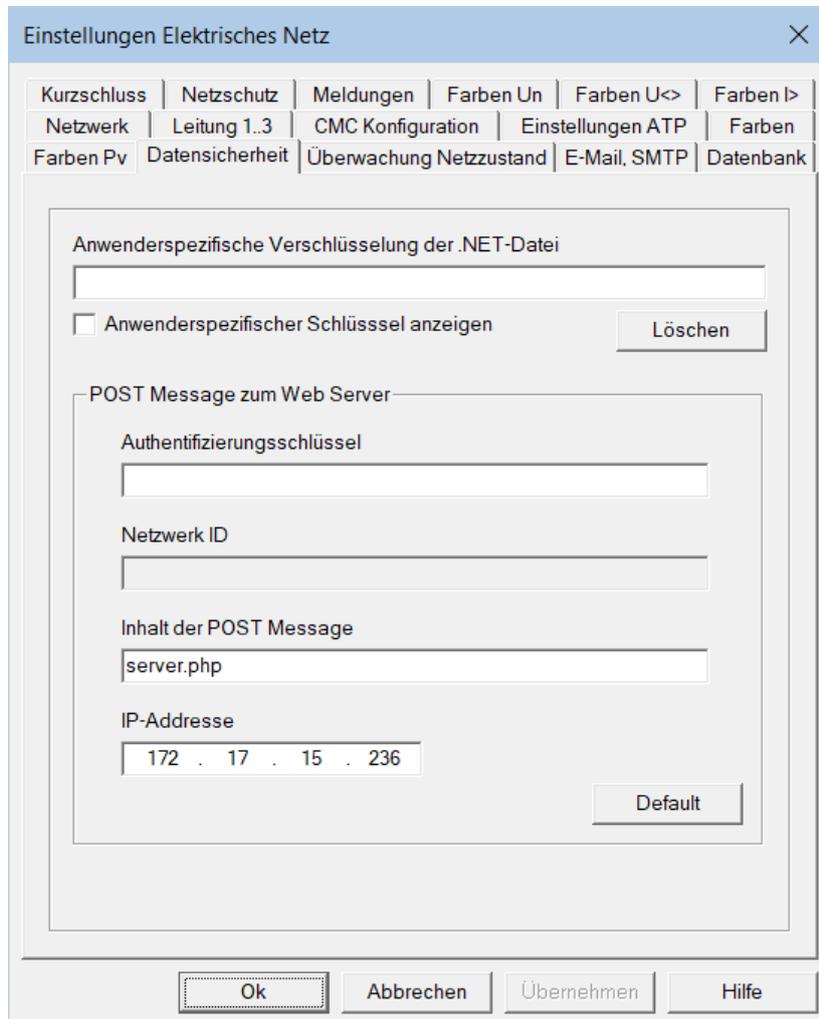


Abbildung 62: Registerkarte *Datensicherheit*

5.4.14.1 Anwenderspezifisches Passwort zur Verschlüsselung der .NET-Datei

Das anwenderspezifische Passwort kann maximal 56 Zeichen (= 448 Bit) lang sein. Das Passwort wird von ATPDesigner nicht gespeichert, weder in der .NET-Datei, der Registry oder anderen Speichermedien.



Vorsicht !!!

Bei Verlust des anwenderspezifischen Passwortes ist eine Entschlüsselung von damit verschlüsselten .NET-Dateien (Dateierweiterung .BNET) nicht möglich, auch nicht durch das Entwicklungsteam. Es ist keine Backdoor in ATPDesigner vorhanden.

Das anwenderspezifische Passwort wird falls verwendet wie in obiger Abbildung zu sehen in dem Editierfeld optional lesbar angezeigt.

5.4.14.1.1 Anwenderspezifisches Passwort löschen oder ändern

Wurde eine mit einem anwenderspezifischen Passwort verschlüsselte .NET-Datei eingelesen, so wird das vom Anwender verwendete Passwort in dem Editierfeld optional lesbar angezeigt. Das Passwort kann jetzt beliebig geändert oder auch mit dem Button **Löschen** gelöscht werden. Wird das anwenderspezifische Passwort gelöscht, so wird das allgemeine Passwort zur Verschlüsselung der .NET-Datei verwendet.

- ⇒ **Es ist nicht möglich, eine einmal gewählte Verschlüsselung mit dem allgemeinen oder anwenderspezifischen Passwort rückgängig zu machen und die .NET-Datei unverschlüsselt zu speichern.**



5.4.14.1.2 Anwenderspezifisches Passwort erstmalig eingeben

Wurde ein neues Projekt neu angelegt und noch nicht als .NET-Datei gespeichert oder unverschlüsselt eingelesen (Dateierweiterung: **.NET**), so kann ein anwenderspezifisches Passwort zur Verschlüsselung eingegeben werden.

1. Im Einstelldialog Programmeinstellungen, Hauptmenü Tools muss die Option **Anwenderspezifischer Schlüssel für die Verschlüsselung der .NET-Dateien aktivieren** aktiviert werden.
2. Eingabe des anwenderspezifischen Schlüssels im Editierfeld **Anwenderspezifische Verschlüsselung der .NET-Datei** eingeben

Der anwenderspezifische Schlüssel wird beim nächsten Speichern der .NET-Datei verwendet.

5.4.14.2 Projektspezifisches Passwort für POST-Message zum Web Server

Das projektspezifische Passwort wird benötigt, um nach Beendigung einer automatisierten Netzberechnung den Web-Server zu benachrichtigen, um z.B. eine E-Mail an die administrierten Nutzer zu senden.

Einstellwert	Bedeutung
Authentifizierungsschlüssel	Der Authentifizierungsschlüssel des Projektes wird durch den Web-Server erzeugt und muss hier eingegeben werden. Der Web-Server führt die POST-Message nur aus, wenn der Authentifizierungsschlüssel des Projektes empfangen wurde.
Netzwerk ID	Zu Identifikation des Projektes wird automatisch der Dateiname der .NET-Datei zum Web-Server gesendet.
Inhalt der POST-Message	Als Adressat muss hier z.B. der Name des PHP-Hauptprogrammes angegeben werden.
IP-Adresse	IP-Adresse des Web-Servers

5.4.15 Registerkarte Überwachung Netzzustand

In dem nachfolgenden Einstelldialog können Strom- und Spannungsbänder eingestellt werden, um den Netzzustand nach einem Ampelkonzept wie z.B. nach BDEW [23] vorgeschlagen zu überwachen. In Anlehnung daran sind Einstellwerte für drei Netzzustände **Grün**, **Gelb** und **Rot** in dem Einstelldialog enthalten. Die Überwachung des Netzzustandes wird nur für die **Berechnung stationärer Netzzustände**, d.h. auch für **Lastflussberechnungen** durchgeführt. Die Grundeinstellung des Einstelldialogs entspricht den Empfehlungen des BDEW-Ampelkonzeptes [22]. Im Falle einer Kurzschlussstromberechnung wird die hier beschriebene Netzzustandsanalyse nicht durchgeführt.

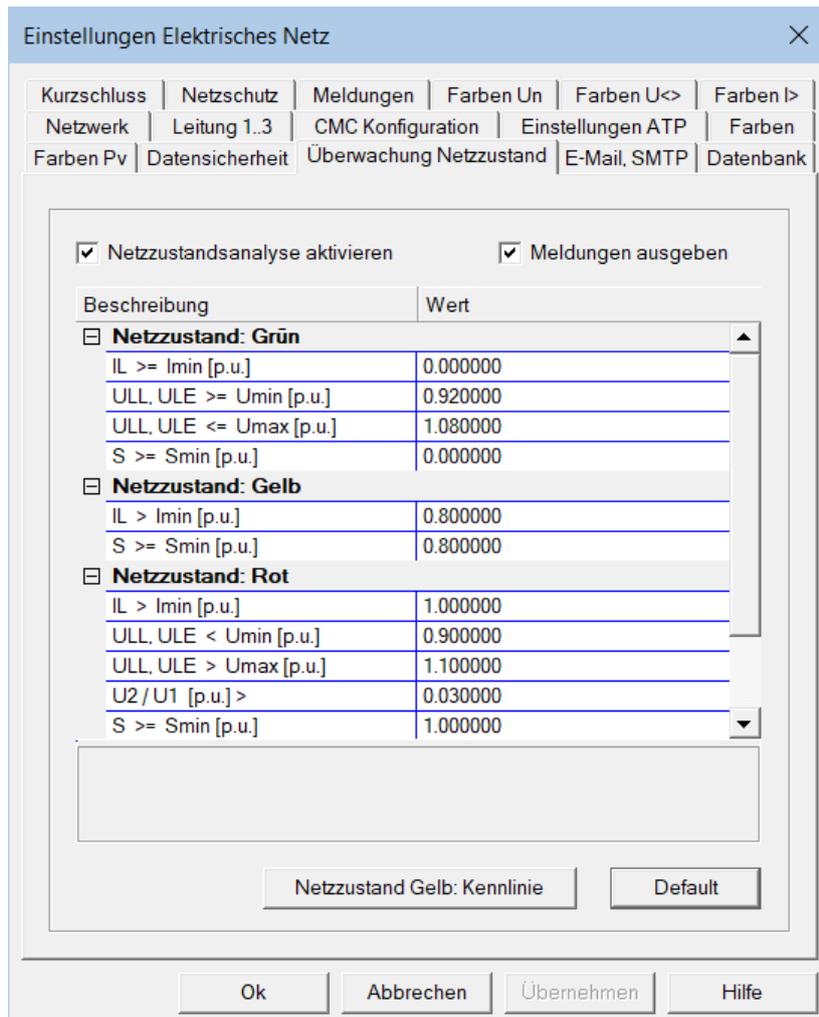


Abbildung 63: Registerkarte Überwachung Netzzustand

Für den **Netzzustand Gelb** wird mit Hilfe einer Kennlinie basierend auf der Stromauslastung des Betriebsmittels der Handlungsbedarf ermittelt und im **Messages Window** betriebsmittelspezifisch ausgegeben. Der Einstelldialog der Kennlinie kann mit dem Button **Netzzustand Gelb: Kennlinie** geöffnet werden.

Einstellwert	Bedeutung
Netzzustandsanalyse aktivieren	Netzzustandsanalyse aktivieren oder deaktivieren
Meldungen aktivieren	Ausgabe der Meldungen der Netzzustandsanalyse in das Meldungsfenster aktivieren oder deaktivieren
I_{min} [p.u.]	Kleinster zulässiger Leiterstrom in p.u.
U_{min} [p.u.]	Kleinste zulässige Spannung in p.u.
U_{max} [p.u.]	Größte zulässige Spannung in p.u.
U₂ / U₁ [p.u.]	Größte zulässige Spannungsunsymmetrie in p.u. <ul style="list-style-type: none"> ▪ U₂ = Betrag der Gegensystemspannung ▪ U₁ = Betrag der Mitsystemspannung
S_{min} [p.u.]	Kleinste zulässige Scheinleistung in p.u.

Die Einstellwerte haben keine netzschutztechnische Bedeutung und dienen nur dazu, den Netzstatus in eine der Kategorien grün, gelb oder rot einzuordnen.

Netzwerkelemente werden hinsichtlich der Leiterströme, Leiter-Leiter- und Leiter-Erd-Spannungen des natürlichen Systems sowie des Mit- und Gegensystems sowie ggfs. vorhandener Generalanregungen und AUS-Kommandos von Schutzfunktionen wie in der nachfolgenden Tabelle dargestellt überprüft.

Betriebsmittel	U _{LE} , U _{LL}	I _L	U ₂ / U ₁	S _{min}	Anregung Netzschutz	AUS-Kommando Netzschutz
<u>Mess/Schutzgerät</u>	X	-	X	-	X	X
<u>Erzeugungsanlage (DEA)</u>	X	-	X	-	X	X
<u>Leitung</u>	X	X	-	-	-	-
<u>2-Wicklungs-Transformator</u>	X	X	-	X	-	-
<u>Sammelschiene</u>	X	-	X	-	-	-
<u>Transformator 2/3-Wicklung (BCTRAN)</u>	X	X	-	-	-	-
<u>Netzeinspeisung</u>	X	-	-	-	-	-
<u>Verbraucherlast</u>	X	-	-	-	-	-

Tabelle 1: Überwachung Netzstatus - Kennwerte zur Bewertung von Betriebsmitteln

5.4.15.1 Netzzustand – Einstellwerte und Anzeige mit einer Ampel

Der nach Abbildung 63 von ATPDesigner ermittelte Netzzustand kann mit der **Netzzustandsampel** angezeigt werden. In Anlehnung an das BDEW-Ampelkonzept [22] sind die Netzzustände wie nachfolgend definiert. Es ist darauf zu achten, dass die Einstellwerte der drei Netzzustände in der Tabelle keine unzulässigen Überlappungen aufweisen. Die Bedingungen innerhalb der drei Zustände werden ODER-verknüpft.

Netzzustand	Bedeutung
Grün Netzzustand Normal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ $I_{min\ grün} \leq I_L \leq I_{min\ gelb}$ ▪ $U_{min\ grün} \leq U_{LL,LE} \leq U_{max\ grün}$
Gelb Netzzustand Warnung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ $I_{min\ gelb} < I_L \leq I_{min\ rot}$ ▪ $U_{min\ rot} \leq U_{LL,LE} < U_{min\ grün}$ oder $U_{max\ grün} < U_{LL,LE} \leq U_{max\ rot}$
Rot Netzzustand Kritisch	<ul style="list-style-type: none"> ▪ $I_{min\ rot} < I_L$ ▪ $U_{LL,LE} < U_{min\ rot}$ oder $U_{max\ rot} < U_{LL,LE}$ ▪ $\frac{U_2}{U_1} > U2 / U1_{rot}$

Tabelle 2: Kriterien zur Bewertung des Netzzustandes Grün, Gelb, Rot

Nachfolgend ist beispielhaft der Netzzustand **Grün** der Netzzustandsampel angezeigt.

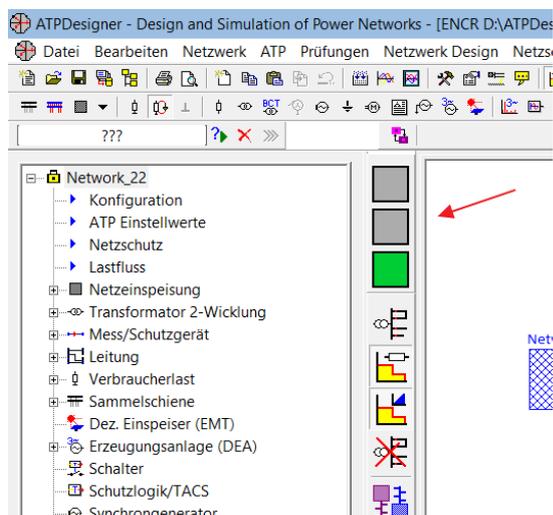


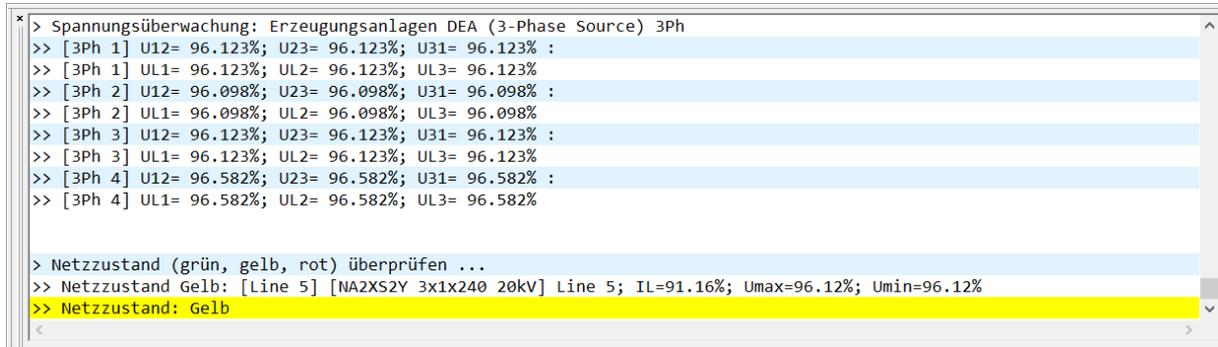
Abbildung 64: Netzzustandsampel - Anzeige des Netzzustandes in drei Phasen rot, gelb, grün

Die Netzzustandsampel ist in ATPDesigner als Toolbar implementiert und kann im Hauptmenü **Ansicht** mit dem Menüeintrag **Toolbar Netzzustand** ein- und ausgeschaltet werden.

5.4.15.2 Netzzustand – Ausgabe im Meldungsfenster

Die Ergebnisse der Netzzustandsanalyse werden wie in der nachfolgenden Abbildung dargestellt im **Meldungsfenster** ausgegeben. Für jedes einzelne Netzwerkelement wer-

den je nach Verfügbarkeit die analysierten Kriterien und den Zustand für das betrachtete Netzwerkelement ausgegeben. Der Abschluss der Ausgabe bildet der Netzstatus des gesamten Netzes.



```
> Spannungsüberwachung: Erzeugungsanlagen DEA (3-Phase Source) 3Ph
>> [3Ph 1] U12= 96.123%; U23= 96.123%; U31= 96.123% :
>> [3Ph 1] UL1= 96.123%; UL2= 96.123%; UL3= 96.123%
>> [3Ph 2] U12= 96.098%; U23= 96.098%; U31= 96.098% :
>> [3Ph 2] UL1= 96.098%; UL2= 96.098%; UL3= 96.098%
>> [3Ph 3] U12= 96.123%; U23= 96.123%; U31= 96.123% :
>> [3Ph 3] UL1= 96.123%; UL2= 96.123%; UL3= 96.123%
>> [3Ph 4] U12= 96.582%; U23= 96.582%; U31= 96.582% :
>> [3Ph 4] UL1= 96.582%; UL2= 96.582%; UL3= 96.582%

> Netzzustand (grün, gelb, rot) überprüfen ...
>> Netzzustand Gelb: [Line 5] [NA2XS2Y 3x1x240 20kV] Line 5; IL=91.16%; Umax=96.12%; Umin=96.12%
>> Netzzustand: Gelb
```

Abbildung 65: Ausgabe der Ergebnisse der Netzzustandsanalyse im Meldungsfenster

5.4.15.3 Registerkarte E-Mail, SMTP

ATPDesigner bietet dem Anwender die Möglichkeit, ereignisorientiert E-Mail Benachrichtigungen zu versenden.

- Hauptmenü **Netzwerk**
- Menüpunkt **Netzkonfiguration**
- Registerkarte **E-Mail, SMTP**

Im nachfolgend gezeigten Einstelldialog wird der SMTP-Server, Port-Nummer, etc. eingestellt. Auch kann eine Test-E-Mail versendet werden.

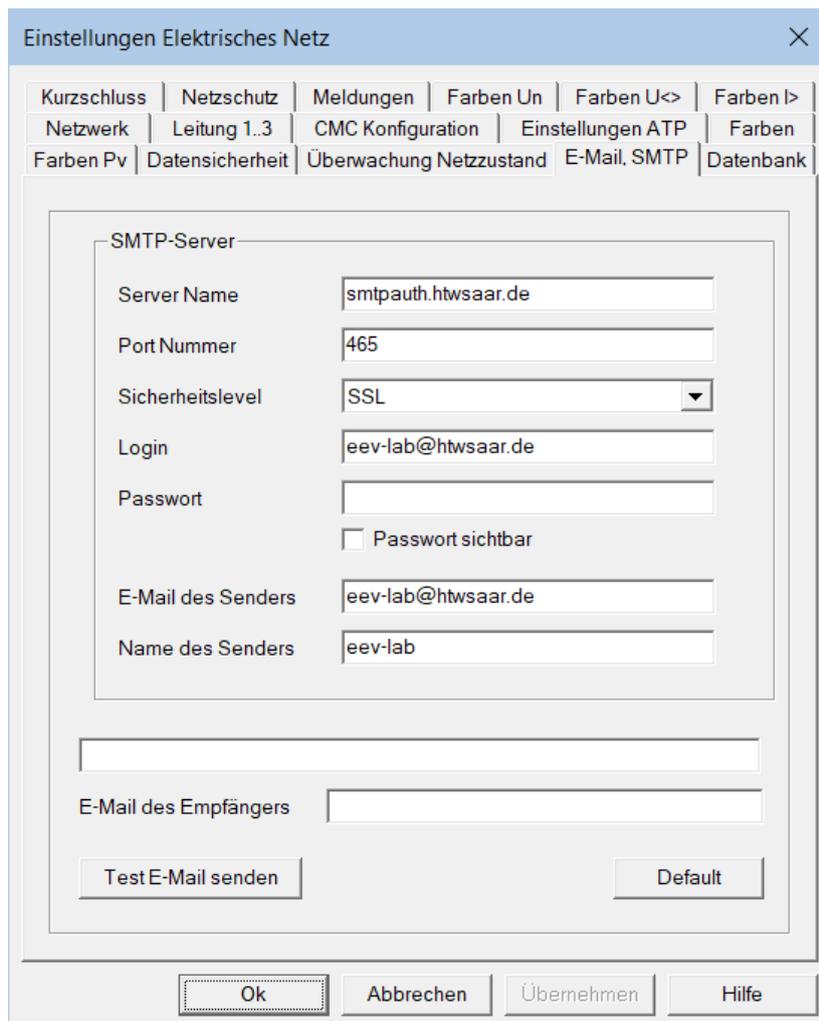


Abbildung 66: Registerkarte E-Mail, SMTP

5.4.15.4 Netzzustand gelb - Ermittlung des Handlungsbedarfes für Betriebsmittel

Für den **Netzzustand gelb** wird für ausgewählte Betriebsmittel und zur Konkretisierung der Netzzustandsbewertung der **Handlungsbedarf** ermittelt und im **Meldungsfenster** betriebsmittelspezifisch ausgegeben. Für den Handlungsbedarf werden

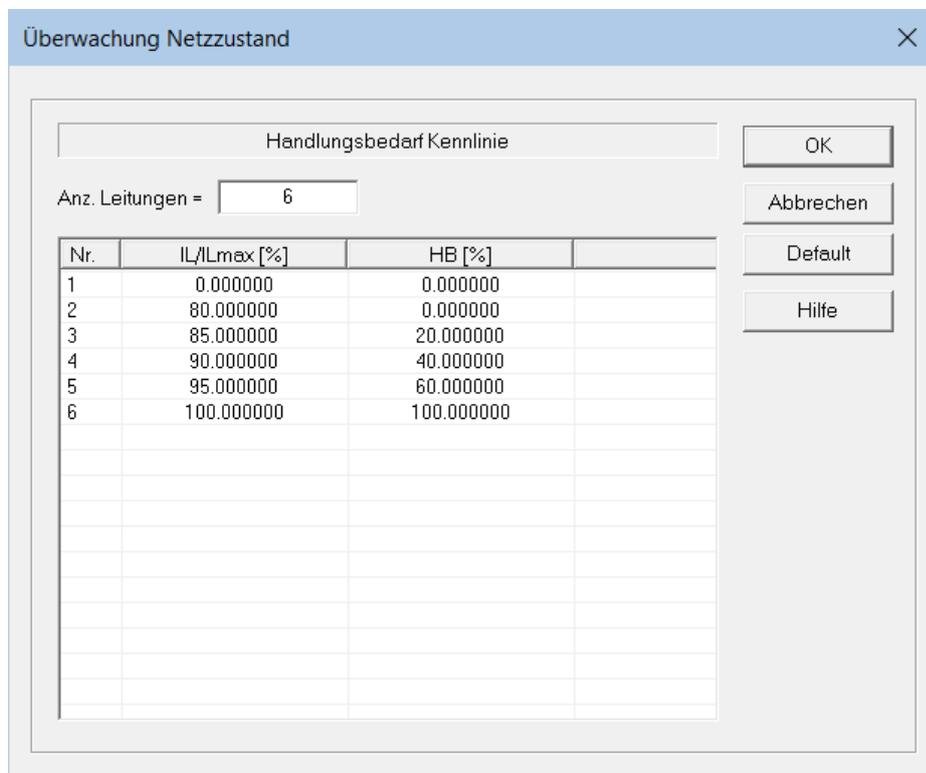
Die grundlegende Annahme zur **Definition des Handlungsbedarfs** ergibt sich aus der Überlegung, dass Netzausbaumaßnahmen umso dringlicher werden, je näher die Auslastung der Betriebsmittel an die Grenze zum unzulässigen Auslastungsbereich, d.h.

dem **Netzzustand rot** kommt. Es kann angenommen werden, dass der aus dieser Überlegung heraus definierte **Handlungsbedarf** innerhalb des **Netzzustandes gelb** z.B. im Intervall [80% ...100%] nicht linear ansteigt. Für folgende Betriebsmittel wird der Handlungsbedarf ermittelt.

Betriebsmittel	Kriterien zur Ermittlung des Handlungsbedarfs
Leitung	Leiterstromauslastung
Sammelschiene	Netzspannung

5.4.15.4.1 Kennlinie zur Definition des Handlungsbedarfes von Leitungen

Der nachfolgende Einstelldialog zeigt die Kennlinie des **Handlungsbedarfes** von Leitungen. Die Kennlinie beginnt schon bei einer Auslastung von 0% und endet bei einer Auslastung von 100%.



Überwachung Netzzustand

Handlungsbedarf Kennlinie

Anz. Leitungen =

Nr.	IL/ILmax [%]	HB [%]
1	0.000000	0.000000
2	80.000000	0.000000
3	85.000000	20.000000
4	90.000000	40.000000
5	95.000000	60.000000
6	100.000000	100.000000

Buttons: OK, Abbrechen, Default, Hilfe

Abbildung 67: Netzzustand gelb – Kennlinie des Handlungsbedarfes von Leitungen

In der nachfolgenden Abbildung ist die Grundeinstellung der Kennlinie zur Ermittlung des **Handlungsbedarfes HB** in einem Diagramm dargestellt. In der Grundeinstellung ist der Handlungsbedarf im **Netzzustand grün** 0% und steigt im **Netzzustand gelb** nichtlinear bis auf 100% an. Der Handlungsbedarf für Betriebsmittel im **Netzzustand rot** wird mit 100% angenommen.

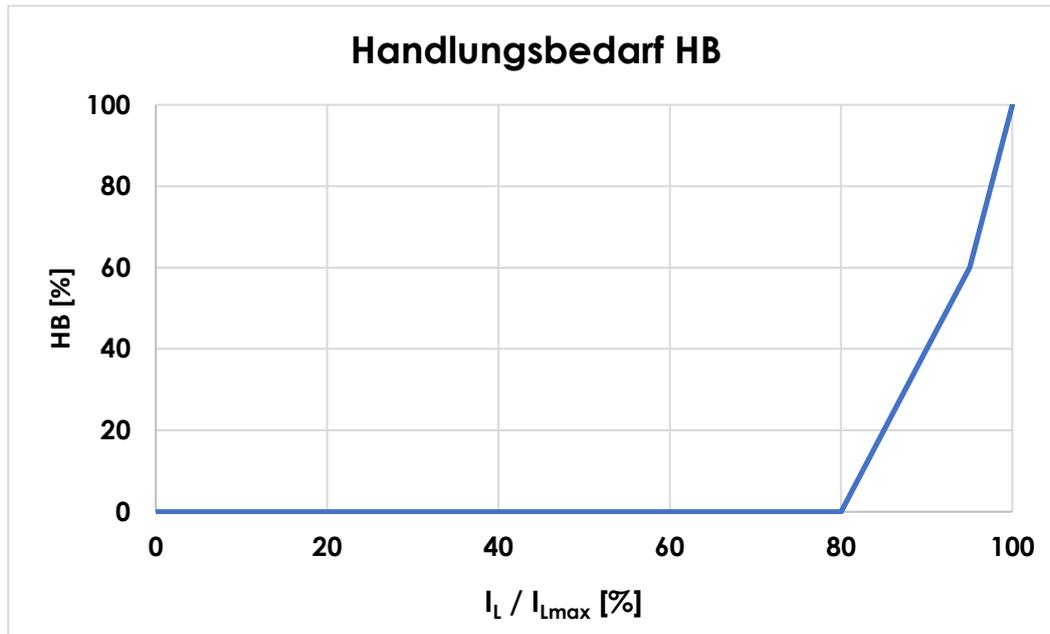


Abbildung 68: Nichtlineare Kennlinie zur Ermittlung des Handlungsbedarfes

5.4.15.5 Netzfaktoren f_N zur Bewertung des Netzzustandes

Die Bewertung des Netzzustandes wird aus der Bewertung des netzphysikalischen Zustandes der Betriebsmittel abgeleitet. Dazu werden die folgenden betriebsmittelspezifischen Netzfaktoren ermittelt.

Netzfaktor	Bedeutung
Netzfaktor f_N (Leitung)	Netzfaktor der Leitungen in %
Netzfaktor f_N (Sammelschiene)	Netzfaktor der Sammelschienen in %
Netzfaktor f_N	Resultierender Netzfaktor des Stromnetzes in %

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Dokumentation der Netzfaktoren in einem Bericht (XML-Datei [21]) zur Lastflussberechnung.

Ergebnisse der Netzzustandsanalyse und Netzzustandsdiagnose	
Netzfaktor f_N (Leitung) [%]	97.5489
Netzfaktor f_N (Sammelschiene) [%]	100
Netzfaktor f_N [%]	98.7744

Der resultierende Netzfaktor f_N des Stromnetzes wird wie folgt berechnet.

$$\text{Netzfaktor } f_N = \frac{f_N(\text{Leitung}) + f_N(\text{Sammelschiene})}{2}$$

```

> Netzzustand (grün, gelb, rot) überprüfen ...
>> Netzzustand Rot: [Line 10] Ltg10; IL=825.29%; Umax=94.72%; Umin=94.72%; HB=100.0%
>> Netzzustand Rot: [Line 11] Ltg11; IL=108.11%; Umax=91.86%; Umin=91.86%; HB=100.0%
>> Netzzustand Gelb: [Bb 6] ; Umax=91.86%; Umin=91.86%; U2/U1=0.00%; HB=80%
>> Netzzustand Gelb: [Load 4] Load 4; Umax=91.86%; Umin=91.86%
>> Netzzustand Gelb: [3Ph 4] 3Ph 4; Umax=91.86%; Umin=91.86%; U2/U1=0.00%
>> Netzzustand Gelb: [Prb 8] P8; Umax=91.86%; Umin=91.86%; U2/U1=0.00%
>> Netzzustand Gelb: [Prb 9] P9; Umax=91.86%; Umin=91.86%; U2/U1=0.00%
>> Netzzustand Rot: [Line 12] Ltg12; IL=108.11%; Umax=91.86%; Umin=91.86%; HB=100.0%
>> Netzzustand Rot: [Line 13] Ltg13; IL=108.11%; Umax=91.86%; Umin=91.86%; HB=100.0%
>> Netzzustand: Netzfaktor fN (Leitung) = 66.7%
>> Netzzustand: Netzfaktor fN (Sammelschiene) = 88.6%
>> Netzzustand: Netzfaktor fN = 77.6%
>> Netzzustand: Rot

```

Abbildung 69: Ausgabe des Handlungsbedarfs im Meldungsfenster

5.4.15.5.1 Netzfaktor f_N (Leitung) - Bewertung von Leitungen

Durch die Ermittlung des **Handlungsbedarfes** jeder einzelnen Leitung im **Netzzustand gelb** und der gewichteten Überlagerung kann der **Netzfaktor f_N (Leitungen)** gebildet werden.

$$f_N(\text{Leitung}) = \frac{N_{ges} - \sum_{i=1}^N HB_i \cdot N_i}{N_{ges}}$$

N_{ges} = Anzahl Leitungen, für die ein **Handlungsbedarf HB** ermittelt wurde

N = Anzahl der zu einem **Handlungsbedarf HB** zugehörigen Leitungen

5.4.15.5.2 Netzfaktor f_N (Sammelschiene) - Bewertung von Sammelschienen

Der Netzfaktor f_N (Sammelschiene) wird abhängig von der **Ampelphase grün, gelb oder rot** der jeweiligen Sammelschiene ermittelt.

Handlungsbedarf HB	Ampelphase
HB = 0%	grün
HB = 80%	gelb
HB = 100%	rot

Tabelle 3: Ermittlung des Handlungsbedarfs für eine Sammelschiene

$$f_N(\text{Sammelschiene}) = \frac{N_{ges} - \sum_{i=1}^N HB_i \cdot N_i}{N_{ges}}$$

N_{ges} = Anzahl Sammelschienen, für die ein **Handlungsbedarf HB** ermittelt wurde

N = Anzahl der zu einem **Handlungsbedarf HB** zugehörigen Sammelschienen

Der Handlungsbedarf der Sammelschienen wird im **Meldungsfenster** ausgegeben.

5.4.15.5.3 Netzfaktor $f_{N,ges}$ – Bewertung eines Stromnetzes

Für das gleiche Stromnetz können für unterschiedliche Netzschtzuständen, Einspeise- und Bezugsszenarien etc. je ein **Netzfaktor f_N** berechnet werden. Diese Netzfaktoren können nach der nachfolgenden Gleichung zu einem Stromnetz spezifischen **Netzfaktor $f_{N,ges}$** überlagert werden.

$$f_{N,ges} = \prod_{i=1}^S f_{N,i}$$

S = Anzahl der verschiedenen Varianten eines Stromnetzes

Der **Netzfaktor $f_{N,ges}$** dient der Beurteilung und Bewertung eines einzigen Stromnetzes in verschiedenen Netzvarianten, die z.B. von Netzzuständen, Zielnetzen und Betriebsmitteln, Einspeise- und Bezugsszenarien abhängig sind. Die Angabe erfolgt in %.

5.4.16 Registerkarte Datenbank

Das Netzberechnungsprogramm ATPDesigner bietet die Möglichkeit, Ergebnisse der **Berechnung stationärer Netzustände**, d.h. Messwerte von Netzwerkelementen und von Netzberechnungsmethoden in einer SQL⁴-Datenbank auf einem externen Server zu speichern, der durch ein TCP/IP-basiertes Kommunikationsnetzwerk mit ATPDesigner Daten austauschen kann. Der Einstelldialog ist nachfolgend dargestellt.

⇒ Die Anwendung der SQL-Datenbank für Verfahren der Netzberechnung wie z.B. **Lastflussberechnung mit Lastprofilen**, Verfahren zur Prüfung von Netzschutzkonzepten oder zur Speicherung der Trainingsdaten für KI-Systeme zur sind in [Bd. 3] näher erläutert.

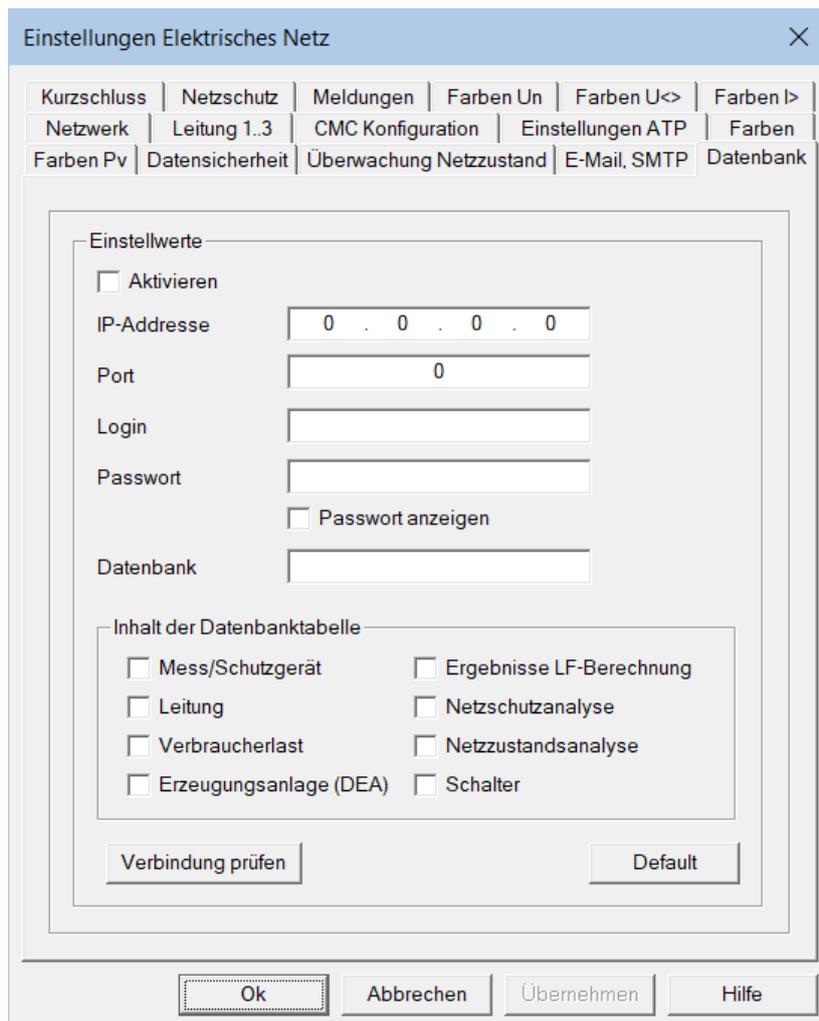
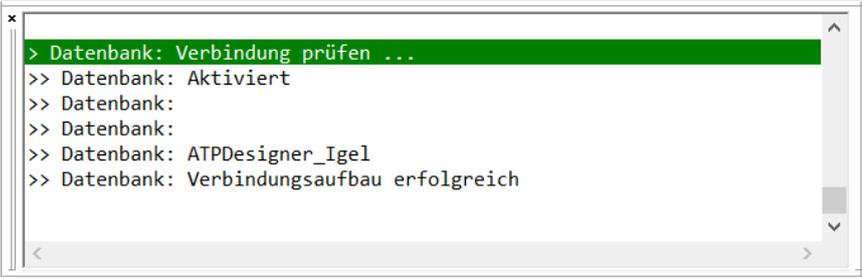


Abbildung 70: Registerkarte Datenbank

Einstellwert	Bedeutung
Aktivieren	Datenspeicherung von ATPDesigner in die SQL-Datenbank aktivieren

⁴ SQL (Structured Query Language) ist eine Programmiersprache, die zur Verwaltung relationaler Datenbanken und zum Durchführen verschiedener Aktionen mit den darin enthaltenen Daten verwendet wird.

IP-Adresse	IP-Adresse des Servers, auf dem die Datenbank als Server-Applikation ausgeführt wird
Port	Port des Servers, auf dem die SQL-Datenbank als Server-Applikation ausgeführt wird
Login	Benutzername der SQL-Datenbank
Passwort	Passwort der SQL-Datenbank
Passwort anzeigen	Passwort lesbar anzeigen
Datenbank	Name der SQL-Datenbank
Verbindung prüfen	<p>Kommunikationsverbindung von ATPDesigner zur SQL-Datenbank überprüfen</p> <p>Durch einen Left Mouse Button Click wird die Überprüfung der Verbindung gestartet. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Ausgabe im Meldungsfenster, wenn die Kommunikationsverbindung zur Datenbank fehlerfrei arbeitet.</p> 

In der Registerkarte kann in der Gruppe **Inhalt der Datenbanktabelle** die Netzwerkelemente und Netzberechnungsprozessen ausgewählt werden, deren Messwerte, d.h. Ergebnisse der Netzberechnung in der Datenbank gespeichert werden.

Einstellwert	Messwerte von ...
Mess/Schutzgerät	Netzwerkelement Mess/Schutzgerät
Leitung	Netzwerkelement Leitung
Verbraucherlast	Netzwerkelement Verbraucherlast
Erzeugungsanlage (DEA)	Netzwerkelement Erzeugungsanlage (DEA)
Schalter	Netzwerkelement Schalter
Ergebnisse LF-Berechnung	Ergebnisse der Lastflussberechnung [Bd. 3]
Netzschutzanalyse	Ergebnisse der Netzschutzanalyse [Bd. 3]
Netzzustandsanalyse	Ergebnisse der Netzzustandsanalyse [Bd. 3]

5.5 Netzeinspeisung Network Infeed

Das Netzwerkelement **Netzeinspeisung** dient zur Nachbildung einer 3-phasigen symmetrischen Spannungsquelle mit intern einer 3-phasigen Kurzschlussimpedanz. Die nachfolgende Abbildung zeigt das Ersatzschaltbild in natürlichen Komponenten und das Zeigerdiagramm der internen 3-phasigen symmetrischen Drehspannungsquelle.

- ⇒ Die **Netzeinspeisung** kann im Sinne der Lastflussberechnung als **Slack** verwendet werden. In dieser Betriebsart wird die Netzeinspeisung als ideale 3-phasige symmetrische Spannungsquelle mit $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 = 0\Omega$ und $\underline{Z}_E = 0\Omega$ verwendet.

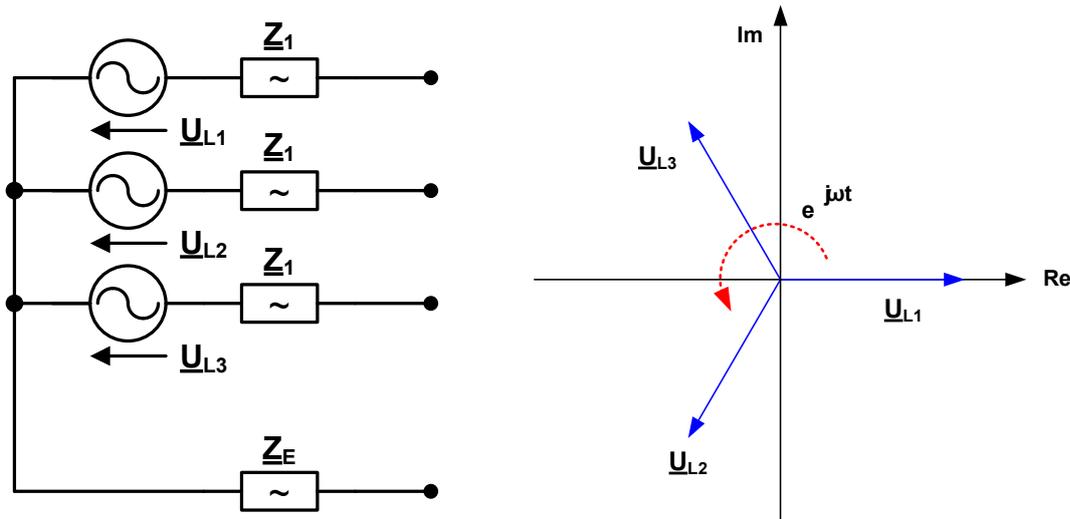


Abbildung 71: Ersatzschaltbild der Netzeinspeisung in natürlichen Komponenten

Die internen Kurzschlussimpedanzen werden durch die Impedanzen der symmetrischen Komponenten (012-System) in Mitsystem \underline{Z}_1 , Gegensystem \underline{Z}_2 und Nullsystem \underline{Z}_0 bzw. die Erdimpedanz \underline{Z}_E definiert. Es wird vorausgesetzt, dass Mitimpedanz und Gegenimpedanz gleich sind. Die Nullimpedanz \underline{Z}_0 kann davon unabhängig im Einstelldialog eingestellt werden.

$$\underline{Z}_2 = \underline{Z}_1$$

Geht man davon aus, dass die Netzeinspeisung und damit das vorgelagerte Stromversorgungsnetz elektrisch symmetrisch ist, so kann die Netzeinspeisung als Ersatzmodell des vorgelagerten Stromversorgungsnetzes im natürlichen System⁵, d.h. im System der Leitergrößen L1, L2 und L3 mit einer diagonalsymmetrischen Impedanzmatrix beschrieben werden.

$$\underline{Z}_{L123} = \begin{bmatrix} \underline{Z}_S & \underline{Z}_M & \underline{Z}_M \\ \underline{Z}_M & \underline{Z}_S & \underline{Z}_M \\ \underline{Z}_M & \underline{Z}_M & \underline{Z}_S \end{bmatrix}$$

- \underline{Z}_S = Selbstimpedanz
- \underline{Z}_M = Koppelimpedanz

⁵ Natürliches System = System der Leitergrößen L1, L2 und L3

Mit Hilfe der Transformationsmatrix kann die Darstellung im 012-System berechnet werden. Es ergibt sich eine vollständig entkoppelte Impedanzmatrix.

$$\underline{Z}_{012} = \begin{bmatrix} \underline{Z}_0 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{Z}_1 & 0 \\ 0 & 0 & \underline{Z}_2 \end{bmatrix}$$

Für die Impedanzen ergibt sich mit $\underline{Z}_2 = \underline{Z}_1$:

$$\underline{Z}_S = \frac{\underline{Z}_0 + 2 \cdot \underline{Z}_1}{3} \quad \underline{Z}_M = \frac{\underline{Z}_0 - \underline{Z}_1}{3} \quad \underline{Z}_E = \frac{\underline{Z}_0 - \underline{Z}_1}{3}$$

Die Transformation ist wegen der Existenz der Inversen der Transformationsmatrix eindeutig invertierbar.

In der nachfolgenden Abbildung sind die Ersatzschaltbilder der Netzeinspeisung im System der symmetrischen Komponenten (012-System) dargestellt. Die linke Abbildung zeigt die drei Komponentensysteme Mit-, Gegen- und Nullsystem für den Fall einer beliebig unsymmetrischen 3-phasigen Drehspannungsquelle, die rechte Abbildung für den Fall ein symmetrischen 3-phasigen Drehspannungsquelle.

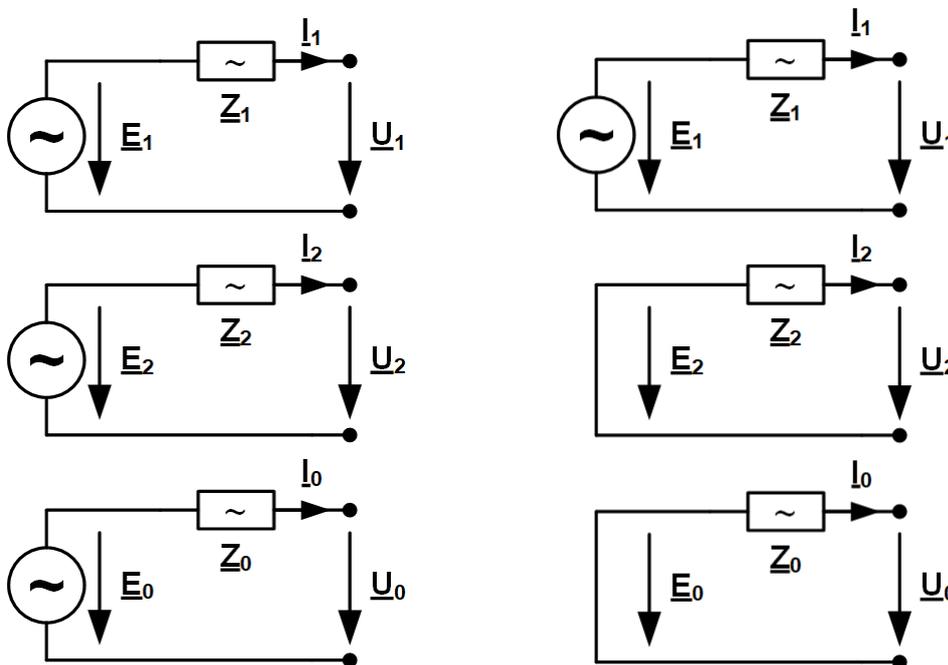


Abbildung 72: Ersatzschaltbild der Netzeinspeisung im 012-System

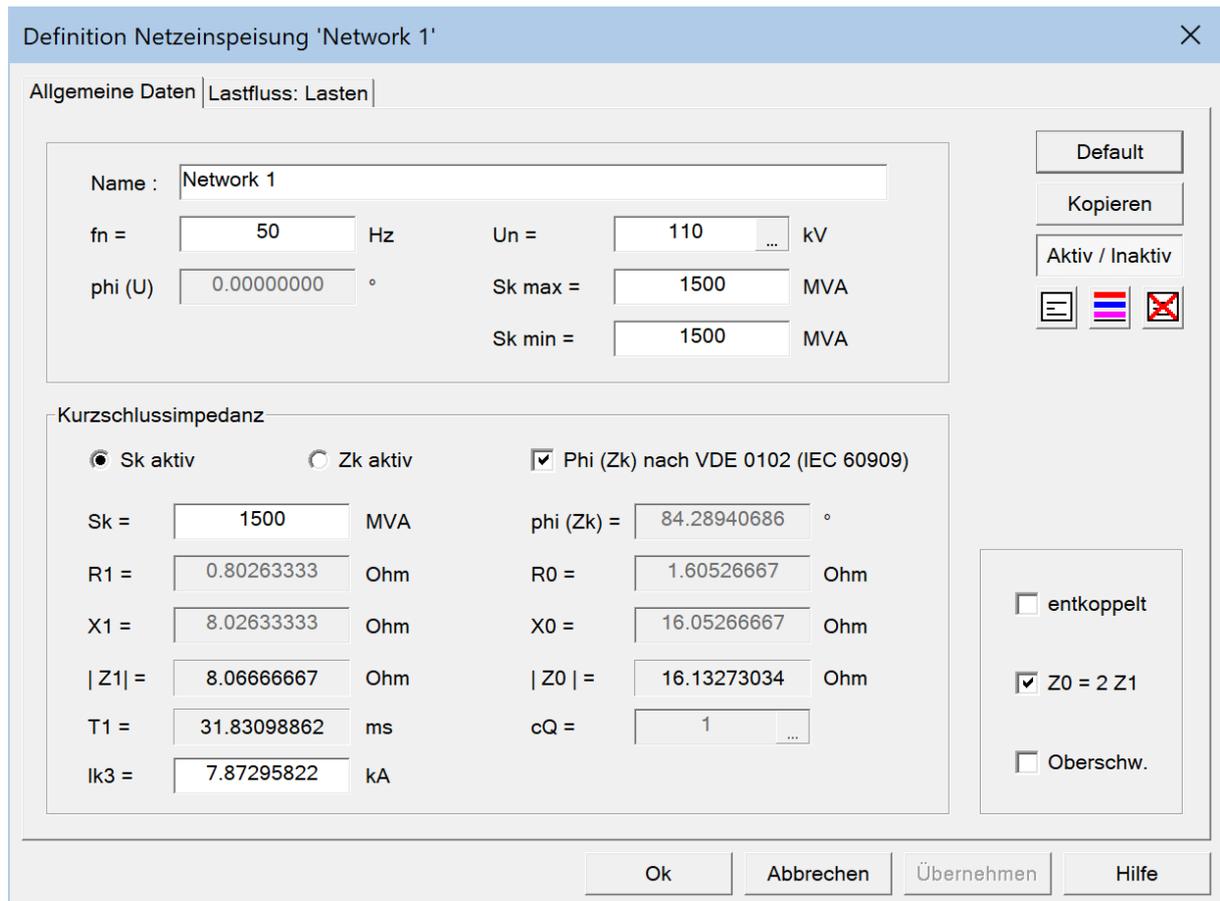
Üblicherweise wird die Netzeinspeisung als Modell eines dem zu analysierenden Stromnetzes vorgelagerten Stromnetzes mit verschiedener Nennspannung U_n verwendet. Es können auch mehrere Netzeinspeisungen verwendet werden, wenn das Stromnetz über mehrere Einspeiseknoten versorgt wird.

Die Netzeinspeisung kann optional in das Verfahren zur Lastflussberechnung mit der Option [Lastfluss: PQ, PU Knoten](#) im Einstelldialog [ATP Einstellwerte](#), Registerkarte [ATP](#)

Daten eingebunden werden. In dieser Betriebsart müssen die Einstellungen in der Registerkarte **Lastfluss: Lasten** wie nachfolgend gezeigt geeignet gewählt werden.

5.5.1 Registerkarte *Allgemeine Daten*

Der Einstelldialog in der Registerkarte **Allgemeine Daten** dient zur Definition der 3-phasigen symmetrischen Spannungsquelle mit interner Kurzschlussimpedanz. Darüber hinaus kann der **Spannungsfaktor c_Q** für die **Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102** eingestellt werden.



Definition Netzeinspeisung 'Network 1'

Allgemeine Daten | Lastfluss: Lasten

Name : Network 1

fn = 50 Hz Un = 110 kV

phi (U) = 0.00000000 ° Sk max = 1500 MVA

Sk min = 1500 MVA

Kurzschlussimpedanz

Sk aktiv Zk aktiv Phi (Zk) nach VDE 0102 (IEC 60909)

Sk = 1500 MVA phi (Zk) = 84.28940686 °

R1 = 0.80263333 Ohm R0 = 1.60526667 Ohm

X1 = 8.02633333 Ohm X0 = 16.05266667 Ohm

|Z1| = 8.06666667 Ohm |Z0| = 16.13273034 Ohm

T1 = 31.83098862 ms cQ = 1

Ik3 = 7.87295822 kA

entkoppelt

Z0 = 2 Z1

Oberschw.

Ok Abbrechen Übernehmen Hilfe

Abbildung 73: Einstelldialog *Netzeinspeisung*, Registerkarte *Allgemeine Daten*

Einstellwert	Bedeutung
fn	Nennfrequenz (Netznennfrequenz)
Un	Nennspannung
Sk	Kurzschlussleistung
Sk max	Maximale Kurzschlussleistung
Sk min	Minimale Kurzschlussleistung
Ik3	3-poliger Kurzschlussstrom
R1	Resistanz im Mitsystem
X1	Reaktanz im Mitsystem
 Z1 	Betrag der Mitimpedanz
R0	Resistanz im Nullsystem
X0	Reaktanz im Nullsystem
 Z0 	Betrag der Nullimpedanz

T1	Zeitkonstante der Mitimpedanz
cQ	Spannungsfaktor zur Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 [Bd. 3]
phi (U)	Absoluter Phasenwinkel der internen 3-phasigen Spannungsquelle im Mitsystem Dieser Einstellwert definiert den absoluten Phasenwinkel der Leiter-Erd-Spannung $u_{L1}(t)$. Die Leiter-Erd-Spannungen $u_{L2}(t)$ und $u_{L3}(t)$ werden elektrisch um $\pm 120^\circ$ im Sinne einer symmetrischen Drehspannungsquelle phasenverschoben nachgebildet.
phi (Zk)	Winkel der internen Kurzschlussimpedanz Der Spannungsfaktor c_Q wird nur zur Werteingabe aktiviert, wenn vorher in der Registerkarte ATP Daten , Registerkarte VDE 0102 (IEC60909) die Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 aktiviert wurde.
Default	Laden der Grundeinstellung des Einstelldialogs
Z0 = 2 · Z1	Die Nullimpedanz der Netzeinspeisung $\underline{Z}_0 = R_0 + jX_0$ wird als das 2-fache der Mitimpedanz $\underline{Z}_1 = R_1 + jX_1$ angenommen. $\underline{Z}_0 = 2 \cdot \underline{Z}_1$
entkoppelt	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wenn aktiv, wird die Kurzschlussimpedanz der Netzeinspeisung durch drei 1-phasige vollständig entkoppelte Serienimpedanzen $\underline{Z} = R + jX$ nachgebildet. ▪ Wenn inaktiv, wird die Netzzinnenimpedanz der Netzeinspeisung durch drei 1-phasige induktiv gekoppelte Serienimpedanzen mit Mitsystem \underline{Z}_1 und Nullsystem \underline{Z}_0 (Leitungsmodell: Einfachleitung RL) nachgebildet.
Oberschw.	Für die Netzeinspeisung können zusätzliche Oberschwingungsspannungsquellen definiert werden.

5.5.1.1 Nennfrequenz f_n des Netzwerkelementes **Netzeinspeisung 1**

Die Netzeinspeisung **Network 1** hat eine besondere Bedeutung, da in dem zugehörigen Einstelldialog in der Registerkarte [Allgemeine Daten](#) die Netznennfrequenz f_n eingestellt werden kann. Alternativ kann die Netznennfrequenz f_n in der Registerkarte [Netzwerk](#) des Einstelldialogs [Einstellungen Elektrisches Netz](#) eingestellt werden. Mit dem Einstellwert der **Netznennfrequenz f_n** der Netzeinspeisung wird die Netznennfrequenz für das gesamte Stromversorgungsnetz festgelegt. Es wird daher empfohlen, die **Netzeinspeisung 1** in einem Stromversorgungsnetz zu verwenden.

Es wird darauf hingewiesen, dass in allen anderen Instanzen des Netzwerkelementes **Netzeinspeisung** die Netznennfrequenz f_n angezeigt wird, aber nicht verändert werden kann. Diese Vorgehensweise liegt darin begründet, dass es für die Berechnung eines stationären Netzzustandes z.B. durch eine Lastflussberechnung zwingend erforderlich ist, dass die Kreisfrequenz $\omega = 2\pi f$ für alle Impedanzen des elektrischen Netzwerkes identisch ist. Obwohl die Einstellung der Netznennfrequenz f_n in zwei verschiedenen Einstelldialogen möglich ist, wird durch ATPDesigner intern sichergestellt, dass die Netznennfrequenz f_n immer einheitlich verwendet wird.

Für viele Betriebsmittel wie z.B. [Leitungen \[Bd. 2\]](#) ist die Eingabe von Reaktanzen $X = \omega L$ in den Einstelldialogen erforderlich, um das numerische, ATP basierte Modell zu erzeugen.

- ⇒ Um die für die ATP basierten Modelle benötigten Induktivitäten L zu berechnen, wird immer der Einstellwert **Netznennfrequenz f_n** von **Netzeinspeisung 1** verwendet.

$$L = \frac{X}{2\pi \cdot f_n}$$

Aus der **Netznennfrequenz f_n** von **Netzeinspeisung 1** wird darüber hinaus die Zeitdauer einer Netzperiode (**Cycle**) in Millisekunden abgeleitet, die für die **Berechnung dynamischer Netzvorgänge** zwingend benötigt wird.

$$\text{Netzperiode} = \frac{1}{f_n}$$

Alternativ dazu kann die **Netznennfrequenz f_n** in der Registerkarte **Einstellungen Elektrisches Netz** des Einstelldialogs **Netzwerk** eingestellt werden. Die Einstellung muss insbesondere dann vorgenommen werden, wenn das Netzwerkelement **Netzeinspeisung 1** im Stromversorgungsnetz nicht verwendet wird.

5.5.1.2 Absoluter Phasenwinkel $\phi(U)$ – Referenzphasenwinkel im Mitsystem

Der absolute Phasenwinkel der Leiter-Erd-Spannung \underline{U}_{L1} der internen 3-phasigen Drehspannungsquelle der **Netzeinspeisung 1** dient als absoluter Referenzphasenwinkel des Mitsystems ϕ_{U1} des Stromversorgungsnetzes. Der Einstellwert **phi (U)** kann im Einstelldialog für **Netzeinspeisung 1** nicht verändert werden. Für alle anderen Netzeinspeisungen ist der Einstellwert veränderbar. Damit gibt die **Netzeinspeisung 1** für die Spannungsquellen aller Netzeinspeisungen den Referenzwinkel der Mitsystemspannung vor.

$$\phi_{U_1} = \text{phi}(U)$$

Die Mitsystemwinkel der Spannungsquellen aller anderen Netzeinspeisungen 2...N können mit dem Einstellwert **phi (U)** gegenüber dem der **Netzeinspeisung 1** gedreht werden. Durch eine geeignete Drehung der Mitsystemspannungswinkel der Netzeinspeisungen gegeneinander können Lastflüsse, d.h. Wirk- und Blindleistungsflüsse ohne Verwendung einer **Verbraucherlast** manuell per Einstellwert vorgegeben werden. Diese Vorgehensweise wird allerdings nicht im Rahmen der **Lastflussberechnung** iterativ verändert.

5.5.1.3 Kurzschlussleistungen S_k , $S_{k \max}$, $S_{k \min}$

Um Stromnetze in Kurzschlussbetrieb hinsichtlich der mechanischen und thermischen Belastung der Betriebsmittel oder der Selektivität eines Netzschutzkonzeptes zu untersuchen, wird in aller Regel das vorgelagerte Stromnetz mit seiner minimalen und maximalen Kurzschlussleistung nachgebildet.

- Die maximale Kurzschlussleistung **$S_{k \max}$** des vorgelagerten Stromnetzes wird für die mechanische und thermische Belastung der Betriebsmittel in Normal- und Kurz-

schlussbetrieb verwendet. Die maximale Kurzschlussleistung führt zu einer minimalen Kurzschlussimpedanz der Netzeinspeisung und in Folge zu einer maximalen Stromeinspeisung des vorgelagerten Stromnetzes.

- Die minimale Kurzschlussleistung $S_{k \min}$ des vorgelagerten Stromnetzes wird für die Auslegung und Prüfung der Netzschutzgeräte und der Selektivität des Netzschutzkonzeptes verwendet. Die minimale Kurzschlussleistung führt zu einer maximalen Kurzschlussimpedanz der Netzeinspeisung und damit zu einer minimalen Stromeinspeisung des vorgelagerten Stromnetzes im Kurzschlussbetrieb. Dadurch können u.a. die Anregesysteme der Netzschutzgeräte geprüft werden.

Die minimale Kurzschlussleistung $S_{k \min}$ und maximale Kurzschlussleistung $S_{k \max}$ können zusätzlich zur Kurzschlussleistung S_k als Einstellwerte im Einstelldialog der **Netzeinspeisung** eingestellt werden. Die Auswahl einer der drei Kurzschlussleistungen für die Berechnung eines stationären Netzzustandes, einer Lastflussberechnung, eines Kurzschlusszenarios oder der Berechnung eines dynamischen Ausgleichsvorganges erfolgt in der Registerkarte **Netzschutz Analyse**, die nachfolgend abgebildet ist.

- Hauptmenü **Netzschutz**
- Menüpunkt **Einstellungen Netzschutz**, Registerkarte **Netzschutz Analyse**

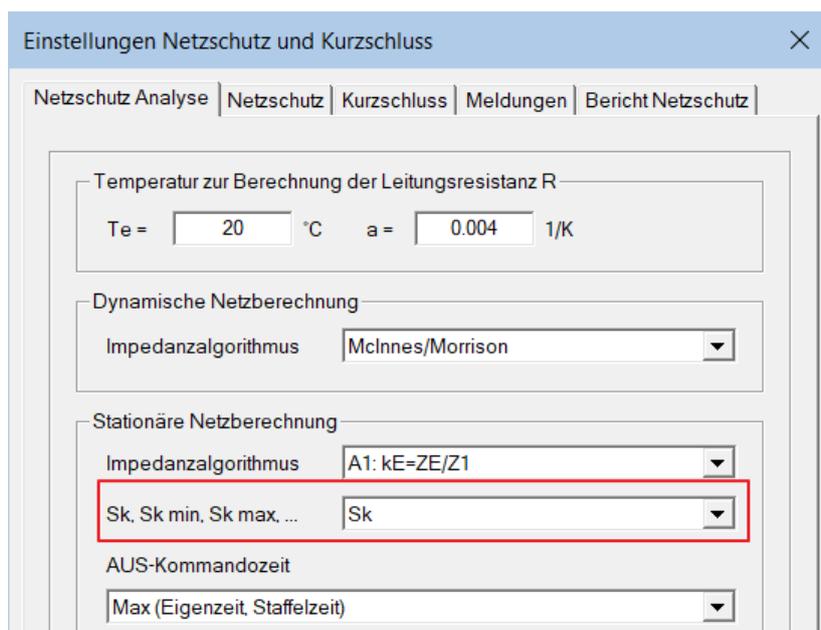


Abbildung 74: Auswahl der Kurzschlussleistung S_k , $S_{k \max}$, $S_{k \min}$

- ⇒ Die nachfolgenden Erläuterungen beziehen sich bezüglich der Kurzschlussleistung S_k immer auf den Einstellwerte der Kurzschlussleistung S_k , $S_{k \min}$, $S_{k \max}$, ..., der im Einstelldialog **Netzschutz Analyse** ausgewählt wurde.

5.5.1.4 3-poliger Kurzschlussstrom I_{k3}

Die Kurzschlussleistung S_k wird aus dem 3-poligen Kurzschlussstrom I_{k3} und der Nennspannung der **Netzeinspeisung** U_n wie folgt berechnet.

$$S_k = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{k3}$$

Umgekehrt kann aus der Kurzschlussleistung S_k und der Nennspannung U_n der 3-polige Kurzschlussstrom I_{k3} berechnet werden.

$$I_{k3} = \frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

Die Gleichungen können analog für die maximale Kurzschlussleistung $S_{k \max}$ und die minimale Kurzschlussleistung $S_{k \min}$ verwendet werden.

$$S_{k \max} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{k3 \max} \quad I_{k3 \max} = \frac{S_{k \max}}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

$$S_{k \min} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{k3 \min} \quad I_{k3 \min} = \frac{S_{k \min}}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

⇒ Es muss beachtet werden, dass die hier verwendeten Indexe **min** und **max** und die daraus resultierenden Kurzschlussströme $I_{k3 \min}$ und $I_{k3 \max}$ nicht mit dem größten Anfangs-Kurzschlusswechselstrom $I_{k \max}$ und dem kleinsten Anfangs-Kurzschlusswechselstrom $I_{k \min}$ nach VDE 0102 (IEC 60909) [2] identisch sind.

5.5.1.5 Berechnung der Kurzschlussimpedanz

Die Betriebsart der Kurzschlussleistung S_k , $S_{k \min}$, $S_{k \max}$, ... legt fest, wie die interne, 3-phasige Kurzschlussimpedanz der Netzeinspeisung berechnet wird. Es wird für das Netzwerkelement **Netzeinspeisung** vorausgesetzt, dass Mitimpedanz und Gegenimpedanz gleich sind.

$$\underline{Z}_2 = \underline{Z}_1$$

Die Nullimpedanz \underline{Z}_0 kann davon unabhängig eingestellt werden.

▪ Sk aktiv

Die Kurzschlussimpedanz der Netzeinspeisung im Mitsystem wird aus der Kurzschlussleistung S_k , der Nennspannung U_n und dem Kurzschlussimpedanzwinkel **phi (Zk)** in Anlehnung an VDE 0102 (IEC 60909) [2] berechnet.

$$Z_1 = \frac{U_n^2}{S_k} \quad Z_1 = \frac{U_n^2}{S_{k \min}} \quad Z_1 = \frac{U_n^2}{S_{k \max}}$$

Wenn die Option **Phi (Zk) nach VDE 0102 (IEC 60909)** im Einstelldialog der **Netzeinspeisung** aktiv ist, werden Mitresistanz R_1 und Mitreaktanz X_1 in Anlehnung an VDE 0102 (IEC 60909) [2] aus dem dann automatisch eingestellten Impedanzwinkel $\varphi_1 = \mathbf{phi (Zk)}$ der Kurzschlussimpedanz \underline{Z}_1 berechnet.

$$\varphi_1 = \operatorname{atan} \left(\frac{X_1}{R_1} \right)$$

In Anlehnung an VDE 0102 (IEC 60909) [2] kann für Freileitungsnetze der Höchst- und Hochspannung folgendes näherungsweise angenommen werden.

$$X_1 = 0,995 \cdot Z_1 \quad R_1 = 0,1 \cdot X_1$$

Daraus ergibt sich der Kurzschlussimpedanzwinkel zu:

$$\varphi_1 = \text{atan} \left(\frac{X_1}{R_1} \right) = \text{atan}(10) = 84,2894^\circ$$

Es wird allerdings empfohlen, die Option **Phi (Z_k) nach VDE 0102 (IEC 60909)** zu deaktivieren und den Impedanzwinkel $\varphi_1 = \mathbf{phi}(Z_k)$ der Kurzschlussimpedanz \underline{Z}_1 manuell einzustellen. Die Mitresistanz R_1 wird aus dem Einstellwert der Mitreaktanz X_1 und dem Kurzschlusswinkel **phi (Z_k)** berechnet.

$$R_1 = \frac{X_1}{\tan(\mathbf{phi}(Z_k))}$$

- **Z_k aktiv**

Die Mitimpedanz $\underline{Z}_1 = R_1 + jX_1$ wird aus den Einstellwerten R_1 und X_1 berechnet.

Unabhängig von der Methode für die Berechnung der Kurzschlussimpedanz wird nach der erneuten Berechnung der Kurzschlussimpedanz der Kurzschlusswinkel **phi (Z_k)** neu berechnet und im Einstelldialog ausgegeben.

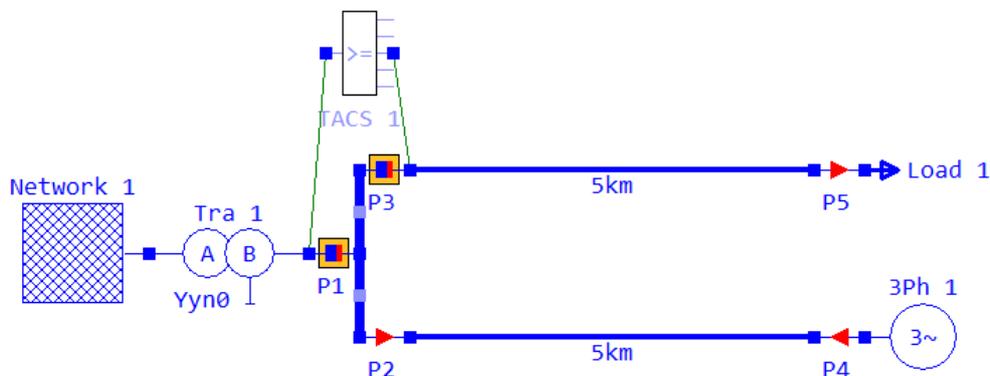


Abbildung 75: Netzeinspeisung als Modell des vorgelagerten Netzes

5.5.1.6 Kurzschlussstrom nach VDE 0102 (IEC 60909) - Spannungsfaktors c_Q

Die im Einstelldialog angezeigten Impedanzen werden ohne Berücksichtigung des Spannungsfaktors c_Q berechnet. Der Spannungsfaktor c_Q wird nur für die **Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102** verwendet und in dem Tooltip der Netzwerkeinspeisung nach Durchführung der Kurzschlussstromberechnung angezeigt.

5.5.2 Registerkarte *Lastfluss: Lasten* – Netzeinspeisung in der Lastflussberechnung

Bei der Durchführung einer Lastflussberechnung mit der Option [Lastfluss: PQ, PU Knoten](#) kann die Netzeinspeisung wie bei Lastflussberechnungen üblich auf unterschiedliche Art und Weise in der Lastflussberechnung berücksichtigt werden, wenn die Option **Lastfluss EIN** aktiviert ist.

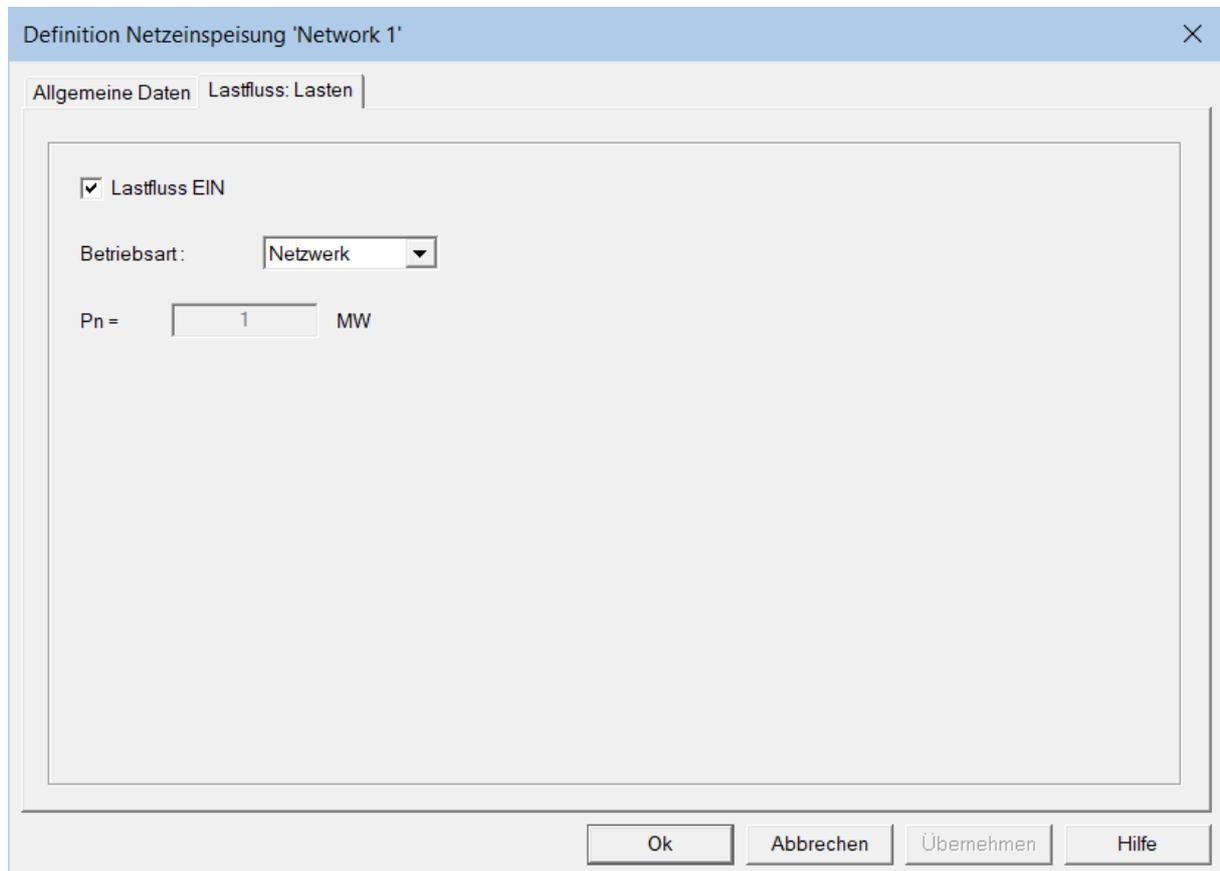


Abbildung 76: Einstelldialog Netzeinspeisung – Registerkarte *Lastfluss: Lasten*

5.5.2.1 Lastfluss EIN

Wenn die Option aktiviert ist, wird bei Ausführung einer Lastflussberechnung (siehe [Lastfluss: PQ, PU Knoten](#)) die Netzeinspeisung abhängig von der **Betriebsart** in der Lastflussberechnung berücksichtigt.

5.5.2.2 Registerkarte *Lastfluss PQ, PU Knoten*: Betriebsart der Netzeinspeisung

Abhängig von dem Einstellwert wird das ATP-basierte Modell der Netzeinspeisung gewählt.

5.5.2.2.1 Betriebsart: **Netzwerk**

Die Netzeinspeisung wird mit einer 3-phasigen symmetrischen Spannungsquelle und einer Kurzschlussimpedanz in Mit-, Gegen- und Nullsystem nachgebildet. Die Kurzschlussimpedanz im Mitsystem Z_1 wird aus der Kurzschlussleistung S_k und der Nennspannung U_n berechnet.

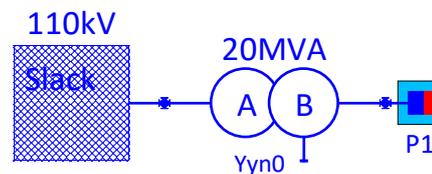
- ⇒ Spannung und Leistungen am Netzanschlussknoten werden durch das Iterationsverfahren nicht verändert, sondern werden aus den Einstellwerte der Netzeinspeisung zu Beginn der Lastflussberechnung berechnet.

5.5.2.2.2 Betriebsart: Slack

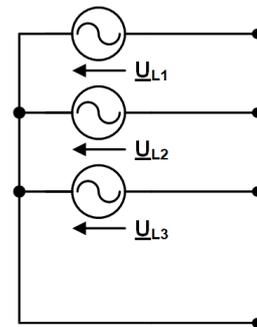
Die Netzeinspeisung wird als ideale 3-phasige symmetrische Spannungsquelle mit Kurzschlussimpedanzen im Mit-, Gegen- und Nullsystem $\underline{Z}_{120} = 0\Omega$, d.h. mit Kurzschlussleistung $S_k = \infty$ und Nennspannung $U_n = \text{konst.}$ am Netzanschlusspunkt nachgebildet. Diese Einstellung entspricht dem **Slack-Knoten** einer Lastflussberechnung.

$$\underline{Z}_2 = \underline{Z}_1 = \underline{Z}_1 = 0\Omega$$

Ist die Netzeinspeisung als **Slack-Knoten** eingestellt, so wird der Bezeichner **Slack** im Symbol der Netzeinspeisung ausgegeben.



Das resultierende Ersatzschaltbild der Netzeinspeisung als **Slack** ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Die Netzeinspeisung wird in dieser Betriebsart als 3-phasige symmetrische Spannungsquelle nachgebildet. Es muss beachtet werden, dass ein Kurzschluss direkt am Netzknoten der Netzeinspeisung theoretisch einen unendliche großen Kurzschlussstrom zur Folge hat. Bezogen auf das Netzberechnungsprogramm sind hier mathematische Instabilitäten im Berechnungsverfahren zu erwarten.



5.5.2.2.3 Betriebsart: PU

Die Netzeinspeisung wird wie bei Lastflussberechnungen üblich als **PU-Knoten** mit folgenden Merkmalen am Netzanschlusspunkt (NAP) (Netzknoten der Netzeinspeisung) nachgebildet. Weitere Erläuterungen sind im Kapitel **Lastflussberechnung - Modell der Netzeinspeisung in der Betriebsart PU** enthalten.

- **Wirkleistungseinspeisung**
Die **Wirkleistung** P_n kann im Einstelldialog eingestellt werden.
- **Nennspannung**
Der Betrag der Versorgungsspannung am Netzanschlusspunkt (NAP) wird durch die im Einstelldialog nach Abbildung 73 definierbare **Nennspannung** U_n definiert.
- **P_n**
Wirkleistung, die in der Betriebsart **PU** am Netzanschlusspunkt eingespeist wird.

Als Startwerte des Iterationsverfahrens werden verwendet:

- Betrag der internen Mitsystemspannung $E = \text{Einstellwert } U_n$
- Phasenwinkel der internen Mitsystemspannung $\vartheta = \text{Einstellwert } \text{phi } (U)$

Der Einstellwert **phi (V)** kann bei der Netzeinspeisung **Netzwerkeinspeisung 1** nicht verändert werden. Unabhängig davon kann auch **Netzwerkeinspeisung 1** als PU-Knoten verwendet werden.

- ⇒ Durch eine geeignete Wahl des Phasenwinkels **phi (U)** vor dem Start der Lastflussberechnung kann die Konvergenz des Iterationsverfahrens erheblich beschleunigt werden.

5.5.3 Lastflussberechnung - Modell der Netzeinspeisung in der Betriebsart PU

In der Betriebsart **PU** wird im Mitsystem für die Netzeinspeisung das dem Synchronmaschine entsprechende Ersatzschaltbild verwendet. Da die Netzeinspeisung als 3-phasige symmetrische Spannungsquelle mit in aller Regel symmetrischer Kurzschlussimpedanz nachgebildet werden, können Gegensystem und Nullsystem der Netzeinspeisung in den folgenden Betrachtungen vernachlässigt werden.

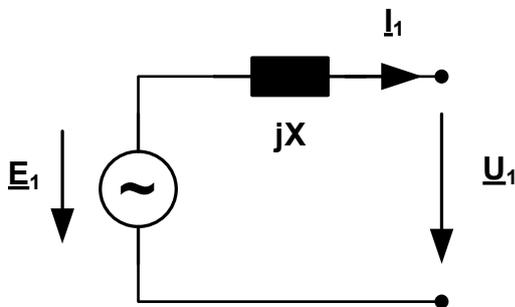


Abbildung 77: Ersatzschaltbild der Netzeinspeisung im Mitsystem

Für die ins Stromnetz eingespeiste 3-phasige symmetrische Scheinleistung \underline{S}_1 im Mitsystem ergibt sich:

$$\underline{S}_1 = 3 \cdot \underline{U}_1 \cdot \underline{I}_1^*$$

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{E}_1 - \underline{U}_1}{jX_1}$$

In den nachfolgenden Betrachtungen wird die Knotenspannung im Mitsystem \underline{U}_1 als Referenzspannung mit einem Phasenwinkel $\varphi=0^\circ$ gewählt. Mit $\underline{U}_1 = U \cdot e^{j0^\circ} = U \cdot e^{j0^\circ}$ und $\underline{E}_1 = E \cdot e^{j\vartheta}$ gilt:

$$\underline{S}_1 = 3 \cdot U \cdot \left(\frac{\underline{E}_1 - U}{jX_1} \right)^*$$

$$\underline{S}_1 = 3 \cdot U \cdot \left(\frac{E \cdot (\cos \vartheta + j \sin \vartheta) - U}{jX_1} \right)^*$$

$$\underline{S}_1 = 3 \cdot U \cdot \frac{E \cdot (\cos \vartheta - j \sin \vartheta) - U}{-jX_1}$$

Nach der Multiplikation von Zähler und Nenner mit dem Operator j ergibt sich:

$$\underline{S}_1 = \frac{3 \cdot U}{X_1} \cdot (E \cdot (\sin \vartheta - j \cos \vartheta) - jU)$$

Daraus ergibt sich für die eingespeiste Wirkleistung $P = \text{Re}(\underline{S}_1)$:

$$P = \frac{3 \cdot U \cdot E \cdot \sin \vartheta}{X_1}$$

Der Phasenwinkel ϑ entspricht dem Polradwinkel der Synchronmaschine im Mitsystem. Aus der obigen Gleichung kann die Vorschrift zur Berechnung des absoluten Phasenwinkels ϑ für die interne Mitsystemspannung \underline{E} abgeleitet werden.

$$\vartheta = \arcsin\left(\frac{P_n \cdot X_1}{3 \cdot U \cdot E}\right)$$

Durch diese Betrachtungen kann ein iteratives Verfahren für die Lastflussberechnung mit Stromiteration abgeleitet werden. Der Index k definiert den k -ten Iterationsschritt beginnend mit $k = 1$. Die Startwerte für $k = 1$ werden wie folgt berechnet.

$$U_{k=1} = \frac{U_n}{\sqrt{3}}$$

$$E_{k=1} = U_{k=1}$$

$$\vartheta_{k=1} = \arcsin\left(\frac{P_n \cdot X_1}{3 \cdot U_{k=1} \cdot E_{k=1}}\right)$$

Nach Ausführung des k -ten Iterationsschrittes mit $k > 1$ wird Betrag und Spannung der internen Mitsystemspannung \underline{E} neu berechnet. Ziel des Verfahrens ist es, am Netzknoten der Netzeinspeisung im Rahmen der Iterationsgenauigkeit die eingestellte Nennspannung U_n bei Einspeisung der eingestellten Wirkleistung P_n zu erreichen. Daher wird nach Ausführung des $k-1$ -ten Iterationsschrittes der Betrag der internen Mitsystemspannung \underline{E} so angepasst, dass sich am Netzknoten die im Einstelldialog in Abbildung 73 definierte Nennspannung U_n näherungsweise einstellt.

$$E_k = E_{k-1} + (|U_{k=1}| - |U_{k-1}|)$$

$$\vartheta_k = \arcsin\left(\frac{P_n \cdot X_1}{3 \cdot U_{k-1} \cdot E_k}\right)$$

mit

Wert	Bedeutung
X_1	Reaktanz der Netzeinspeisung im Mitsystem
P_n	Wirkleistung am Netzanschlusspunkt
U_{k-1}	Betrag der Mitsystemspannung des letzten Iterationsschrittes
E_k	Betrag der internen Mitsystemspannung für den k-ten Iterationsschritt nach Korrektur
ϑ_k	Neuer Phasenwinkel für den k-ten Iterationsschritt

Das hier beschriebene Iterationsverfahren benötigt eine interne Kurzschlussimpedanz, um die Wirkleistungseinspeisung P_n mit Hilfe des iterativ angepassten Polradwinkels ϑ näherungsweise iterativ einzustellen. Die Wahl der Kurzschlussimpedanz hat einen großen Einfluss auf das Konvergenzverhalten des Verfahrens. Es wird empfohlen, die Kurzschlussimpedanz in einer Größenordnung bzgl. Impedanzbetrag und Impedanzwinkel zu wählen, der typisch für Stromnetze der Nennspannungsebene ist.

5.5.4 Netzeinspeisung mit Oberschwingungen

Mit der Option **Oberschw.** (= Oberschwingungen) können zu der internen netzfrequenten Spannungsquelle von Netzeinspeisung **Network 1** weitere Spannungsquellen mit Frequenz, Betrag und absolutem Phasenwinkel parallelgeschaltet werden.

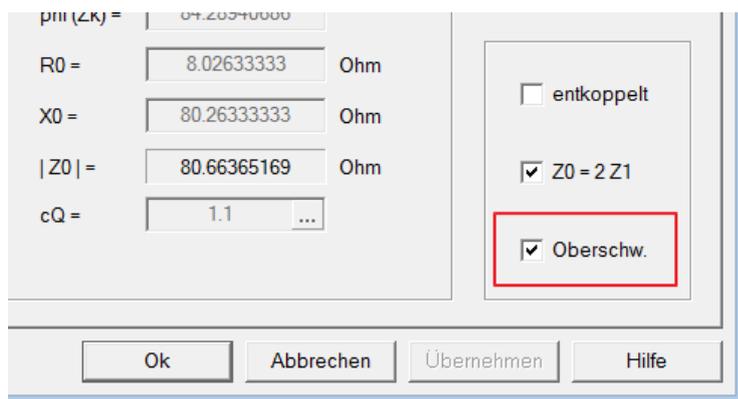


Abbildung 78: Aktivierung des Einstelldialogs für nicht netzfrequente Spannungsanteile

Der Einstelldialog **Oberschwingungen** kann geöffnet werden wie folgt.

- Hauptmenü **Netzwerk**, Menüpunkt **Oberschwingungen Netz 1**
- Toolbar Taste  in der unteren Toolbar 

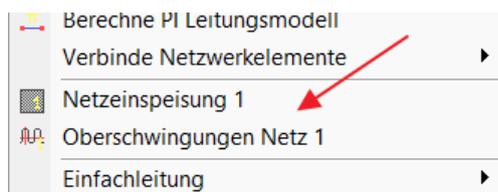


Abbildung 79: Öffnen des Einstelldialogs **Oberschwingungen Netz 1**

5.5.4.1 Oberschwingungen und Oberwellen – Erläuterung und Abgrenzung

Es wird hier darauf hingewiesen, dass Oberschwingungen zeitlich veränderliche Größen sind. Dagegen sind Oberwellen örtlich veränderliche Größen. In Stromnetzen treten Oberschwingungen und Oberwellen grundsätzlich immer gleichzeitig auf. Die örtliche Ausbreitung von elektrischen Größen wie Spannungen und Ströme also Oberwellen sind in Stromnetzen aber nur bei sehr langen Leitungen zu berücksichtigen.

In Stromnetzen mit einer Netzfrequenz von 50Hz beträgt die Wellenlänge λ , die sich aus der Phasengeschwindigkeit mit

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

berechnen lässt, in Stromnetzen mit Freileitungen 6000km. Geht man von einem Cosinus-förmigen Verlauf der Spannungs- und Stromverläufe aus, so sollte die örtliche Abhängigkeit der elektrischen Größen ab einer Leitungslänge >500km berücksichtigt werden. Dazu sind in ATPDesigner spezielle Leitungsmodelle wie das Leitungsmodell der homogenen Leitung Homogene Leitung (RLC) verfügbar. Die Berücksichtigung von Oberwellen ist aber nur bei der **Berechnung dynamischer Netzvorgängen** möglich, nicht bei der **Berechnung stationärer Netzzustände** oder der **Lastflussberechnung**.

Oberschwingungen können nicht direkt, sondern nur indirekt über die Verwendung des Superpositionsprinzips bei der **Berechnung dynamischer Netzvorgängen** als auch der **Berechnung stationärer Netzzustände** und der **Lastflussberechnung** berücksichtigt werden. Der Anwender muss explizit für jede interessierende Oberschwingungsfrequenz eine eigene **Berechnung stationärer Netzzustände** oder **Lastflussberechnung** durchführen und die Berechnungsergebnisse den Ergebnissen der Netzberechnung für die netzfrequente Grundschwingung überlagern.

5.5.4.2 Oberschwingungen für die Berechnung dynamischer Netzvorgänge

Der Einstelldialog zur Berücksichtigung von Oberschwingungen bei der **Berechnung dynamischer Netzvorgänge** ist nachfolgend dargestellt. Zusätzlich zur netzfrequenten Grundschwingung f_n werden drei weitere Frequenzanteile in der Netzeinspeisung mit drei Spannungsquellen nachgebildet.

Einstellwert	Bedeutung
Anz. Frequenzen	Anzahl Frequenzen (= Zeilen) in der Liste
Freq. [Hz]	Frequenz der Oberschwingung
Spannung [% Un]	Betrag (Effektivwert) der Oberschwingung
Phasenwinkel [°]	Absoluter Phasenwinkel der Oberschwingung
Zeit EIN [s]	Zeitpunkt ab dem die Oberschwingung elektrisch aktiv ist
Zeit AUS [s]	Zeitpunkt ab dem die Oberschwingung elektrisch inaktiv ist
Liste löschen	Die Liste wird vollständig gelöscht.
Sortieren	Die Liste wird nach der Frequenz aufsteigend sortiert.
Zeile löschen	Es werden die Zeilen mit einer ungültigen Frequenz (< 0Hz) gelöscht.
Anhängen	Es wird eine Zeile an die Liste angehängt.

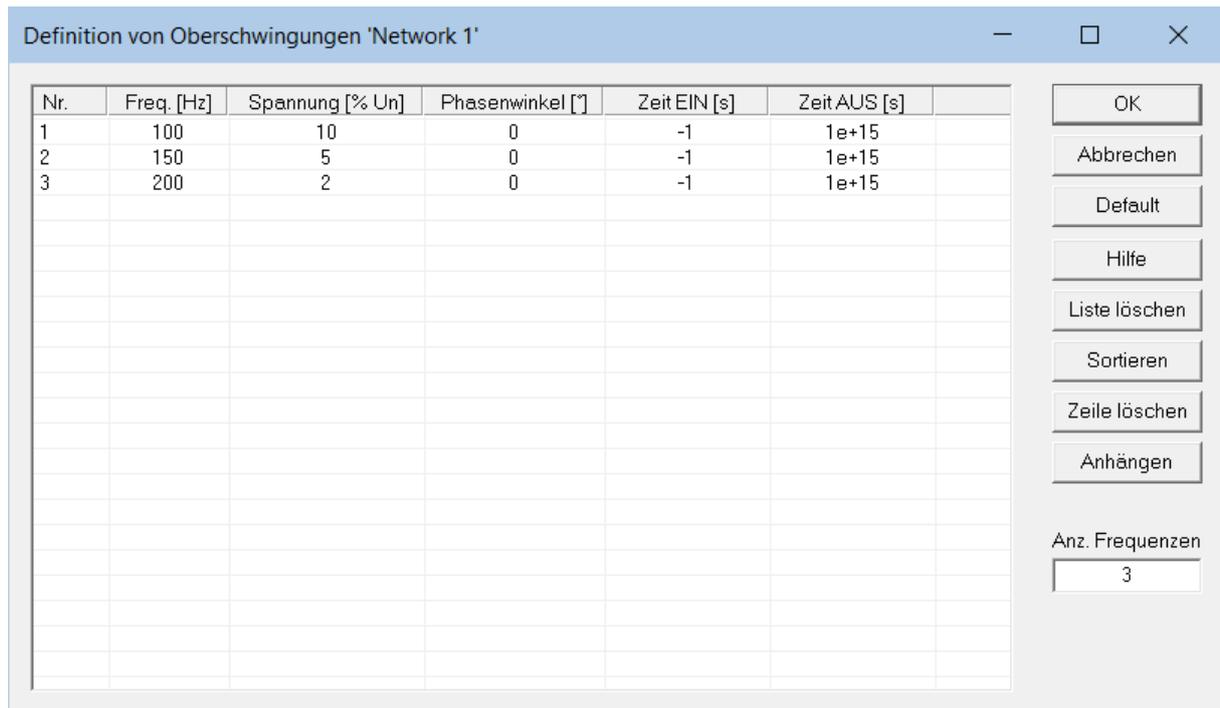


Abbildung 80: Einstelldialog für nicht netzfrequente Signalanteile *Harmonics*

Das Ersatzschaltbild der Netzeinspeisung **Network 1** im Mitsystem ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. In der nachfolgenden Abbildung ist beispielhaft der zeitliche Verlauf der drei Leiter-Erd-Spannungen dargestellt, die am Netzknoten der Netzeinspeisung **Network 1** durch eine **Mess/Schutzgerät** gemessen wurden. Die netzfrequente Grundschwingung der drei Leiter-Erd-Spannungen wird wie zu erkennen ist durch Oberschwingungen überlagert.

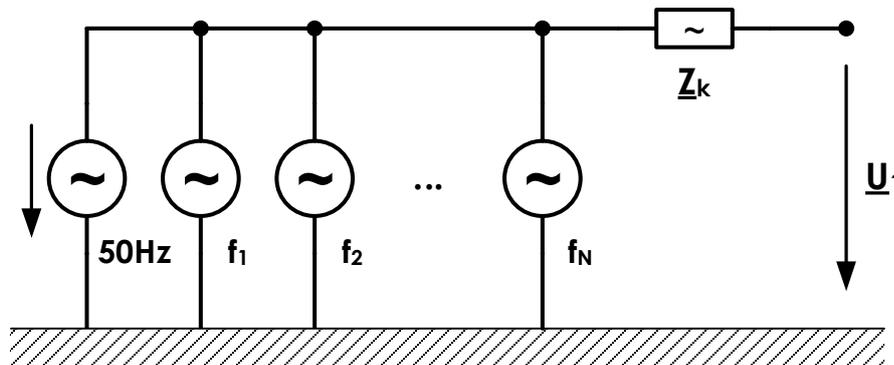


Abbildung 81: Ersatzschaltbild der Netzeinspeisung mit N Oberschwingungen im Mitsystem

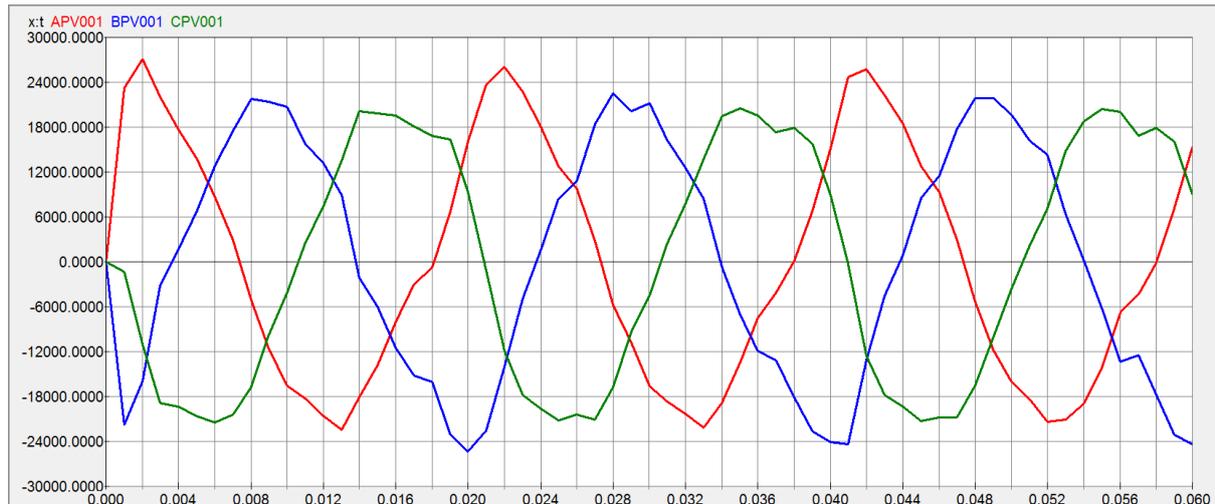


Abbildung 82: Leiter-Erd-Spannungen mit $N = 3$ Oberschwingungen 100Hz, 150Hz, 200Hz

5.5.4.3 Oberschwingungen für die Berechnung stationärer Netzzustände

Die Oberschwingungsquellen können für die **Berechnung stationärer Netzzustände nicht** verwendet werden.

Stationäre Netzzustände von Stromnetzen können entsprechend den theoretischen Grundlagen der komplexen Wechselstromrechnung entweder mit dem Knotenpotentialverfahren oder dem Maschenverfahren mit komplexen Admittanz- oder Impedanzmatrizen beschrieben und Spannungen und Ströme als komplexe einfrequente Zeiger berechnet werden. Der Rechenkern ATP verwendet wie in Netzberechnungsprogrammen üblich das Knotenpotentialverfahren.

Beiden Berechnungsverfahren ist gemeinsam, dass das Stromnetz nur für eine einzige Frequenz typischerweise für Netznennfrequenz f_n berechnet werden kann. Eine gleichzeitige Verwendung von Spannungs- oder Stromquellen verschiedener Frequenzen ist in beiden Berechnungsverfahren ausgeschlossen.

Grundsätzlich ist es allerdings möglich, stationäre Netzzustände für beliebige Frequenzen zu berechnen und die Ergebnisse linear nach dem Superpositionsprinzip zu überlagern. Um anderer Frequenzen zu verwenden, muss der Einstellwert **fn** im Einstelldialog **Netzeinspeisung** in der Registerkarte Allgemeine Daten oder der Einstellwert **Netznennfrequenz fn** im Einstelldialog **Einstellungen Elektrisches Netz** in der Registerkarte **Netzwerk** geeignet eingestellt werden.

5.5.5 Überprüfung des 3-poligen Kurzschlussstromes an der Netzeinspeisung

Eine einfache Methode, die Einstellwerte der Netzeinspeisung zu überprüfen, kann mit Hilfe der Berechnung des 3-poligen Kurzschlussstromes I_{k3} am Anschlussknoten der Netzeinspeisung durchgeführt werden.

Einstellwert	Bedeutung
fn	Nennfrequenz f_n
Un	Nennspannung U_n
Sk	Kurzschlussleistung S_k

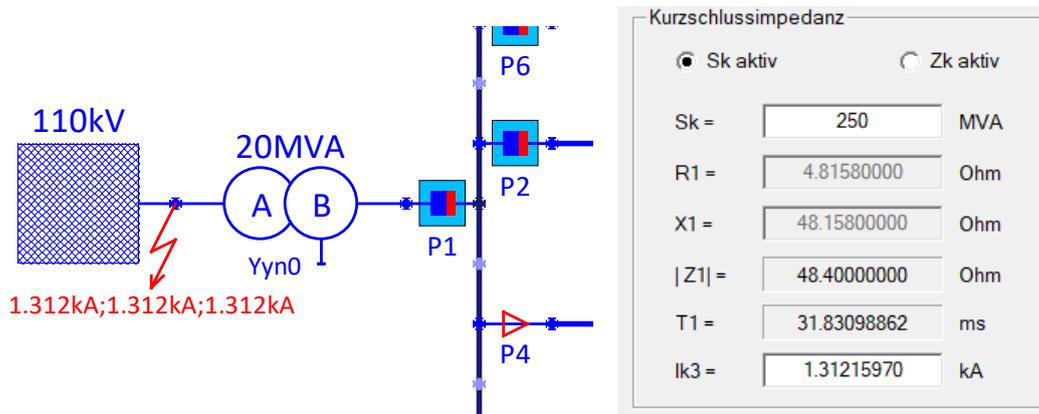
Ik33-poliger Kurzschlussstrom I_{k3} 

Abbildung 83: 3-poliger Kurzschlussstrom am Anschlussknoten der Netzeinspeisung

Wie in obiger Abbildung dargestellt wird der 3-polige Kurzschlussstrom korrekt durch das Netzberechnungsprogramm berechnet. Die Netzeinspeisung wird durch eine ideale symmetrische 3-phasige Drehspannungsquelle und eine 3-phasige induktiv gekoppelte Längsimpedanz nachgebildet. Das Ersatzschaltbild im Mitsystem ist nachfolgend abgebildet.

$$Z_{1Q} = \frac{U_n^2}{S_k}$$

In Anlehnung an VDE 0102 (IEC 60909) gilt:

$$X_{1Q} = 0,995 \cdot Z_{1Q}$$

$$R_{1Q} = 0,1 \cdot X_{1Q}$$

Der 3-polige Kurzschlussstrom kann wie folgt berechnet werden:

$$I_{k3} = \frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{1Q}} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{1Q}^2 + X_{1Q}^2}}$$

Die Begrenzung des Kurzschlussstromes erfolgt durch die Kurzschlussimpedanz der Netzeinspeisung. Der 3-polige Kurzschlussstrom kann direkt als Einstellwert eingegeben werden oder wird aus der Nennspannung U_n und der Kurzschlussleistung S_k berechnet.

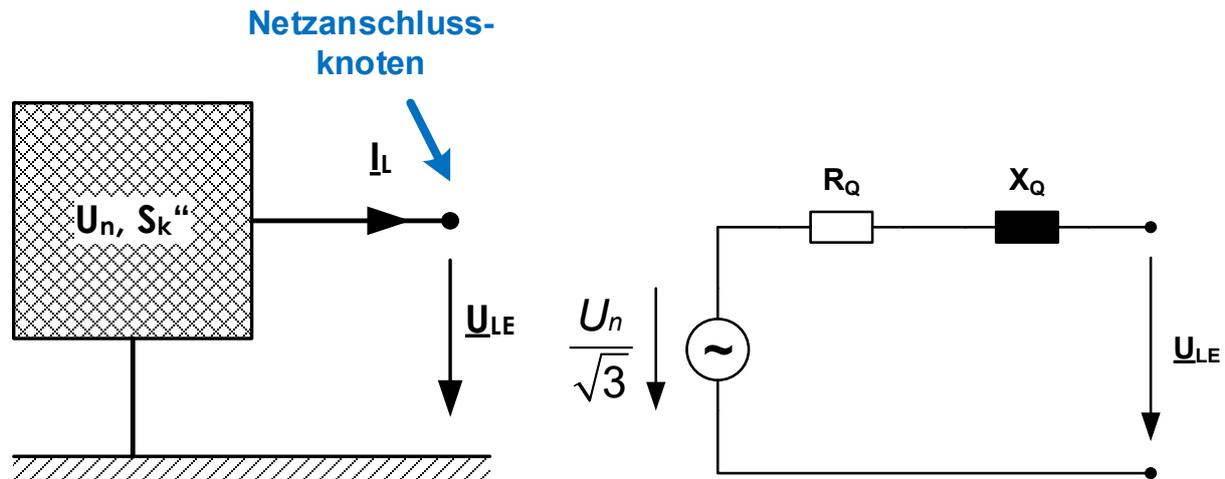


Abbildung 84: Ersatzschaltbild der Netzeinspeisung im Mitsystem

5.5.6 Lastflussberechnung: Netzeinspeisung als Slack

Ist die Lastflussberechnung [Lastfluss: PQ, PU Knoten](#) z.B. mit dem Toolbar-Button  eingeschaltet, so kann die Netzeinspeisung auch als **Slack** eingestellt werden. In diesem Fall wird die Netzeinspeisung nur durch eine ideale symmetrische 3-phasige Drehspannungsquelle ohne Kurzschlussimpedanz nachgebildet.

Dieses Ersatzschaltbild entspricht einer Netzeinspeisung mit einem unendlich großen **3-poligen Kurzschlussstrom** $I_{k3} = \infty$. Das Ergebnis der Netzberechnung ist nachfolgend dargestellt. Das Netzberechnungsprogramm berechnet einen sehr großen Kurzschlussstrom, der kleiner als unendlich ist. Ursache der Begrenzung des Kurzschlussstromes ist das Modell des Kurzschlusses, der intern durch eine Resistanz $R = 10^{-12}$ Ohm nachgebildet wird. Durch diese Modellierung werden mathematische Instabilitäten vermieden.

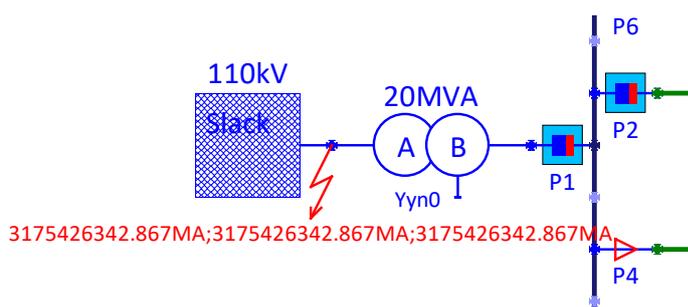


Abbildung 85: Kurzschlussstrom am Anschlussknoten der Netzeinspeisung als Slack

Wird die Lastflussberechnung durch die Option **Lastfluss EIN** in der Registerkarte [Lastfluss: Lasten](#) für die Netzeinspeisung deaktiviert, wird diese mit der Kurzschlussimpedanz nach Abbildung 84 nachgebildet und der Kurzschlussstrom korrekt berechnet.

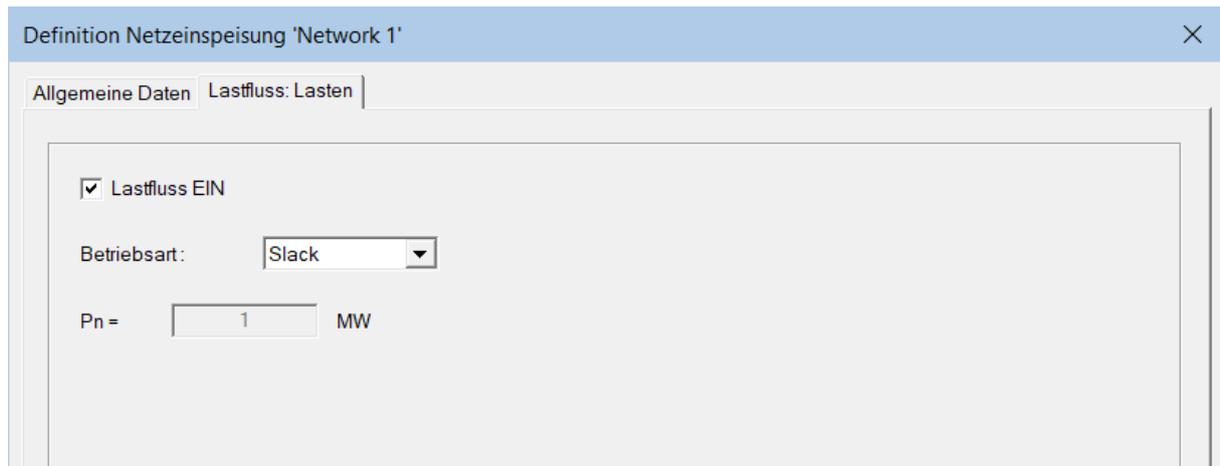


Abbildung 86: Lastflussberechnung – Netzeinspeisung als Slack

In obiger Abbildung wird dargestellt, wie die Netzeinspeisung für die Lastflussberechnung als **Slack** eingestellt wird.

5.6 Dezentrale Erzeugungsanlage (DEA)

Das Netzwerkelement **Erzeugungsanlage (DEA)** kann dazu verwendet werden, 1-, 2- oder 3-phasige ideale Spannungs-, Strom- sowie Leistungsquellen und -senken nachzubilden. Mit Hilfe der Leistungsquellen und -senken können Einspeise- und Bezugsanlagen, die durch Wirk- oder Scheinleistung und Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ definiert werden, nachgebildet werden. Daher eignet sich das Netzwerkelement insbesondere für die Nachbildung von durch Netzstromrichter mit dem Stromnetz verbundene elektrische Systeme wie z.B. Photovoltaikanlagen, Batteriespeichersysteme oder Ladeeinrichtungen für E-Mobile. Der P-Q-Leistungsbetrieb in allen vier Quadranten der Q-P-Ebene ist möglich.

- ⇒ Das Netzwerkelement kann nur für die **Berechnung stationärer Netzzustände** oder eine **Lasflussberechnung** verwendet werden. Der **Kurzschlussbetrieb** wird in Anlehnung an Normen und Richtlinien berücksichtigt. Für die Berechnung dynamischer Ausgleichsvorgänge muss das Netzwerkelement **Dezentraler Einspeiser (EMT)** verwendet werden.

Die Leistungsquellen können als Einspeise- oder Bezugsanlage für konstante Scheinleistung oder konstante Wirkleistung zusammen mit einem Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ basierend auf einer gesteuerten oder geregelten Stromquelle verwendet werden. Der Leistungsbetrieb kann in jedem der vier P/Q-Quadranten eingestellt werden. Daher eignet sich dieses Modell zur Nachbildung von Energieerzeugungsanlagen oder einzelnen Erzeugungseinheiten mit Netzstromrichtern (Vollumrichter) im quasistationären Netzzustand mit und ohne Kurzschluss. Im Kurzschlussbetrieb berücksichtigt das Netzwerkelement Anforderungen des **LVRT-Betriebes** nach **MSR2008** [4] und **VDE-AR-N 4110/4120** [18],[30].

Begriff	Hinweis
Erzeugungsanlage (DEA)	Abweichend von den in Normen und technischen Empfehlungen wie MSR2008 [4] oder VDE-AR-N 4110 [18] bzw. VDE-AR-N 4120 [30] verwendeten Begriffen wird hier der Begriff Erzeugungsanlage (DEA) zur Bezeichnung des ATPDesigner spezifischen Betriebsmittels verwendet.

Insofern kann das Netzwerkelement **Erzeugungsanlage (DEA)** zur Nachbildung einer Erzeugungsanlage (EZA), die aus mehreren Erzeugungseinheiten (EZE) mit Verkabelung etc. besteht, bezogen auf die elektrischen Eigenschaften am Netzanschlusspunkt (NAP) der Erzeugungsanlage (EZA) verwendet werden. In diesem Fall muss für jede einzelne Erzeugungseinheit (EZE) ein Betriebsmittel **Erzeugungsanlage (DEA)** verwendet werden. Es kann optional ein **Parkregler** am Netzanschlusspunkt (NAP) zur Ansteuerung aller Erzeugungseinheiten (EZE) verwendet werden.

Für eine vereinfachte Nachbildung einer Erzeugungsanlage (DEA) genügt in aller Regel die Verwendung eines einzigen ATPDesigner spezifischen Netzwerkelementes **Erzeugungsanlage (DEA)**, das überlagert die Eigenschaften aller Erzeugungseinheiten (EZE) der Erzeugungsanlage (EZA) nachbildet.

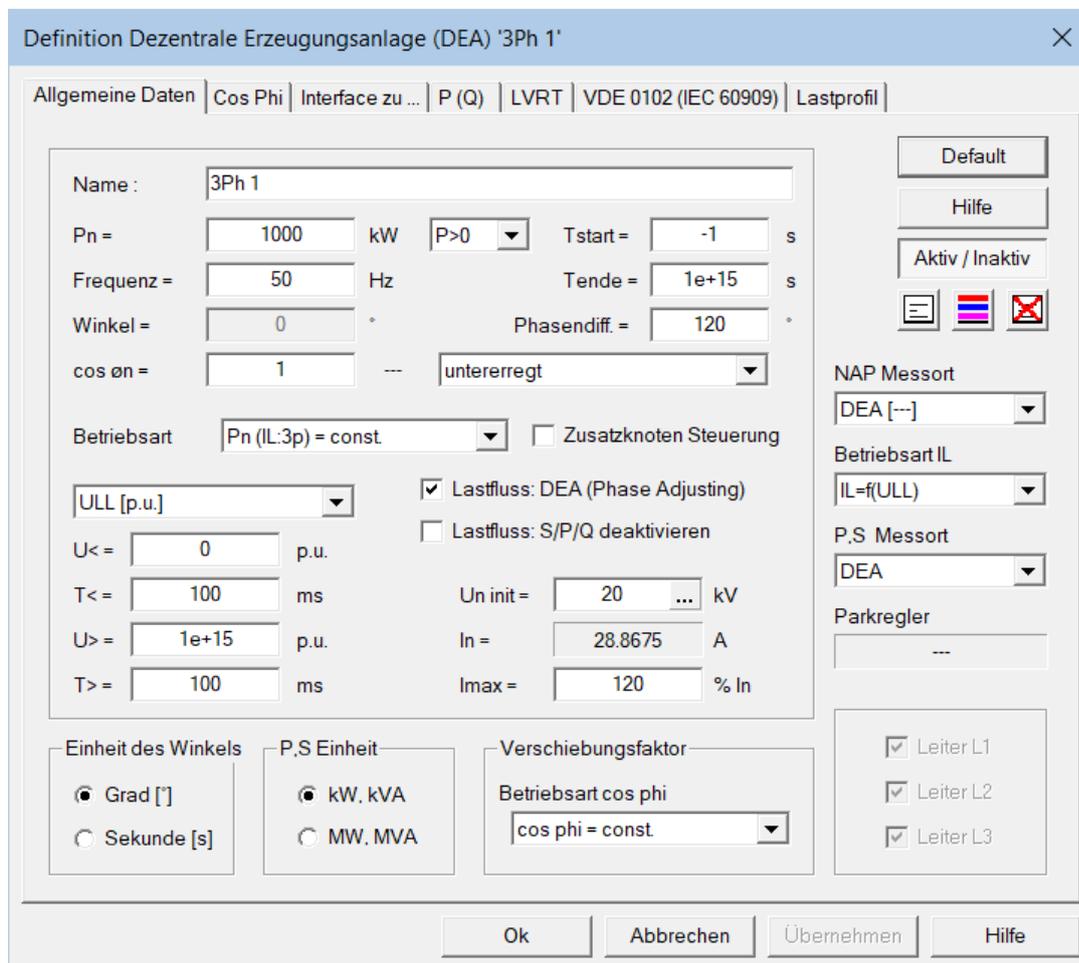
Darüber hinaus kann das Netzwerkelement für die Berechnung von Fahrplänen auf Basis der 15min-Lastprofile nach VDEW [23] oder mit anwenderspezifischen **Lastprofilen** in Anlehnung an VDEW [23] verwendet werden.

Das Netzwerkelement **Erzeugungsanlage (DEA)** beinhaltet einen einstufigen [U<>-Schutz \(Spannungssteigerungs- und Spannungsrückgangsschutz\)](#), der unabhängig von den Schutzfunktionen der [Mess/Schutzgeräte](#) ausgeführt, allerdings im Sinne einer Schutzfunktion in der Schutzanalyse gemeinsam ausgewertet wird.

5.6.1 Registerkarte Allgemeine Daten

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Einstelldialog des Netzwerkelementes **Erzeugungsanlage (DEA)**. Es muss beachtet, dass abhängig von der [Betriebsart](#) Einstellwerte aktiviert oder deaktiviert bzw. auch Anzeigetexte verändert werden. Der Einstelldialog der Registerkarte ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

Die Einstellwerte der Registerkarte werden im Normalbetrieb der Dezentralen Erzeugungsanlage verwendet. Ist der [LVRT-Betrieb](#) der Dezentralen Erzeugungsanlage z.B. durch einen Kurzschluss im Stromnetz aktiv, so wird das Verhalten der Dezentralen Erzeugungsanlage durch die Einstellwerte in der Registerkarte [LVRT](#) definiert.



The screenshot shows the 'Definition Dezentrale Erzeugungsanlage (DEA) '3Ph 1'' dialog box. The 'Allgemeine Daten' tab is selected. The dialog contains the following fields and controls:

- Name:** 3Ph 1
- Pn =** 1000 kW, **P** > 0, **Tstart =** -1 s
- Frequenz =** 50 Hz, **Tende =** 1e+15 s
- Winkel =** 0°, **Phasendiff. =** 120°
- cos phi =** 1, **untererregt** (dropdown)
- Betriebsart:** Pn (IL:3p) = const, Zusatzknoten Steuerung
- ULL [p.u.]** (dropdown), Lastfluss: DEA (Phase Adjusting), Lastfluss: S/P/Q deaktivieren
- U< =** 0 p.u., **T< =** 100 ms, **Un init =** 20 kV
- U> =** 1e+15 p.u., **In =** 28.8675 A
- T> =** 100 ms, **lmax =** 120 % In
- Einheit des Winkels:** Grad [°], Sekunde [s]
- P.S Einheit:** kW, kVA, MW, MVA
- Verschiebungsfaktor:** Betriebsart cos phi, **cos phi = const** (dropdown)
- Buttons:** Default, Hilfe, Aktiv / Inaktiv, NAP Messort (DEA [--]), Betriebsart IL (IL=f(ULL)), P.S Messort (DEA), Parkregler (---), Leiter L1, Leiter L2, Leiter L3
- Bottom Buttons:** Ok, Abbrechen, Übernehmen, Hilfe

Abbildung 87: Einstelldialog Erzeugungsanlage (DEA)

Abhängig von dem Einstellwert [Betriebsart](#) wird ein internes elektrisches Modell basierend auf gesteuerten oder geregelten 1-, 2- oder 3-phasigen Strom- oder Spannungsquellen verwendet. Mit dem Netzwerkelement können einfache ideale Strom- und Spannungsquellen aber auch komplexe geregelte oder gesteuerte Leistungsquellen zur Einspeisung oder zum Bezug von Wirkleistung P oder Blindleistung Q nachgebildet

werden. Insbesondere dezentrale Erzeugungsanlagen, die über Netzstromrichter an das Stromnetz angeschlossene sind, können in allen vier Leistungsquadranten als Bezugs- und Einspeiseanlage nachgebildet werden.

Internes Modell	Erläuterung
Spannungsquelle	Es wird eine 3-phasige Spannungsquelle mit drei starr geerdeten, 1-phasigen Spannungsquellen in Sternschaltung verwendet. Der Sternpunkt ist starr geerdet. Die Beträge der drei Spannungsquellen sind gleich. Die Phasenverschiebung beträgt als Grundeinstellung 120°, kann mit dem Einstellwert Phasendiff. anwenderspezifisch eingestellt werden.
Stromquelle	Es wird eine 3-phasige Stromquelle mit drei starr geerdeten, 1-phasigen Stromquellen in Sternschaltung verwendet. Der Sternpunkt ist starr geerdet. Die Beträge der drei Stromquellen sind gleich. Die Phasenverschiebung beträgt als Grundeinstellung 120°, kann mit dem Einstellwert Phasendiff. anwenderspezifisch eingestellt werden.
Leistungsquelle	<p>Es wird eine 3-phasige Stromquelle mit drei starr geerdeten, 1-phasigen Stromquellen in Sternschaltung verwendet. Der Sternpunkt ist starr geerdet.</p> <p>⇒  : Es muss beachtet werden, dass der Einstellwert P<0 bzw. P>0 der Auswahlliste die Wirkleistungsflussrichtung bezogen auf das Erzeugerzählpeilsystem (EZS) festlegt.</p> <p>Normalbetrieb: Ist der LVRT-Betrieb nicht aktiv, sind die Beträge der drei Stromquellen gleich. Die Phasenverschiebung beträgt in Grundeinstellung 120°, kann mit dem Einstellwert Phasendiff. anwenderspezifisch eingestellt werden. Es erfolgt daher nur eine Einspeisung im Mitsystem, keine in Gegen- und Nullsystem.</p> $ \underline{I}_1 \geq 0, \underline{I}_2 = 0, \underline{I}_0 = 0$ <p>LVRT-Betrieb: Ist der LVRT-Betrieb aktiv, können sowohl die Beträge als auch die Phasenverschiebungen der drei Stromquellen zueinander verschieden sein. Beträge und Phasenwinkel der drei Stromquellen werden in Anlehnung an die Anwendungsregeln VDE-AR-N 4xxx [18],[30] [18] oder MSR2008 [4] automatisch berechnet. Abhängig von der Kurzschlussart erfolgt eine Stromeinspeisung in Mitsystem und Gegensystem erfolgen, keine ins Nullsystem.</p> $ \underline{I}_1 \geq 0, \underline{I}_2 \geq 0, \underline{I}_0 = 0$

Es muss beachtet werden, dass abhängig von dem Einstellwert **Betriebsart** im Einstell-dialog ggfs. Einstellwerte nicht verwendet werden oder deren Bedeutung sich ändert.

Einstellwert	Bedeutung
Un	<p>Nennspannung</p> <p>Es wird beim Schließen des Einstelldialogs überprüft, ob der Einstellwert von dem Einstellwert LVRT: Un in der Registerkarte LVRT ist. Bei Ungleichheit wird eine Warnung im Meldungsfenster ausgegeben.</p> <ul style="list-style-type: none"> Die Einstellwerte Un (Registerkarte <i>Allgemeine Daten</i>) und LVRT: Un (Registerkarte <i>LVRT</i>) können verschieden sein. Der Einstellwert ist nicht für alle Betriebsarten verfügbar.
In	<p>Nennstrom</p> <ul style="list-style-type: none"> Der Einstellwert ist nicht für alle Betriebsarten verfügbar.
Imax	<p>Maximal zulässiger Betrag der Leiterströme I_{L123} im natürlichen System in %</p> <p>Die Überprüfung des maximal zulässigen Leiterstrombetrages I_{Lmax} wird für Lastflussberechnungen im fehlerfreien Normalbetrieb und im Kurzschlussbetrieb, d.h. für Erzeugungsanlagen (DEA) im LVRT-Betrieb durchgeführt.</p> $I_{Lmax} = I_n \cdot I_{max}$
Sn⁶	<p>Nennscheinleistung</p> <ul style="list-style-type: none"> Der Einstellwert ist nicht für alle Betriebsarten verfügbar.
Pn⁶	<p>Nennwirkleistung</p> <ul style="list-style-type: none"> Der Einstellwert ist nicht für alle Betriebsarten verfügbar.
Frequenz	<p>Frequenz der Spannungs- oder Stromquelle</p> <p>Zur Berechnung stationärer Netzzustände muss der Einstellwert identisch mit dem Einstellwert fn des Netzwerkelementes Netzeinspeisung 1 bzw. mit dem Einstellwert Netznennfrequenz fn des Einstelldialogs Einstellungen Elektrisches Netz sein.</p>
Winkel	<p>Der Einstellwert kann abhängig von der Betriebsart ggfs. nicht direkt eingestellt werden, sondern wird aus dem Nenn-Verschiebungsfaktor cos ϕ_n berechnet.</p> <ul style="list-style-type: none"> Betriebsart Stromquelle $I_n = const.$ Absolute Phasenlage der Leiterströme I_{L1}, I_{L2} und I_{L3} Betriebsart Spannungsquelle $U_n = const.$ Absolute Phasenlage der Leiter-Erd-Spannungen U_{L1}, U_{L2} und U_{L3} <p>Es muss bei der Wahl des Einstellwertes berücksichtigt werden, dass ATPDesigner intern folgende Winkel zu dem Einstellwert hinzuaddiert:</p> <ul style="list-style-type: none"> Leiter L1: $270^\circ = -90^\circ$ Leiter L2: 150° Leiter L3: 30° <p>Die Ursache liegt in der Berechnung und Darstellung zeitlicher Signale wie Spannungen und Strömen mit der Berechnung dynamischer Netzvorgänge durch das ATP.</p>

⁶ Die Textelemente z.B. **Sn** oder **Pn** werden im Einstelldialog abhängig von der **Betriebsart** dargestellt.

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Betriebsart Leistungsquelle Sn (IL:1/2/3p), Sn (IL:3p) = const., Pn (IL:1/2/3p), Pn (IL:3p) = const. <p>Winkel des Verschiebungsfaktors $\cos \varphi$, der am Netzanschlusspunkt (NAP) iterativ eingestellt werden soll.</p> $\varphi = \arccos\left(\frac{P}{S}\right)$ <p>Für dieses Betriebsarten ist die direkte Einstellung nicht möglich. Der Einstellwert wird aus dem Einstellwert des Nenn-Verschiebungsfaktor $\cos \varphi_n$ berechnet.</p> <p>Die Einheit des Einstellwertes ist abhängig von der Auswahl Grad [°] oder Sekunden [s] in der Gruppe Einheit des Winkels.</p>
$\cos \varphi_n$	<p>Nenn-Verschiebungsfaktor $\cos \varphi_n$ am Netzanschlusspunkt (NAP)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Der Netzanschlusspunkt kann mit dem Einstellwert NAP Messort festgelegt werden. ▪ Der Verschiebungsfaktor muss in Zusammenhang mit dem Einstellwert untererregt bzw. übererregt ermittelt werden. <p>Um numerische Probleme zu vermeiden, wird der Wertebereich des Verschiebungsfaktors zu kleinen Werten begrenzt.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Betriebsart Sn (IL:1/2/3p), Sn (IL:3p) = const.: [0...1] ▪ Betriebsart Pn (IL:1/2/3p), Pn (IL:3p) = const.: [0,00001...1] <p>Soll eine Blindleistungseinspeisung mit einem Verschiebungsfaktor $\cos \varphi=0$, d.h. $P=0$ verwendet werden, wird die Verwendung einer der beiden Betriebsarten Sn... empfohlen.</p>
Tstart	<p>Zeitpunkt der Aktivierung der Spannungs- oder Stromquelle [s] Der Einstellwert wird sowohl für die Berechnung stationärer Netzzustände als auch für die Berechnung dynamischer Netzvorgänge verwendet.</p> <p>= -1: Die Spannungs- oder Stromquelle ist zu Beginn der Berechnung dynamischer Netzvorgänge aktiv, d.h. die Erzeugungsanlage (DEA) wird in der Lastflussberechnung und bei der Berechnung stationärer Netzzustände berücksichtigt.</p> <p>ungleich -1: Die Erzeugungsanlage (DEA) wird in der Lastflussberechnung und bei der Berechnung stationärer Netzzustände nicht berücksichtigt.</p>

⇒ Für die **Lastflussberechnung** oder die **Berechnung eines stationären Netzzustandes** muss der Einstellwert **Tstart = -1s** eingestellt sein, da bei allen anderen Werten das Netzwerkelement **nicht** in der Lastflussberechnung berücksichtigt wird.

Einstellwert	Bedeutung
--------------	-----------

Tende	Zeitpunkt der Deaktivierung der Spannungs- oder Stromquelle [s] Der Einstellwert gilt sowohl für die Berechnung stationärer Netzzustände als auch für die Berechnung dynamischer Netzvorgänge .
Phasendiff.	Phasenverschiebung der Spannungs- oder Stromquellen zueinander Ausgehend von einem symmetrischen 3-phasigen Spannungs- oder Stromsystem beträgt der Einstellwert 120°.
Leiter L1, L2, L3	Modell für die Leiter L1, L2, L3 aktivieren bzw. deaktivieren
NAP Messort	Der Netzanschlusspunkt (NAP) kann entweder am Netzknoten der Erzeugungsanlage (DEA) oder am Netzknoten eines beliebigen Mess/Schutzgerätes liegen. ATPDesigner verwendet die Spannungen und Ströme am NAP für die Iteration des Verschiebungswinkels bzw. des Verschiebungsfaktors $\cos \varphi$. <ul style="list-style-type: none"> ▪ DEA: Der Netzanschlusspunkt (NAP) ist identisch mit dem Einspeiseknoten der Erzeugungsanlage (DEA). ▪ Prb x: Der Netzanschlusspunkt (NAP) ist identisch mit dem Messort des Mess/Schutzgerätes.
Betriebsart IL	Die Berechnung des Betrages der Leiterströme I_L der Stromquelle kann mit Hilfe der Leiter-Erd-Spannungen oder Leiter-Leiter-Spannungen am Netzanschlusspunkt (NAP) erfolgen. <ul style="list-style-type: none"> ▪ $I_L=f(U_{LE})$: Berechnung des Leiterstrombetrages I_L durch die Leiter-Erd-Spannungen am Netzanschlusspunkt (NAP) ▪ $I_L=f(U_{LL})$: Berechnung des Leiterstrombetrages I_L durch die Leiter-Leiter-Spannungen am Netzanschlusspunkt (NAP)
P,S Messort	Abhängig von der Betriebsart der Leistungsregelung wird die Leistung S_n oder P_n am Netzanschlusspunkt (NAP) oder am Netzanchlussknoten der Erzeugungsanlage (DEA) iterativ eingestellt. <ul style="list-style-type: none"> ▪ DEA: Die Leistungsregelung erfolgt mit Hilfe der am Einspeiseknoten der Erzeugungsanlage (DEA) gemessenen Spannungen und Strömen. ▪ NAP: Die Leistungsregelung erfolgt mit Hilfe der am Netzanschlusspunkt (NAP) gemessenen Spannungen und Strömen. <p>Es muss beachtet werden, dass der Netzanschlusspunkt (NAP) entsprechend dem Einstellwert NAP Messort mit dem Einspeiseknoten der Erzeugungsanlage (DEA) identisch sein kann aber nicht identisch sein muss.</p>
Parkregler	Referenzname und anwenderspezifischer Name eines Mess-/Schutzgerätes , das optional als Parkregler die Erzeugungsanlage (DEA) steuert.

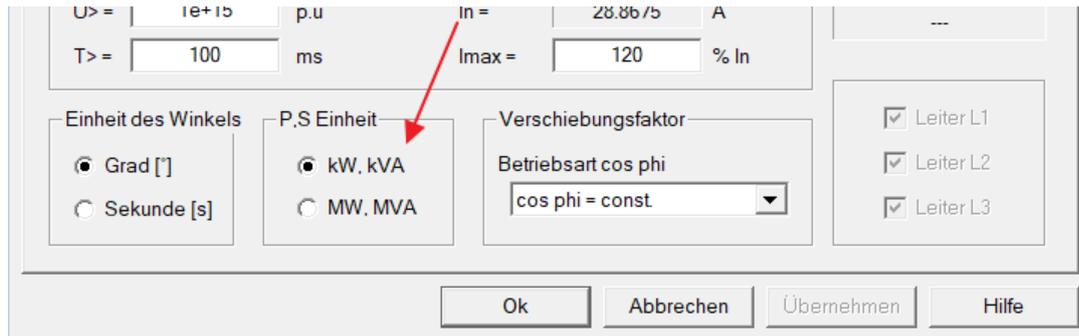
5.6.1.1 Einstellwert Betriebsart

Der Einstellwert **Betriebsart** legt die Betriebsweise der Dezentralen Erzeugungsanlage als Strom-, Spannungs- oder Leistungsquelle fest. Darüber hinaus können zwei Betriebsarten für die **Berechnung dynamischer Netzvorgänge** verwendet werden.

Einstellwert	Bedeutung
Un = const.	Spannungsquelle mit konstantem Spannungsbetrag
In = const.	Stromquelle mit konstantem Strombetrag Einstellung des Leiterstroms I_n , Spannungssteigerungsschutz U> und Spannungsrückgangsschutz U<
Sn (IL:1/2/3p) = const. Sn (IL:3p) = const.	Geregelte Stromquelle mit konstanter Scheinleistung S_n Überwachung des Leiterstroms I_L , Begrenzung auf den maximal zulässigen Leiterstrom $I_{n \cdot I_{max}}$, Spannungssteigerungsschutz U> und Spannungsrückgangsschutz U< <div style="display: flex; align-items: center;"> ⇒ <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 0 5px;">P>0</div> : </div> Mit den Einstellwerten P>0 bzw. P<0 aus der Auswahlliste wird die Wirkleistungsflussrichtung bezogen auf das Erzeugerzählpeilsystem (EZS) eingestellt. Es ist hier zu beachten, dass der Teilleistungsfaktor s aus dem Einstelldialog ATP Einstellwerte , Registerkarte Lastfluss: DEA zur Berechnung der tatsächlich eingespeisten Scheinleistung $S = s \cdot S_n$ nur für Lastflussberechnungen verwendet wird.
Pn (IL:1/2/3p) = const. Pn (IL:3p) = const.	Geregelte Stromquelle mit konstanter Wirkleistung P_n Überwachung des Leiterstroms I_L , Begrenzung auf den maximal zulässigen Leiterstrom I_{max} , Spannungssteigerungsschutz U> und Spannungsrückgangsschutz U< <div style="display: flex; align-items: center;"> ⇒ <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 0 5px;">P>0</div> : </div> Mit den Einstellwerten P>0 bzw. P<0 aus der Auswahlliste wird die Wirkleistungsflussrichtung bezogen auf das Erzeugerzählpeilsystem (EZS) eingestellt. Es ist hier zu beachten, dass der Teilleistungsfaktor s aus dem Einstelldialog ATP Einstellwerte , Registerkarte Lastfluss: DEA zur Berechnung der tatsächlich eingespeisten Wirkleistung $P = s \cdot P_n$ nur für Lastflussberechnungen verwendet wird.
u(t) = MODELS	MODELS gesteuerte 3-phasige Spannungsquelle nur für die Berechnung dynamischer Netzvorgänge
i(t) = MODELS	MODELS gesteuerte 3-phasige Stromquelle nur für die Berechnung dynamischer Netzvorgänge

5.6.1.2 Einstellgruppe P,S Einheit

Ist eine Leistungsbetriebsarten **Sn** oder **Pn** eingestellt, so kann die mit Hilfe der beiden nachfolgend dargestellten Optionen kW, kVA und MW, MVA die Einheit der Nennleistung im Sinne einer 10er-Potenz eingestellt werden.

Abbildung 88: Einstellung der Einheit für die Nennleistung P_n bzw. S_n

Einstellwert	Bedeutung
kW, kVA	Die Einheit der Nennleistung P_n bzw. S_n ist kW bzw. kVA.
MW, MVA	Die Einheit der Nennleistung P_n bzw. S_n ist MW bzw. MVA.

5.6.1.3 Verwendung einer Kennung in der Netzgrafik

In der Registerkarte **Lastprofil** kann mit dem dort einstellbaren Einstellwert **Betriebsart** eine Betriebsart z.B. **Windkraftanlage (DEA)** für das Netzwerkelement eingestellt werden. Wird nur eine **Lastflussberechnung** und keine **Fahrplanberechnung** ausgeführt, so wird die eingestellte **Betriebsart** nur zur Anzeige der **Kennung** in der Netzgrafik verwendet. Damit ist es einfacher, die Verwendung des Netzwerkelementes direkt in der Netzgrafik zu erkennen.

5.6.1.4 Modell einer Stromquelle konstanter Leistung im Normalbetrieb

Im Normalbetrieb des Stromnetzes, d.h. bei inaktivem **LVRT-Betrieb** wird die Erzeugungsanlage als Einspeise- oder Bezugsanlage konstanter Leistung mit drei symmetrisch einspeisenden geregelten Stromquellen in Sternschaltung nachgebildet. Unter einer geregelten Stromquelle wird eine ideale Stromquelle mit unendlich hohem Innenwiderstand verstanden,

- deren Strombeträge abhängig von der eingestellten Leistung S_n oder P_n und den am Netzanschlusspunkt (NAP) berechneten Leiter-Erd-Spannungen

UND

- deren Phasenverschiebung des Leiterstromes I_L zur Leiter-Erd-Spannung U_{LE} am Netzanschlusspunkt (NAP) entsprechend dem Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$

iterativ mit mehreren Schritten näherungsweise eingestellt wird. Diese Berechnungsmethode wird im Folgenden **iterative Netzberechnung** genannt.

- ⇒ Abhängig von der **Betriebsart** verwendet der Algorithmus zur iterativen Lastflussberechnung nicht die Leitergrößen sondern den **Mitsystemstrom I_1** und die **Mitsystemspannung U_1** . Man spricht dann von einer **Iteration im Mitsystem**.

Einstellwert	Bedeutung
Un init	<p>Nennspannung in [kV] zur Berechnung des Startwertes des Betrags der Stromquelle für die Betriebsarten</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sn (IL:1/2/3p) = const. ▪ Sn (IL:3p) = const. ▪ Pn (IL:1/2/3p) = const. ▪ Pn (IL:3p) = const. <p>Die Nennspannung Un init wird zweifach verwendet:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ zur Berechnung des Startwertes des Betrages I_L der Stromquellen und ▪ als Bezugswert für die Einstellung der U<>-Überwachung.
Einheit des Winkels	Die Einheit des Einstellwertes Winkel kann in Grad oder Sekunden definiert werden.

5.6.1.5 Blindleistungsbereitstellung: *Betriebsart cos phi* im Normalbetrieb

Die Blindleistungsbereitstellung der Dezentralen Erzeugungsanlage im Normalbetrieb des Stromnetzes kann durch einen konstanten Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ oder durch verschiedene Kennlinien zur Blindleistungsbereitstellung erfolgen. Die Kennlinien lehnen sich an die Anwendungsregeln VDE-AR-N 4xxx [18],[30] [18] oder MSR2008 [4] an.

- ⇒ Es muss beachtet werden, dass die Betriebsart **cos phi** zur Blindleistungsbereitstellung nur im fehlerfreien Normalbetrieb der Dezentralen Erzeugungsanlage verwendet werden kann. Der Normalbetrieb der Dezentralen Erzeugungsanlage ist dadurch gekennzeichnet, dass der [LVRT-Betrieb](#) der Dezentralen Erzeugungsanlage nicht aktiv ist.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Auswahlliste. Mit dem Einstellwert **Betriebsart cos phi** in der Gruppe **Verschiebungsfaktor** kann die Blindleistungsbereitstellung der Erzeugungsanlage in der Betriebsweise als Leistungssenke oder Leistungsquelle eingestellt werden. Es kann Blindleistung bzw. Blindstrom übererregt eingespeist oder untererregt bezogen werden.

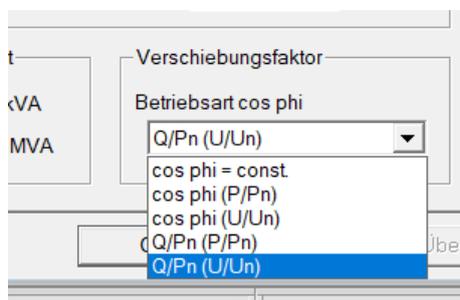


Abbildung 89: Auswahlliste *Betriebsart cos phi*

Einstellwert	Bedeutung
cos phi = const.	Der Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ wird als konstanter Wert durch den Einstellwert cos phi und die Betriebsart übererregt bzw. untererregt definiert.

cos phi (P/P_n)	Der Verschiebungsfaktor cos φ wird durch die Kennlinie in der Registerkarte Cos Phi definiert. Die Registerkarte definiert die Stützstellen [P/P _n , cos φ (P/P _n)] sowie die Betriebsart des Verschiebungsfaktors cos φ übererregt oder untererregt.
cos phi (U/U_n)	Der Verschiebungsfaktor cos φ wird durch die Kennlinie in der Registerkarte Cos Phi definiert. Die Registerkarte definiert die Stützstellen [U/U _n , cos φ (U/U _n)] sowie die Betriebsart des Verschiebungsfaktors cos φ übererregt oder untererregt. Die Messung der Netzspannung erfolgt am Netzanschlusspunkt (NAP) .
Q/P_n (P/P_n)	Das Verhältnis Q/P_n wird durch die Kennlinie in der Registerkarte Cos Phi definiert. Die Registerkarte definiert die Stützstellen [P/P _n , Q/P _n] sowie die Betriebsart übererregt oder untererregt.
Q/P_n (U/U_n)	Das Verhältnis Q/P_n wird durch die Kennlinie in der Registerkarte Cos Phi definiert. Die Registerkarte definiert die Stützstellen [U/U _n , Q/P _n] sowie die Betriebsart übererregt oder untererregt. Die Messung der Netzspannung erfolgt am Netzanschlusspunkt (NAP) .

5.6.1.6 Betriebsarten S_n ($IL:3p$) = const. und P_n ($IL:3p$) = const.

Die Betriebsarten können zur Nachbildung eines 3-phasigen, symmetrischen Netzstromrichters (Vollumrichter) basierend auf dem Modell der [geregeltten Stromquelle](#) verwendet werden. Die Beträge der drei Leiterströme I_{L123} sind gleich, die Phasenverschiebung der drei Leiterströme untereinander beträgt fest 120°, auch während der einzelnen Schritte der iterativen Netzberechnung [Lastfluss: DEA](#). Als Modell wird eine 3-phasige, symmetrische Stromquelle verwendet, die nur ins Mitsystem einspeist. Die iterative Einstellung von Verschiebungsfaktor und Einspeiseleistung erfolgt daher im Mitsystem.

- ⇒ Die Betriebsarten verwenden intern den **Mitsystemstrom I_1** und die **Mitsystemspannung U_1** . Es handelt sich daher um eine iterative **Regelung im Mitsystem**.

5.6.1.6.1 Verschiebungsfaktor cos φ am Netzanschlusspunkt (NAP)

Im Verlauf der iterativen Lastflussberechnung werden aus den Leiter-Erd-Spannungen U_{L123} und den Leiterströmen I_{L123} am **Netzanschlusspunkt (NAP)** Mitsystemspannung U_1 und Mitsystemstrom I_1 berechnet, deren Phasenwinkeldifferenz φ_1 zur iterativen Einstellung des vom Anwender eingestellten Verschiebungsfaktors **cos φ** bzw. der Phasenverschiebung **Winkel** verwendet wird.

$$\cos(\phi) = \cos(\varphi_1), \text{ mit } \varphi_1 = f(U_1, I_1)$$

- ⇒ Die Iteration des Verschiebungsfaktors erfolgt nur im Mitsystem.

5.6.1.6.2 Leistungseinspeisung P_n oder S_n

Die iterative Einstellung der **Einspeiseleistung** erfolgt anhängig vom Einstellwert [P,S Messort](#) entweder am **Netzanschlusspunkt (NAP)** oder am Einspeiseknoten der dezentralen Erzeugungsanlage mit Hilfe der dort berechneten Mitsystemspannung U_1 . Die

Einspeiseleistungen P bzw. S werden aus Mitsystemspannung \underline{U}_1 und Mitsystemstrom \underline{I}_1 berechnet. Für den 3-phasigen symmetrischen Netzbetrieb gilt:

$$S = 3 \cdot \underline{U}_1 \cdot \underline{I}_1^*$$

5.6.1.7 Betriebsarten S_n (IL:1/2/3p) = const. und P_n (IL:1/2/3p) = const.

Die Betriebsarten können zur Nachbildung von 1...3 1-phasigen Netzstromrichtern basierend auf dem Modell der geregelten Stromquelle verwendet werden. Durch die Lastflussiteration [Lastfluss: DEA](#) wird für jeden 1-phasigen Netzstromrichter die Phasenverschiebung des eingespeisten Leiterstroms \underline{I}_L bezogen auf die zugehörige Leiter-Erd-Spannung \underline{U}_{LE} auf die vom Anwender eingestellte Phasenverschiebung **Winkel** eingestellt. Da die Leiter L1, L2 und L3 elektrisch unabhängig voneinander betrachtet werden, können sich im Verlauf der Lastflussiteration [Lastfluss: DEA](#) unsymmetrische Leiterströme einstellen. Die Erzeugungsanlage arbeitet in dieser Betriebsart wie drei nicht gekoppelte 1-Phasen-Wechselrichter, die am gleichen elektrischen Netzknoten Leistung einspeisen.

- ⇒ Die Betriebsarten verwenden intern die drei Leiterströme \underline{I}_{L123} und die drei Leiter-Erdspannungen \underline{U}_{L123} . Es handelt sich daher um eine iterative **Regelung im natürlichen System (Leitergrößen)**.

5.6.1.8 Betrag I_L der Stromquellen: Berechnung des Anfangswertes

Für die Betriebsarten **P_n (IL:1/2/3p) = const.** und **P_n (IL:3p) = const.** wird zuerst die Nennscheinleistung S_n aus der eingestellten Wirkleistung P_n und dem eingestellten Verschiebungsfaktor **cos ϕ** berechnet. In den Betriebsarten **S_n (IL:1/2/3p) = const.** und **S_n (IL:3p) = const.** wird die eingestellte Scheinleistung S_n verwendet.

$$S_n = \frac{P_n}{\cos \phi_n}$$

- Sollte der Verschiebungsfaktor $\cos \phi = 0$ betragen, wird eine Scheinleistung $S_n = 0\text{MVA}$ verwendet.
- Die berechnete Scheinleistung S_n wird auf die maximal zulässige Scheinleistung S_r begrenzt.

Für die Betriebsarten **S_n (IL:1/2/3p) = const.**, **S_n (IL:3p) = const.**, **P_n (IL:1/2/3p) = const.** und **P_n (IL:3p) = const.** wird vor der ersten Netzberechnung im Iterationsschritt 1 (d.h. auch bei aktivierter Option [Lastfluss: DEA](#)) der netzfrequente Betrag I_L der Stromquelle(n) als Startwert wie folgt berechnet.

Betriebsart	Berechnung
P_n (IL:3p) = const. S_n (IL:3p) = const.	$I_L = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{n\text{init}}}$

<p>Pn (IL:1/2/3p) = const. Sn (IL:1/2/3p) = const.</p>	$I_L = \frac{S_n}{N \cdot \frac{U_{n\text{init}}}{\sqrt{3}}}$ <p>N = (1,2,3): Anzahl 1-phasiger Stromquellen der Erzeugungsanlage (DEA) mit aktiver Option Lastfluss: DEA (Phase Adjusting)</p>
---	---

Voraussetzung für die Berechnung des Betrages des Leiterstroms I_L ist die Annahme, dass ein symmetrischer Netzzustand vorliegt. Insofern ist auch ein 3-poliger Kurzschluss ein symmetrischer Netzzustand. Der Betrag des Leiterstroms I_L wird als Betrag für die drei Leiterströme I_{L123} gleich verwendet.

5.6.1.9 Betrag I_L der Stromquellen: Wert während der Iteration

Im weiteren Verlauf der Lastflussiteration **Lastfluss: DEA** für die Iterationsschritte 2, 3, ... wird vor jeder weiteren Ausführung einer stationären Netzberechnung der Betrag des Leiterstroms I_L der Stromquelle(n) unter Verwendung der mittleren Versorgungsspannung U_{mittel} oder des Betrages der Mitsystemspannung U_1 abhängig vom Einstellwert **P,S Messort** am Netzanschlusspunkt (NAP) oder am Einspeiseknoten der **Erzeugungsanlage (DEA)** berechnet.

$$I_L = \frac{S_n}{N \cdot U_{\text{mittel}}} \text{ oder } \frac{S_n}{N \cdot U_1}$$

- **N** : Anzahl 1-phasiger Stromquellen der **Erzeugungsanlage (DEA)** mit aktiver Option **Lastfluss: DEA (Adjusting Phase)**

5.6.1.9.1 Betriebsarten: Sn (IL:1/2/3p) = const., Pn (IL:1/2/3p) = const. : N = 1,2,3

In diesen beiden Betriebsarten wird der Mittelwert U_{mittel} der Leiter-Erd-Spannungen oder der Leiter-Leiter-Spannungen zur Berechnung des Betrages der drei Leiterströme I_{L123} verwendet.

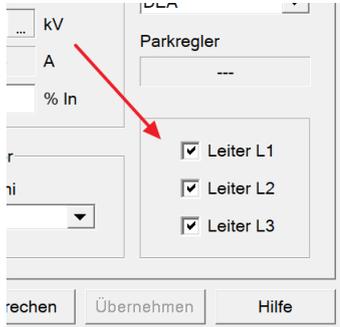
Bezeichner	Bedeutung
U_{mittel}	Mittelwert der Beträge der Leiter-Erd-Spannungen oder Leiter-Leiter Spannungen am Netzanschlusspunkt (NAP) oder am Einspeiseknoten der Erzeugungsanlage (DEA) ⁷ als Ergebnis der letzten Berechnung des stationären Netzzustandes Der Mittelwert hat netzphysikalisch die Bedeutung einer Leiter-Erd-Spannung.

- für den Einstellwert **Betriebsart IL = I_L=f(U_{LE})**

$$U_{\text{mittel}} = \frac{U_{L1} + U_{L2} + U_{L3}}{3}$$

⁷ Einstellwert **P,S Messort**

Es muss beachtet werden, dass nur die Leiter-Erd-Spannungen bei der Berechnung des Mittelwertes U_{mittel} verwendet werden, die im Einstelldialog in der Registerkarte **Allgemeine Daten** wie nachfolgend abgebildet mit den Einstellwerten L1, L2 und L3 aktiviert wurden.



- für den Einstellwert **Betriebsart IL = $I_L=f(U_{Ll})$**
 Abhängig von der vorhergehend dargestellten Auswahl der Leiter L1, L2 und L3 wird der Mittelwert U_{mittel} wie folgt berechnet.

Leiter L1, L2, L3	Berechnung U_{mittel}
L1 aktiv L2 aktiv L3 aktiv	$U_{\text{mittel}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{U_{L1L2} + U_{L2L3} + U_{L3L1}}{3}$
L1 aktiv	$U_{\text{mittel}} = \frac{U_{L1L2}}{\sqrt{3}}$
L2 aktiv	$U_{\text{mittel}} = \frac{U_{L2L3}}{\sqrt{3}}$
L3 aktiv	$U_{\text{mittel}} = \frac{U_{L3L1}}{\sqrt{3}}$
L1 aktiv L2 aktiv L3 inaktiv	$U_{\text{mittel}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{U_{L1L2} + U_{L3L1}}{2}$
L1 inaktiv L2 aktiv L3 aktiv	$U_{\text{mittel}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{U_{L3L1} + U_{L1L2}}{2}$
L1 aktiv L2 inaktiv L3 aktiv	$U_{\text{mittel}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{U_{L1L2} + U_{L2L3}}{2}$

5.6.1.9.2 Betriebsarten: $S_n (IL:3p) = \text{const.}$, $P_n (IL:3p) = \text{const.}$

In diesen beiden Betriebsarten erfolgt die Berechnung des netzfrequenten Betrages der Stromquellen mit Hilfe der **Mitsystemspannung U_1** . Dazu wird die Mitsystemspannung mit Hilfe der bekannten Transformationsmatrix aus den Leiter-Erd-Spannungen berechnet.

$$\underline{U}_1 = \frac{\underline{U}_{L1} + \underline{a} \cdot \underline{U}_{L2} + \underline{a}^2 \cdot \underline{U}_{L3}}{3}$$

\underline{U}_1 = Betrag der Mitsystemspannung am Netzanschlusspunkt (NAP) oder am Einspeiseknoten der **Erzeugungsanlage (DEA)**⁷ als Ergebnis der letzten Berechnung des stationären Netzzustandes

5.6.1.10 Begrenzung des Leiterstroms - maximal zulässiger Leiterstrom I_{Lmax}

Vor dem Start einer Netzberechnung eines Iterationsschrittes der Lastflussberechnung wird geprüft, ob ein Betrag der Leiterströme I_{L123} den maximal zulässigen Betrag I_{Lmax} überschreitet. In diesem Fall wird der Betrag auf

$$I_{Lmax} = I_{max} \cdot I_n$$

begrenzt. Diese Begrenzung ist für ein realistisches Modell eines Netzstromrichters erforderlich, da Netzstromrichter immer eine maximal zulässige Stromtragfähigkeit der leistungselektronischen Komponenten aufweisen.

Wird eine **Lastflussberechnung mit konstanten Leistungen**, d.h. ohne Lastprofile [23] ausgeführt, so wird der Betrag des maximal zulässigen Leiterstroms aus den Einstellwerten der Registerkarte **Allgemeine Daten** des Einstelldialogs berechnet.

$$I_{Lmax} = I_{max} \cdot I_n$$

Wird eine **Lastflussberechnung mit Lastprofilen** ausgeführt, so wird für jedes 15min-Intervall der Nennstrom basierend auf dem verwendeten Lastprofil [23] und dem 15min-Intervall des Jahres berechnet. Der maximal zulässige Leiterstrom wird aus den Einstellwerten der Registerkarte **Allgemeine Daten** und der Registerkarte **Lastprofil** des Einstelldialogs berechnet.

$$I_{n\ 15min} = \frac{\text{Energie}}{1000kWh} \cdot P_{\text{Lastprofil}(15min)}$$

$$I_{Lmax} = I_{max} \cdot I_{n\ 15min}$$

5.6.1.11 Einstellwert Zusatzknoten Steuerung

Die **Erzeugungsanlage (DEA)** kann mit Hilfe des Zusatzknotens Steuerung an die Komponenten der **Schutzlogik** oder die **Netzautomatisierung** [Bd. 3] angeschlossen werden. Die Funktion des Zusatzknotens ist abhängig von der Einstellung der **Verbindung** oder **Messleitung** [Bd. 2] zwischen einem Netzwerkelement der Schutzlogik oder Netzautomatisierung.

Die nachfolgende Abbildung zeigt als Beispiel die Steuerung einer Erzeugungsanlage (DEA) durch das Netzwerkelement **G1** der **Schutzlogik**, das hier als Komponente der **Netzautomatisierung** verwendet wird. An den beiden Messgeräten P3 und P5 werden die Wirkleistungen gemessen und mit dem Netzwerkelement der Teillastfaktor der **Erzeugungsanlage (DEA)** während der Lastflussberechnung eingestellt.

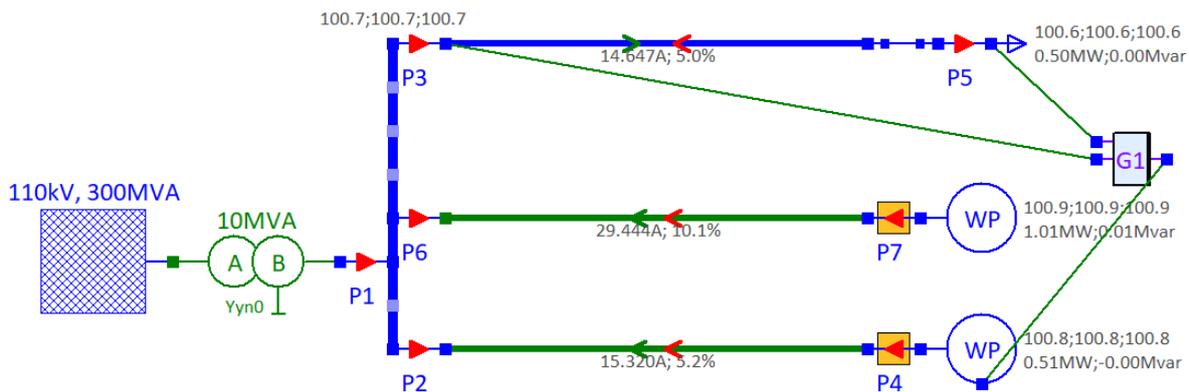


Abbildung 90: Zusatzknoten Steuerung – Beispiel einer Netzautomatisierung

Die Funktion, mit der die Erzeugungsanlage (DEA) gesteuert wird, kann durch einen **Left Mouse Button Double Click** auf die **grüne Verbindung (Messleitung)** zwischen dem Zusatzknoten und dem Ausgangsknoten des Netzwerkelementes **G1** eingestellt werden. In der nachfolgenden Abbildung ist der Einstelldialog dargestellt.

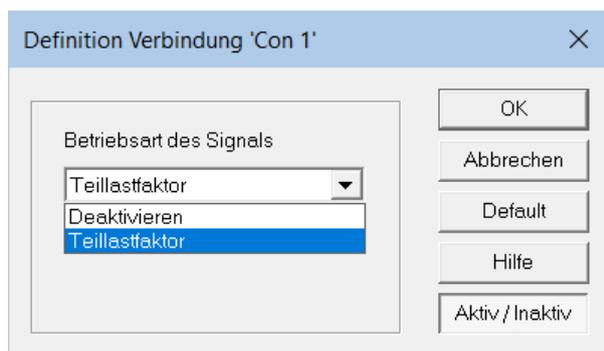


Abbildung 91: Steuerung einer Erzeugungsanlage (DEA) durch den Zusatzknoten

Bezeichner	Bedeutung
Deaktivieren	Die Erzeugungsanlage (DEA) wird bei Konvergenz der Lastflussberechnung nach dem letzten Iterationsschritt deaktiviert.
Teillastfaktor	Der Teillastfaktor der Erzeugungsanlage (DEA) wird während der Lastflussiteration wie z.B. auch der Stufenschalter eines Transformators verändert.

5.6.2 Netzanschlusspunkt (NAP) im Normalbetrieb – NAP Messort

Der Einstellwert **NAP Messort** (**Netzanschlusspunkt**, englisch: **Network Connection Point NCP**) in der Registerkarte **Allgemeine Daten** legt den Messort fest, an dem der Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ von dem Iterationsverfahrens im Normalbetrieb, d.h. wenn der **LVRT-Betrieb** nicht aktiviert wurde, iterativ eingestellt wird. Der Netzanschlusspunkt (NAP) kann der Messort eines beliebigen **Mess/Schutzgerätes** oder der Einspeiseknoten der **Erzeugungsanlage (DEA)** sein. Der Einstellwert **NAP Messort** entspricht dem Netzanschlusspunkt (NAP) im Sinne der Mittelspannungsrichtlinie (MSR2008) [4] bzw. der Anwendungsrichtlinien **VDE-AR-N 4110/4120** [18],[30].

Einstellwert	Bedeutung
--------------	-----------

DEA [---]	Netzanschlusspunkt (NAP) = Messort am Einspeiseknoten der Erzeugungsanlage (DEA)
Prb x	Netzanschlusspunkt (NAP) = Mess/Schutzgerät

Am Netzanschlusspunkt (NAP) werden sowohl die Leiterströme I_{L123} und Leiter-Erd-Spannungen U_{L123} des natürlichen Systems als auch Mitsystemspannung U_1 und Mitsystemstrom I_1 berechnet. Abhängig von dem Einstellwert **P,S Messort** wird die von der dezentralen Erzeugungsanlage eingespeiste Leistung aus den Messwerten des Netzanschlusspunktes (NAP) oder des Einspeiseknotens der **Erzeugungsanlage (DEA)** berechnet.

5.6.2.1 Erzeugerzählpeilsystem (EZS) am Netzanschlusspunkt (NAP)

Bei der Verwendung als Modell für eine Dezentrale Erzeugungsanlage muss beachtet werden, dass die Lastflussberechnung das **Erzeugerzählpeilsystem (EZS)** für die Messung von Spannungen, Strömen und Leistungen am **Netzanschlusspunkt (NAP)** voraussetzt.

- Wird als Netzanschlusspunkt (NAP) der Einspeiseknoten der dezentralen Erzeugungsanlage verwendet, so wird das Erzeugerzählpeilsystem (EZS) automatisch verwendet.
- Wird ein **Mess/Schutzgerät** am Netzanschlusspunkt als Messort verwendet, so muss die Messrichtung des **Mess/Schutzgerätes** aus Sicht des Modells **Erzeugungsanlage (DEA)** dem Erzeugerzählpeilsystem entsprechen.

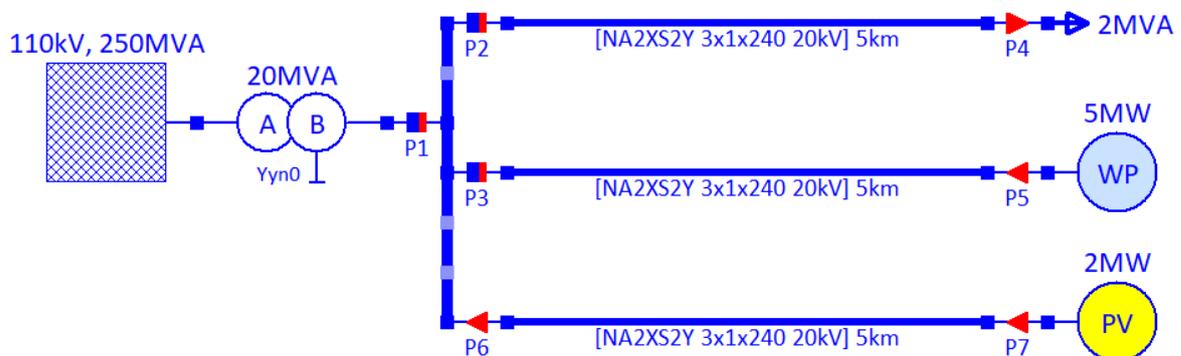


Abbildung 92: Mess/Schutzgerät P6 am NAP im Erzeugerzählpeilsystem (EZS)

In der vorangehenden Abbildung wird das **Mess/Schutzgerät** P6 am Netzanschlusspunkt (NAP) für die PV-Anlage im Sinne des Erzeugerzählpeilsystems korrekt verwendet. Wie in der nachfolgenden Abbildung zu erkennen ist, wird am Netzanschlusspunkt der PV-Anlage P6 eine Wirkleistung $P=2\text{MW}$ eingespeist. Die PV-Anlage muss an ihrem Einspeiseknoten ca. $2,01\text{MW}$ einspeisen, um die Wirkverluste der Leitung aufzubringen.

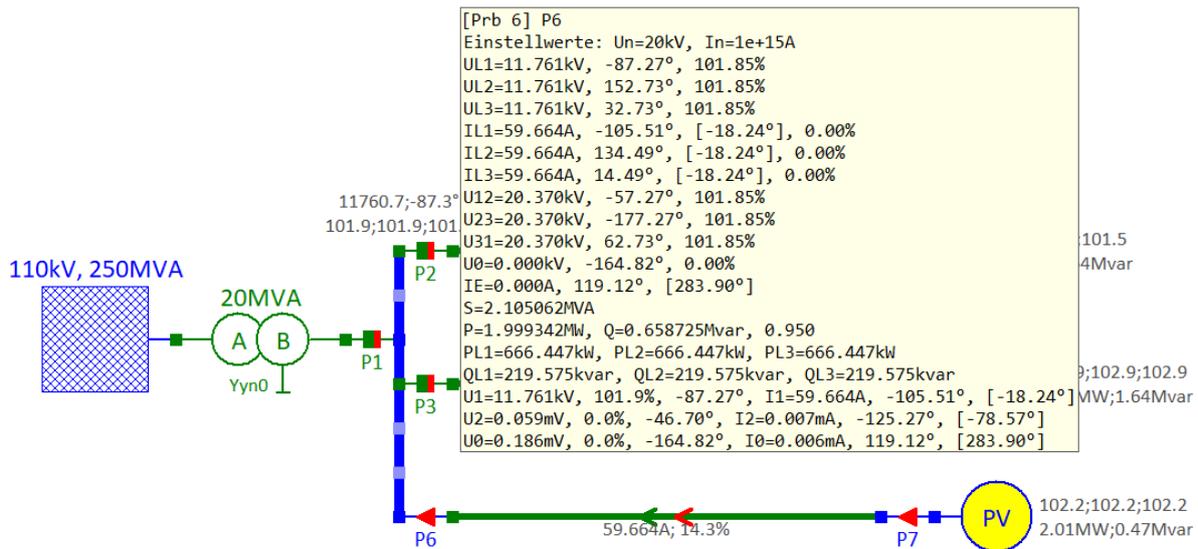


Abbildung 93: Lastflussberechnung mit Mess/Schutzgerät am Netzanschlusspunkt (NAP)

5.6.3 Betriebsart $\cos \phi = \text{const.}$: Untererregte oder übererregte Betriebsweise

Bei der Berechnung des Phasenwinkels **Winkel** wird zur Blindleistungsbereitstellung in der Betriebsart **$\cos \phi = \text{const.}$** die Unterscheidung einer untererregten oder übererregten Betriebsweise berücksichtigt. Es wird das Erzeugerzählpfeilsystem (EZS) am Netzanschlusspunkt (NAP) der **Erzeugungsanlage (DEA)** angenommen.

Bezeichner	Bedeutung
untererregt	Blindleistung bzw. Blindstrom wird am Netzanschlusspunkt (NAP) aus dem Stromnetz bezogen.
übererregt	Blindleistung bzw. Blindstrom wird am Netzanschlusspunkt (NAP) in das Stromnetz eingespeist.

Der Verschiebungsfaktor $\cos \phi$ kann im Intervall [0, 1] eingestellt werden. Zusammen mit den Einstellwerten **untererregt** oder **übererregt** wird die **Blindleistungsflussrichtung** festgelegt.

5.6.4 Betriebsarten $P > 0$ oder $P < 0$: Einspeisung oder Bezug von Wirkleistung

Mit Hilfe der Auswahlliste  mit den Einstellwerten $P > 0$ und $P < 0$ ist es möglich, die Einspeisung oder den Bezug von Wirkleistung am Netzanschlusspunkt (NAP) bezogen auf das Erzeugerzählpfeilsystem (EZS) für die Betriebsarten als Leistungssenke oder Leistungsquelle einzustellen.

Einstellwert	Bedeutung
$P_n < 0$	Es wird Wirkleistung vom Netz aufgenommen.
$P_n > 0$	Es wird Wirkleistung ins Netz eingespeist.

- ⇒ In den Betriebsarten $P_n (\text{IL:3p}) = \text{const.}$ und $P_n (\text{IL:1/2/3p}) = \text{const.}$ wird das Vorzeichen des Einstellwertes P_n entsprechend dem **Erzeugerzählpfeilsystem (EZS)** am Netzanschlusspunkt (NAP) eingestellt. Der angezeigte Wert **Winkel** wird entsprechend um 180° gedreht.
- ⇒ In den Betriebsarten $S_n (\text{IL:3p}) = \text{const.}$ und $S_n (\text{IL:1/2/3p}) = \text{const.}$ bleibt der Einstellwert S_n immer der Betrag der Scheinleistung, d.h. ein positiver Wert. Der angezeigte Wert **Winkel** wird entsprechend um 180° gedreht.

5.6.5 4-Quadranten-Betrieb der Dezentralen Erzeugungsanlage in der P-Q-Ebene

Mit Hilfe der vorzeichenbehafteten Wirkleistung P_n bzw. dem Scheinleistungsbetrag S_n und dem Einstellwert $P < 0$ bzw. $P > 0$ der Auswahlliste sowie des Verschiebungsfaktors $\cos \phi$ mit den Betriebsarten **untererregt** und **übererregt** ist ein Betrieb in allen vier Quadranten der P-Q-Ebene möglich.

- ⇒ Es muss dabei berücksichtigt werden, dass das **Erzeugerzählpfeilsystem (EZS) am Netzanschlusspunkt (NAP)** vorausgesetzt wird.

Daher können mit diesem Modell sowohl Erzeugungsanlagen als auch Batteriespeicher in der Lastflussberechnung berücksichtigt werden.

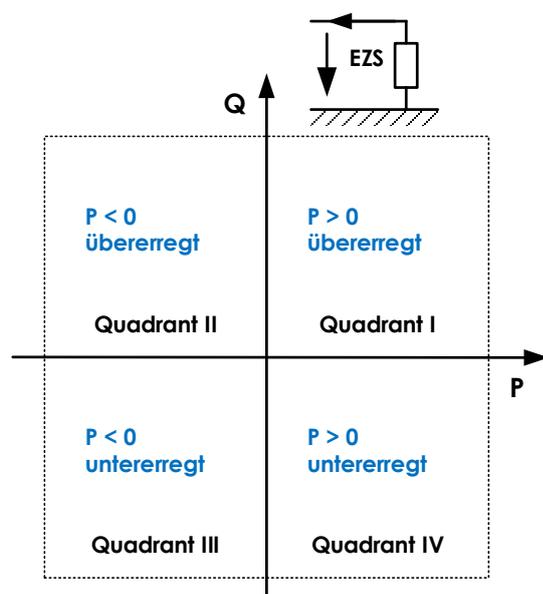
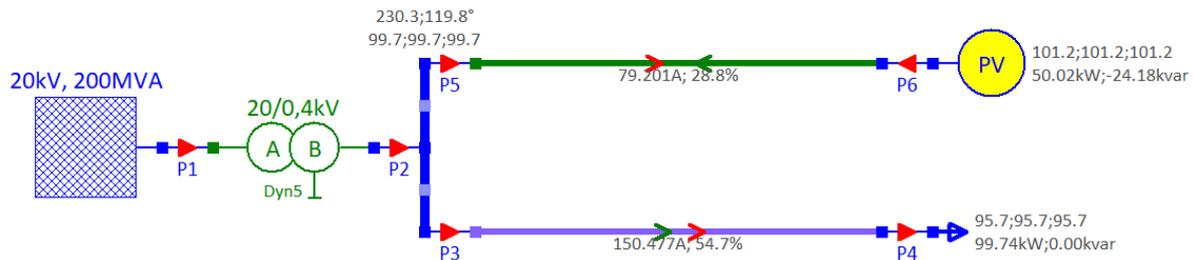


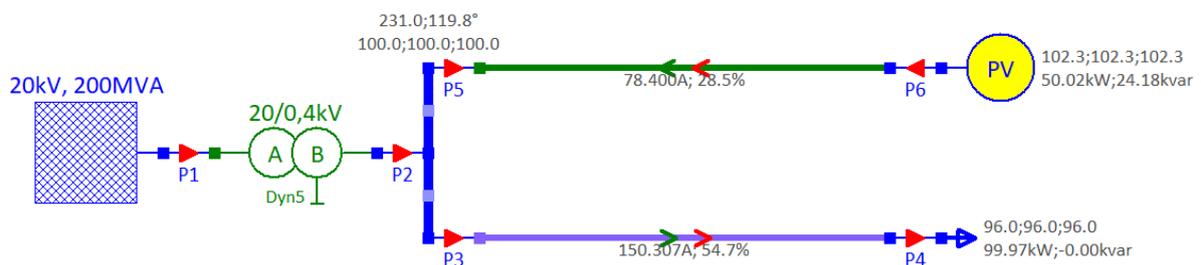
Abbildung 94: 4-Quadranten-Betrieb im Erzeugerzählpfeilsystem (EZS)

Die Wirkleistungs- und Blindleistungsflüsse werden durch die **roten** und **grünen** Pfeile an der Leitung, die zu der **Erzeugungsanlage (DEA)** führt, angezeigt.

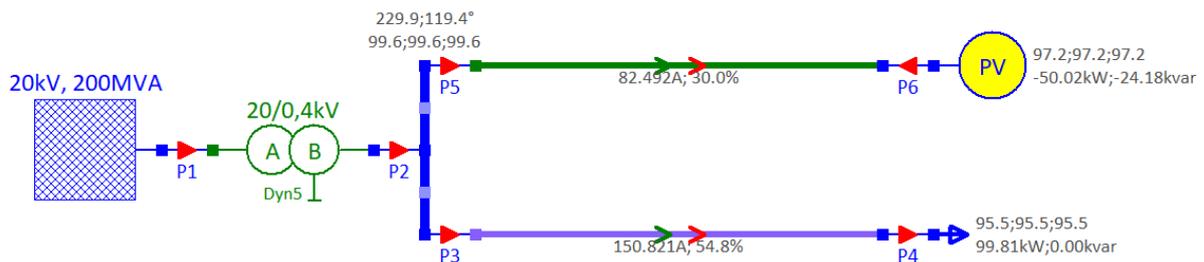
- $P_n = 50\text{kW}$, $\cos \phi = 0,9$, untererregt



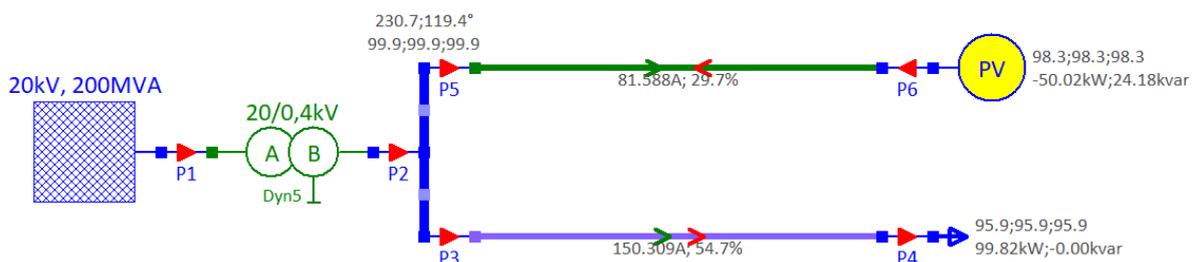
- $P_n = 50\text{kW}$, $\cos \phi = 0,9$, übererregt



- $P_n = -50\text{kW}$, $\cos \phi = 0,9$, untererregt



- $P_n = -50\text{kW}$, $\cos \phi = 0,9$, übererregt



5.6.6 Registerkarte *Interface zu ...*

Das Netzwerkelement **Erzeugungsanlage (DEA)** kann mit einer Schnittstelle (Interface) zu weiteren Berechnungs- und Anzeigefunktionen parametrisiert werden. Der Einstelldialog dazu wird nachfolgend angezeigt.

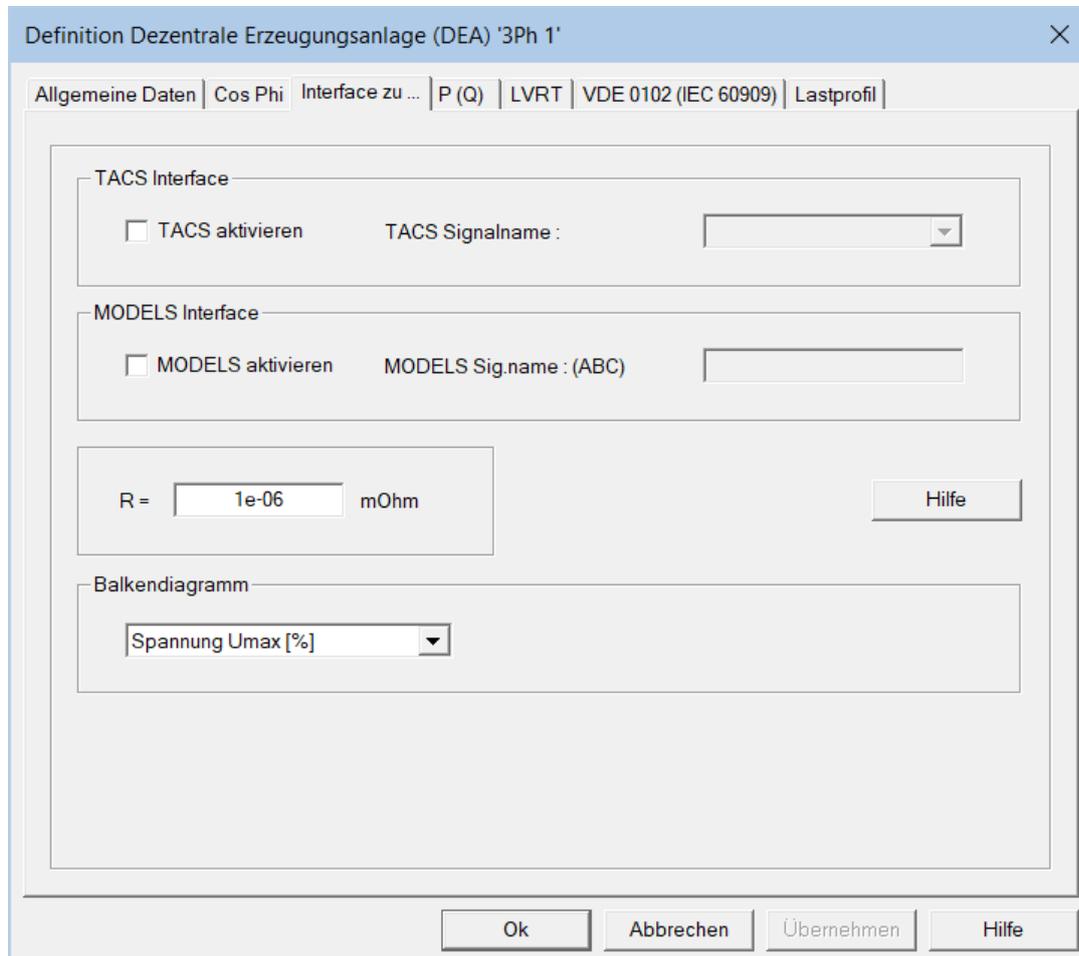


Abbildung 95: Einstelldialog für TACS/MODELS-Interface

5.6.6.1 Interface zu *Balkendiagramm*

Optional können Ergebnisse der **Berechnung stationärer Netzzustände** und hier insbesondere der Lastflussberechnung zusätzlich als Balkendiagramm direkt in der Netzgrafik angezeigt werden. Die Anzeige der Balkendiagramme für **Erzeugungsanlagen (DEA)** muss im Einstelldialog **Einstellung Lastflussberechnung**, Registerkarte **Einstellung Lastflussberechnung** in der Gruppe **Balkenanzeige aktivieren** aktiviert werden.

- Hauptmenü **ATP**
- Menüpunkt **Einstellung Lastflussberechnung**, Registerkarte **Einstellung Lastflussberechnung**

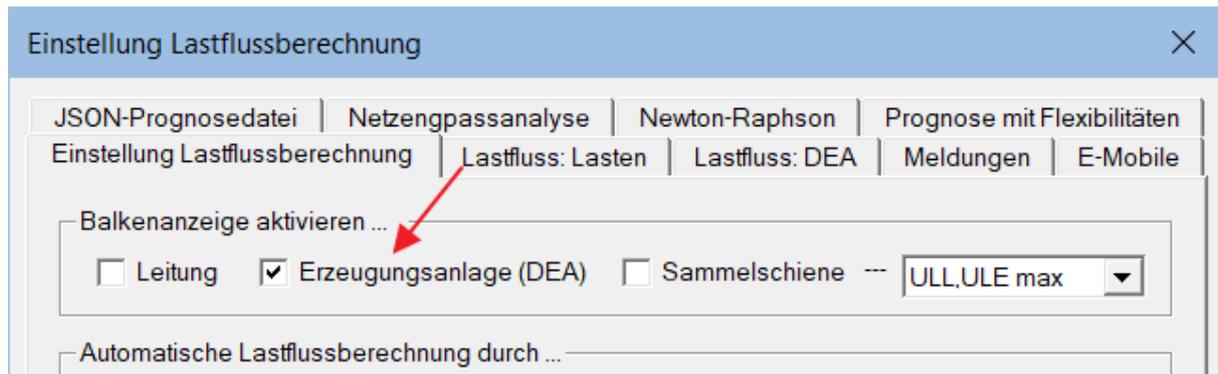


Abbildung 96: Aktivieren der Balkenanzeige in der Netzgrafik

Im Weiteren kann für jedes Netzwerkelement einzeln die Anzeigefunktion des Balkendiagramms eingestellt werden.

Einstellwert	Bedeutung
Ohne	Kein Balkendiagramm
Spannung U_{max} [%]	Betrag der maximalen Leiter-Leiter- oder Leiter-Erd-Spannung
Spannung U_{min} [%]	Betrag der minimalen Leiter-Leiter- oder Leiter-Erd-Spannung
P, S [%]	Betrag der Scheinleistung oder Wirkleistung abhängig von der Betriebsart der Erzeugungsanlage (DEA)
IL [%]	Betrag des größten Einspeisestroms
Sensitivität [%]	ohne Funktion

Die nachfolgende Abbildung zeigt beispielhaft ein Balkendiagramm zu Anzeige des Betrages der maximalen Leiter-Leiter- oder Leiter-Erd-Spannung.

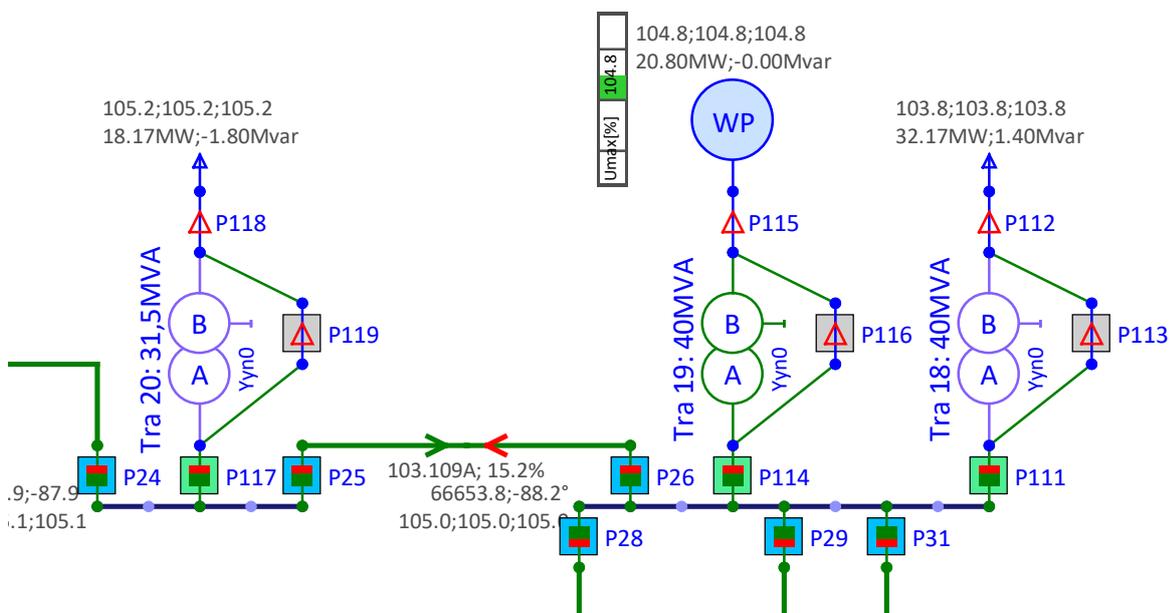


Abbildung 97: Berechnungsergebnisse der Lastflussberechnung als Balkendiagramm

5.6.6.2 Interface zu TACS/MODELS Interface

Strom- oder Spannungsquellen können auch abhängig von Funktionen erzeugt werden, die mit Hilfe von **TACS** oder **MODELS** definiert werden. Dazu muss zunächst die **Betriebsart** in der Registerkarte **Allgemeine Daten** auf **$u(t) = \text{MODELS}$** oder **$i(t) = \text{MODELS}$** eingestellt werden. Die Ausgangsknotennamen der TACS- bzw. MODELS-Funktionen können in dem nachfolgend dargestellten Einstelldialog definiert werden. Die Funktionen sind nur für die **Berechnung dynamischer Netzvorgänge** verfügbar. Zur Entkopplung der idealen Strom- und Spannungsquellen und zur Vermeidung mathematischer Probleme wird in Serie zu den Quellen eine Resistanz R geschaltet.

Einstellwert	Bedeutung
R	Serienwiderstand zur Entkopplung der idealen Strom- und Spannungsquellen vom elektrischen Netzwerk

5.6.7 Spannungssteigerungsschutz U>, Spannungsrückgangsschutz U<

Die Überwachung der Netzspannung am Einspeiseknoten des Netzwerkelementes **Erzeugungsanlage (DEA)** kann mit einem Spannungssteigerungsschutz U> und einem Spannungsrückgangsschutz U< erfolgen. In den Anwendungsrichtlinien wie z.B. VDE-AR-N 4110 [18] wird die Schutzfunktion auch als **Entkopplungsschutz für Erzeugungsanlagen (EZA)** bezeichnet. Die Schutzfunktion wird nur ausgeführt, wenn eine der nachfolgend aufgelisteten Betriebsarten des Netzwerkelementes eingestellt ist.

Spannungsrückgangsschutz U<, Spannungssteigerungsschutz U>

wird nur für die nachfolgenden Betriebsarten ausgeführt:

- In = const.
- Pn (IL:1/2/3p) = const.
- Pn (IL:3p) = const.
- Sn (IL:1/2/3p) = const.
- Sn (IL:3p) = const.

Der U<>-Schutz wird zusammen mit den Schutzfunktionen der **Mess/Schutzgeräte** ausgeführt, analysiert und bewertet. Die Staffelzeiten werden wie die Staffelzeiten der **Mess/Schutzgeräte** behandelt, um das Schutzgerät mit **Generalanregung** und der kleinsten Staffelzeit und daraus folgend einem **AUS-Kommando** zu identifizieren. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt wie für ein **Mess/Schutzgerät** sowohl in der Netzgrafik als auch im Meldungsfenster für **Netzschutzmeldungen**. Die Schutzfunktion wird nur bei konvergenter Lastflussberechnung ausgeführt. Die Einstellwerte der Schutzfunktionen sind nachfolgend dargestellt.

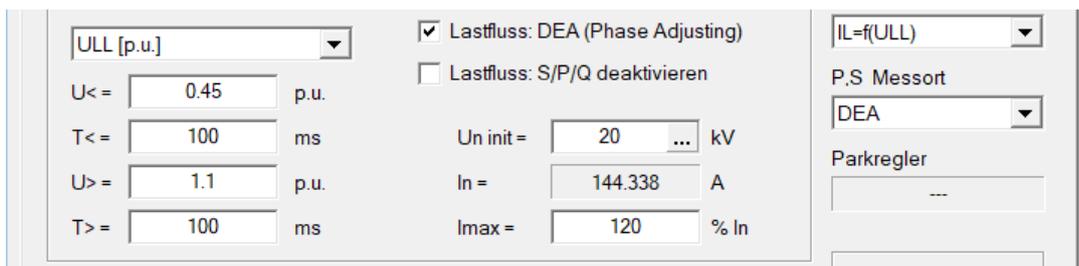


Abbildung 98: Einstellwerte des Über- und Unterspannungsschutzes U<>

Einstellwert	Bedeutung
U_{LE} [kV]	Überwachung des Betrages der Leiter-Erd-Spannungen \underline{U}_{L1} , \underline{U}_{L2} und \underline{U}_{L3}
U_{LL} [kV]	Überwachung des Betrages der Leiter-Leiter-Spannungen \underline{U}_{12} , \underline{U}_{23} und \underline{U}_{31}
U_{LE} [p.u.]	Überwachung des Betrages der Leiter-Erd-Spannungen \underline{U}_{L1} , \underline{U}_{L2} und \underline{U}_{L3} . ▪ Einheit: 1 p.u. = $U_{n \text{ init}}/\sqrt{3}$
U_{LL} [p.u.]	Überwachung des Betrages der Leiter-Leiter-Spannungen \underline{U}_{12} , \underline{U}_{23} und \underline{U}_{31} . ▪ Einheit: 1 p.u. = $U_{n \text{ init}}$

Mit Hilfe der Auswahlliste in der vorhergehenden Abbildung kann festgelegt werden, ob der U<>-Schutz die Beträge der Leiter-Leiter- oder der Leiter-Erd-Spannungen überwacht. Darüber hinaus wird die Einheit der Einstellwerte in kV oder in p.u. festgelegt.

- ⇒ Es muss beachtet werden, dass das Netzwerkelement **Erzeugungsanlage (DEA)** nicht in der Lage ist, wie das **Mess/Schutzgerät** einen externen **Leistungsschalter (Switch)** anzusteuern und zu öffnen oder zu schließen.

Der U<>-Schutz wird in der allgemeinen Netzschutzanalyse berücksichtigt. So ist es möglich, dass der U<>-Schutz einer **Erzeugungsanlage (DEA)** vor allen anderen Schutzfunktionen der **Mess/Schutzgeräte** ein AUS-Kommando generiert und den in der Netzgrafik nicht sichtbaren internen Schalter öffnet, d.h. die **Erzeugungsanlage (DEA)** vom Stromnetz entkuppelt.

- ⇒ Der Spannungssteigerungs- und Spannungsrückgangsschutz kann im Sinne der Anwendungsrichtlinien wie z.B. VDE-AR-N 4110 [18] als **einstufiger Entkuppelungsschutz** verwendet werden.
- ⇒ Ist ein **mehrstufiger Entkuppelungsschutz** erforderlich, so muss ein der Entkuppelungsschutz durch ein eigenes **Mess/Schutzgerät** realisiert werden. In diesem Fall wird empfohlen, den Entkuppelungsschutz durch den Einstellwert **Betriebsmittel** des **Mess/Schutzgerätes** mit der **Erzeugungsanlage (DEA)** zu verbinden.

Spannungssteigerungs- und Spannungsrückgangsschutz können nur über die Wahl geeigneter Einstellwerte deaktiviert werden. Nachfolgend die empfohlenen Einstellwerte.

- Spannungssteigerungsschutz U> deaktivieren: $U> = 1.0E^{15}$
- Spannungsrückgangsschutz U< deaktivieren: $U< = -1.0$

In der nachfolgenden Abbildung ist beispielhaft die Einstellung des Spannungsrückgangsschutzes U< als Entkuppelungsschutz dargestellt.

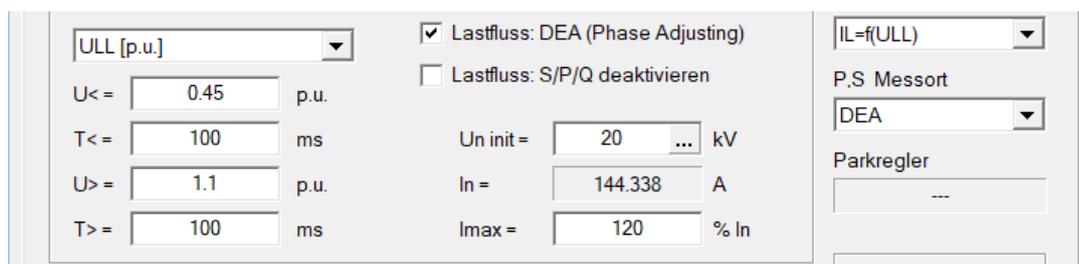


Abbildung 99: Spannungsrückgangsschutz U< als Entkuppelungsschutz

Der Spannungsrückgangschutz erkennt den Kurzschluss und entkuppelt die **Erzeugungsanlage (DEA)** mit der eingestellten Staffelzeit $T_{U<} = 100\text{ms}$. Die Staffelzeiten der **Mess/Schutzgeräte** wurden in dem Beispiel entsprechend größer gewählt.

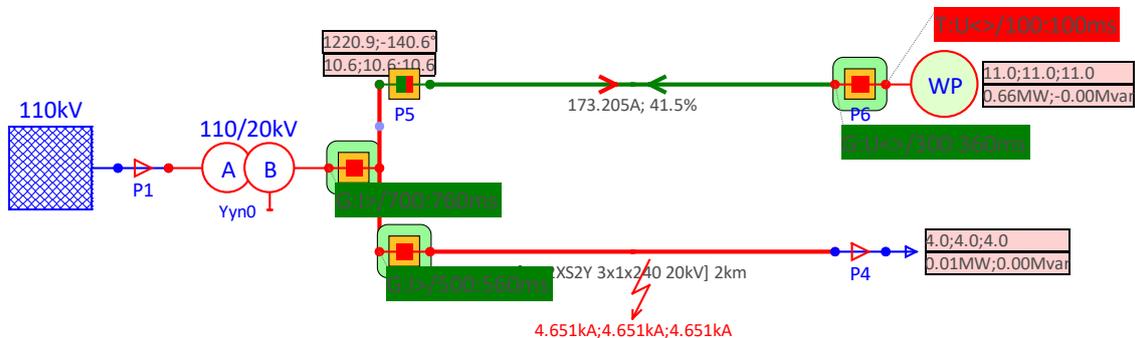


Abbildung 100: Entkuppelungsschutz einer Erzeugungsanlage (DEA)

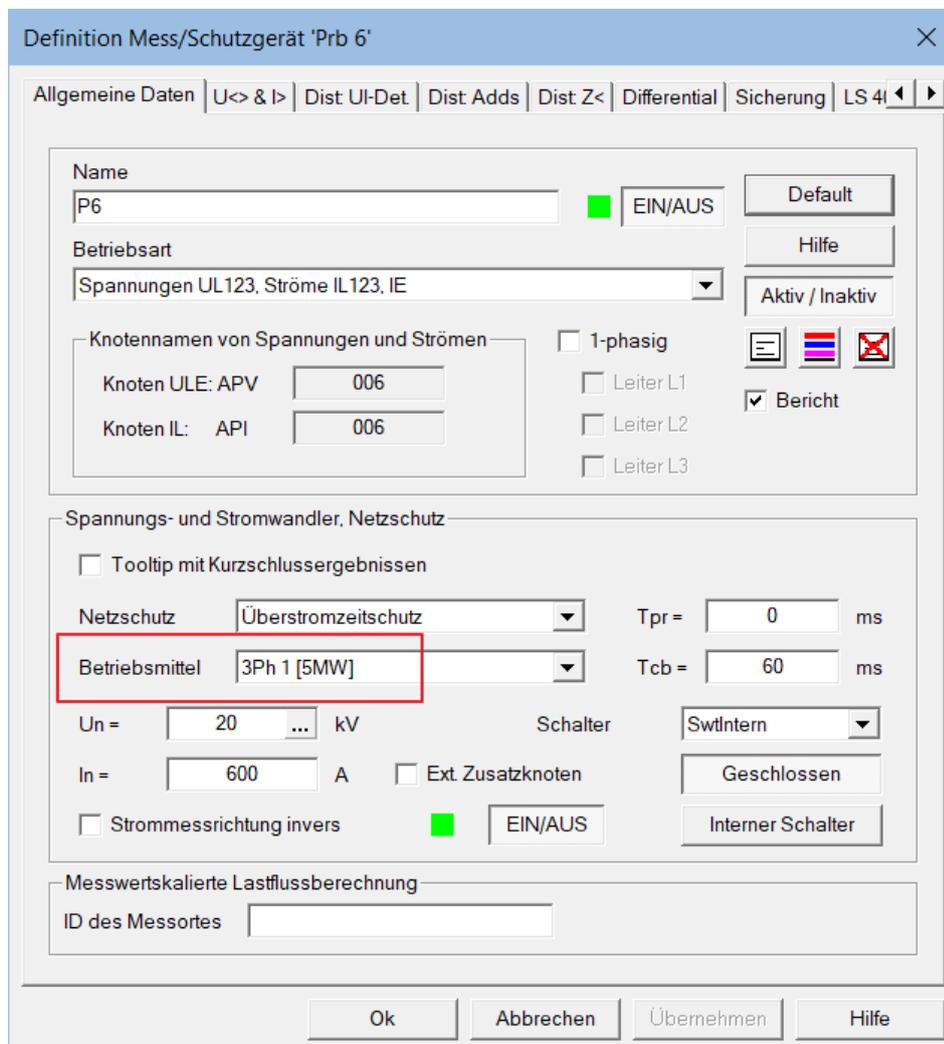


Abbildung 101: Mess/Schutzgerät als Entkuppelungsschutz – mit Erzeugungsanlage verbinden

Alternativ kann der interne U<>-Schutz der **Erzeugungsanlage (DEA)** deaktiviert und ein externes **Mess/Schutzgerät** als **mehrstufiger Entkupplungsschutz** verwendet werden. Dazu muss im ersten Schritt wie die vorangehende Abbildung zeigt das **Mess/Schutzgerät** mit der **Erzeugungsanlage (DEA)** als zu schützendes Betriebsmittel verbunden werden. In der Auswahlliste des Einstellwertes **Betriebsmittel** wird Name und Referenzname der **Erzeugungsanlage (DEA)** ausgewählt. Als **Schutzfunktion** wird **Überstromzeitschutz** empfohlen. Der U<>-Schutz kann als unabhängiger Entkupplungsschutz auch mit anderen Schuttfunktionen ausgeführt werden.

Der zweistufige Entkupplungsschutz wird für die Schutzfunktion **Überstromzeitschutz** in der Registerkarte **U<> & I>** eingestellt. Alle anderen Schutzfunktionen bleiben durch die Wahl der Grundeinstellung deaktiviert. Der Unterspannungs- und Überspannungsschutz wird unabhängig von den anderen Schutzfunktionen der Hauptschutzfunktion **Überstromzeitschutz** ausgeführt. Die nachfolgende Abbildung zeigt beispielhaft einen zweistufigen Entkupplungsschutz.

- $U< = 0.45$ p.u., $T_{U<} = 300$ ms
- $U<< = 0.8$ p.u., $T_{U<<} = 800$ ms

Definition Mess/Schutzgerät 'Prb 6'

Allgemeine Daten | **U<> & I>** | Dist UI-Det | Dist Adds | Dist Z< | Differential | Sicherung | LS 4 |

Fehlerrichtung:

I> = 1000 In TI> = 300 ms

IE> = 1000 In TIE> = 100 ms

U> = 1000 ULEn TU> = 100 ms

U< = -1 ULEn TU< = 100 ms

Nr.	EIN	I> [p.u.]	t [ms]	U< [p.u.]	Dir.	Dir.
1	1	1000	300	-1	0	Ungerichtet
2	0	1000	200	-1	0	Ungerichtet
3	0	1000	300	-1	0	Ungerichtet

Fehlerrichtungserkennung

Ungerichtet Char.Winkel Char. Winkel

ø1 = 89.9 ø2 = -89.9 Hilfe

AMZ-Schutz (IDMT) IL >= 2/3 ILmax

Unter- und Überspannungsschutz

Nr.	EIN	U< [p.u.]	TU< [ms]	EIN	U> [p.u.]	TU> [ms]	Betriebsart
1	1	0.45	300	0	1000	100	ULE
2	1	0.8	800	0	1000	100	ULE
3	0	-1	100	0	1000	100	ULE

Ok Abbrechen Übernehmen Hilfe

Abbildung 102: Mess/Schutzgerät als zweistufiger Entkupplungsschutz

In der nachfolgenden Abbildung ist die Arbeitsweise des Unterspannungsschutzes als Entkopplungsschutz erkennbar. Das **Mess/Schutzgerät P6** entkoppelt die **Erzeugungsanlage (DEA)** nach einer Staffelzeit $T_{U<} = 300\text{ms}$ und öffnet den internen Schalter.

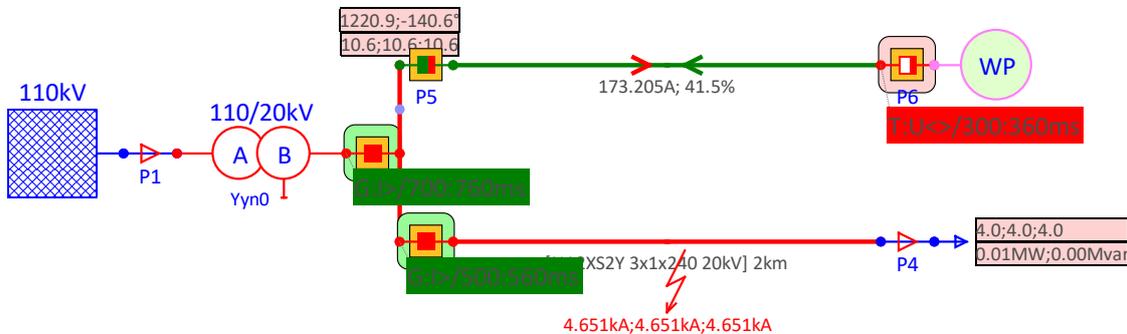


Abbildung 103: Entkopplungsschutz einer Erzeugungsanlage (DEA) – 1. Kaskadenschritt

Wird die Netzschutzanalyse mit einer Kaskadenanalyse fortgesetzt, so wird der Kurzschluss im 2. Kaskadenschritt durch den Überstromzeitschutz **P3** mit einer Staffelzeit $T_{I>} = 500\text{ms}$ ausgelöst. Die **Erzeugungsanlage (DEA)** wurde automatisch deaktiviert, da sie vom Stromnetz entkoppelt wurde.

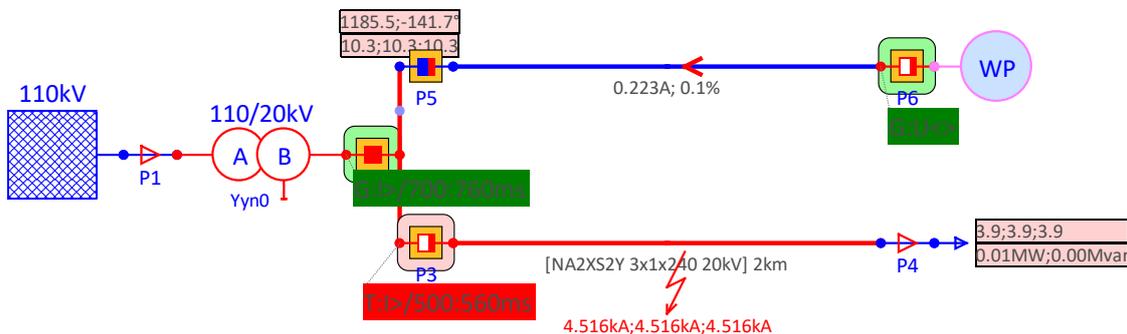


Abbildung 104: Entkopplungsschutz einer Erzeugungsanlage (DEA) – 2. Kaskadenschritt

Wie in der nachfolgenden Abbildung erkennbar ist, wird im 3. Kaskadenschritt der Kurzschluss als allseitig und allpolig vom Stromnetz getrennt erkannt.

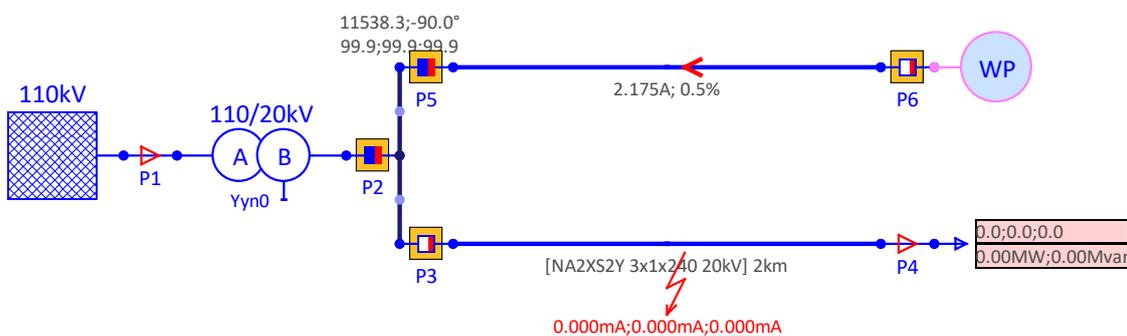


Abbildung 105: Entkopplungsschutz einer Erzeugungsanlage (DEA) – 3. Kaskadenschritt

5.6.7.1 U<>: Meldungsfenster für Netzschutzfunktionen

Im **Meldungsfenster für Netzschutzfunktionen** werden für die Schutzfunktionen detaillierte Meldungen und Berechnungsergebnisse ausgegeben. Mit Hilfe der Meldungen können die Reaktionen der Netzschutzgeräte analysiert und nachvollzogen werden, Nachfolgend sind als Beispiel die Meldungen der Erzeugungsanlage (DEA) für eine 2-poligen Kurzschluss.

Bezeichner	Bedeutung, Schutzfunktion
PROT>	Meldung einer Schutzfunktion
{Name} [Prb x]	Anwenderspezifischer Name und Referenzname des Mess/Schutzgerätes
GEN	Generalanregung (0 = inaktiv, 1 = aktiv)
AUS	AUS-Kommando (0 = inaktiv, 1 = aktiv)
U>	Überspannungsschutz (Spannungssteigerungsschutz)
TU>	Staffelzeit Überspannungsschutz
U<	Unterspannungsschutz (Spannungsrückgangsschutz)
TU<	Staffelzeit Unterspannungsschutz
ULL	Leiter-Leiter-Spannung
ULE	Leiter-Erd-Spannung
0	Meldung: Inaktiv, Geht (= FALSE)
1	Meldung: Aktiv, Kommt (= TRUE)
G(L1L2L3)	Meldung: ODER-Verknüpfung der leiterselektiven Anregungen L1, L2, L3 zur Generalanregung G
1p.u.=...	Wert der Referenzspannung

Es muss beachtet werden, dass in den Ausgaben neben den Meldungen auch Mess- bzw. Berechnungswerte und Einstellwerte ausgegeben werden. Die Einstellwerte werden nach dem AUS-Kommando „... AUS=0:“ ausgegeben und können i.a. Regel daran erkannt werden, dass ein numerischer Wert mit physikalischer Einheit zugewiesen wird.

Meldungen und Einstellwerte des U<>-Schutzes

PROT> 50kW [3Ph 1] ULL [p.u.] GEN=0 [U>=0(000), U<=0(000)] TRIP=0: U<=0.45p.u., TU>=100ms, 1p.u.=20kV, U>=1.1p.u., TU>=100ms, 1p.u.=30kV

Liste der Schutzfunktionen mit AUS-Kommando oder Blockade-Signal

PROT> Schutzfunktion mit AUS-Kommando oder Blockade-Signal
 PROT> 50kW [3Ph 1] GEN=1 TRIP=1 >>> T:U<>/100:100ms

Kleinste erkannte Kommandozeit

PROT> Kleinste erkannte AUS-Kommandozeit T:100ms

5.6.8 Maximal zulässiger Einspeisestrom I_{max} , Nennstrom I_n

Einstellwert	Bedeutung
I_{max}	Maximal zulässiger Betrag des Leiterstroms [% des Nennstroms I_n]
I_n	Nennstrom der Stromquelle

$$I_n = \frac{S_n / N}{U_{n\,init} / \sqrt{3}}$$

- S_n (IL:1/2/3p) = const., P_n (IL:1/2/3p) = const. : $N = 1,2,3$
- S_n (IL:3p) = const., P_n (IL:3p) = const. : $N = 3$

5.6.9 Registerkarte CosPhi: Blindleistungsbereitstellung im Normalbetrieb

Die [Bereitstellung von Blindleistung der Dezentralen Erzeugungsanlage im Normalbetrieb](#) kann mit einem [konstanten Verschiebungsfaktor \$\cos \varphi\$](#) oder von Kennlinien erfolgen. Die Betriebsart muss in der Registerkarte **Allgemeine Daten** mit dem Einstellwert **Betriebsart cos phi** in der Gruppe **Verschiebungsfaktor** eingestellt werden.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Einstellwerte der Registerkarte **Cos Phi** zur Einstellung der ausgewählten Kennlinie. Die Einstellwerte definieren die Stützstellen der Kennlinie zur Bereitstellung der Blindleistung in Anlehnung an die Anwendungsrichtlinien **VDE-AR-N 4110/4120** [18],[30] bzw. der BDEW-Empfehlung **MSR2008** [4]. Für jede Stützstelle wird die Betriebsart übererregt oder untererregt eingestellt.

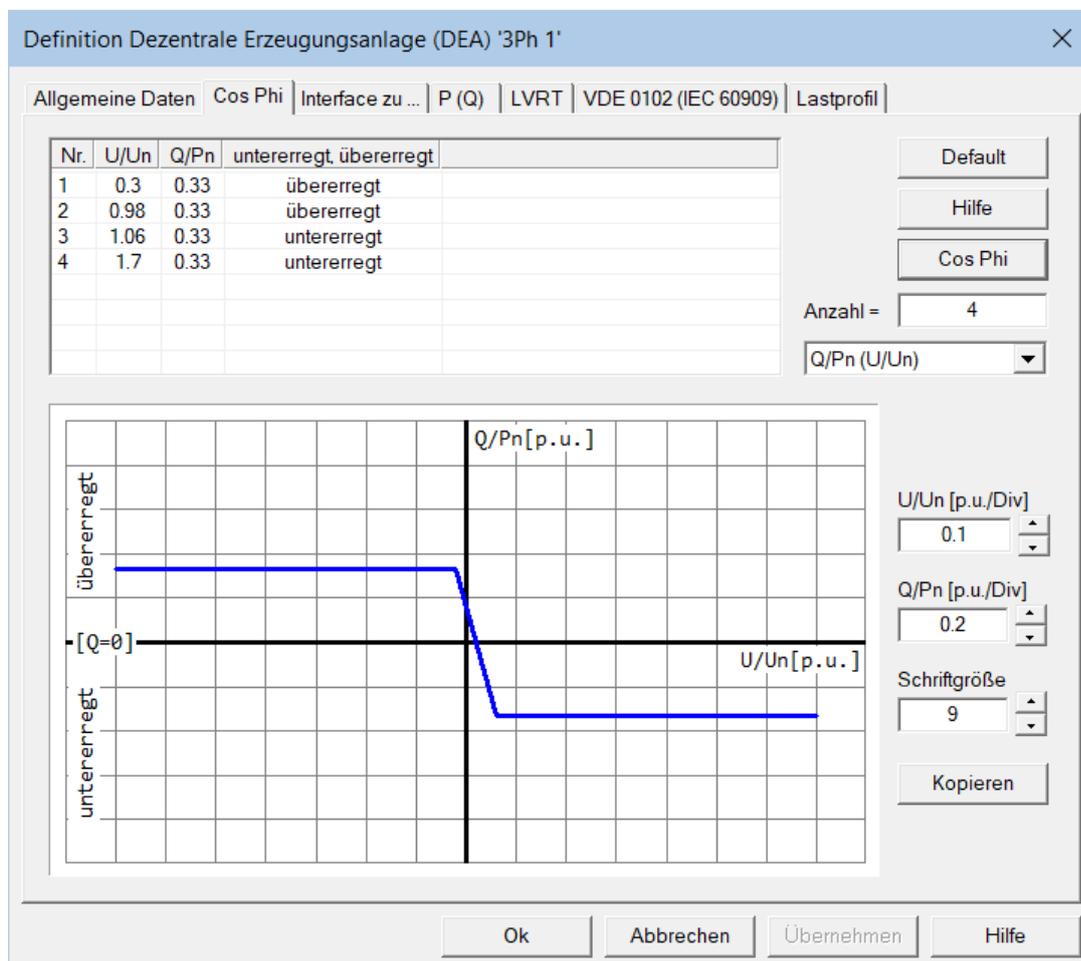
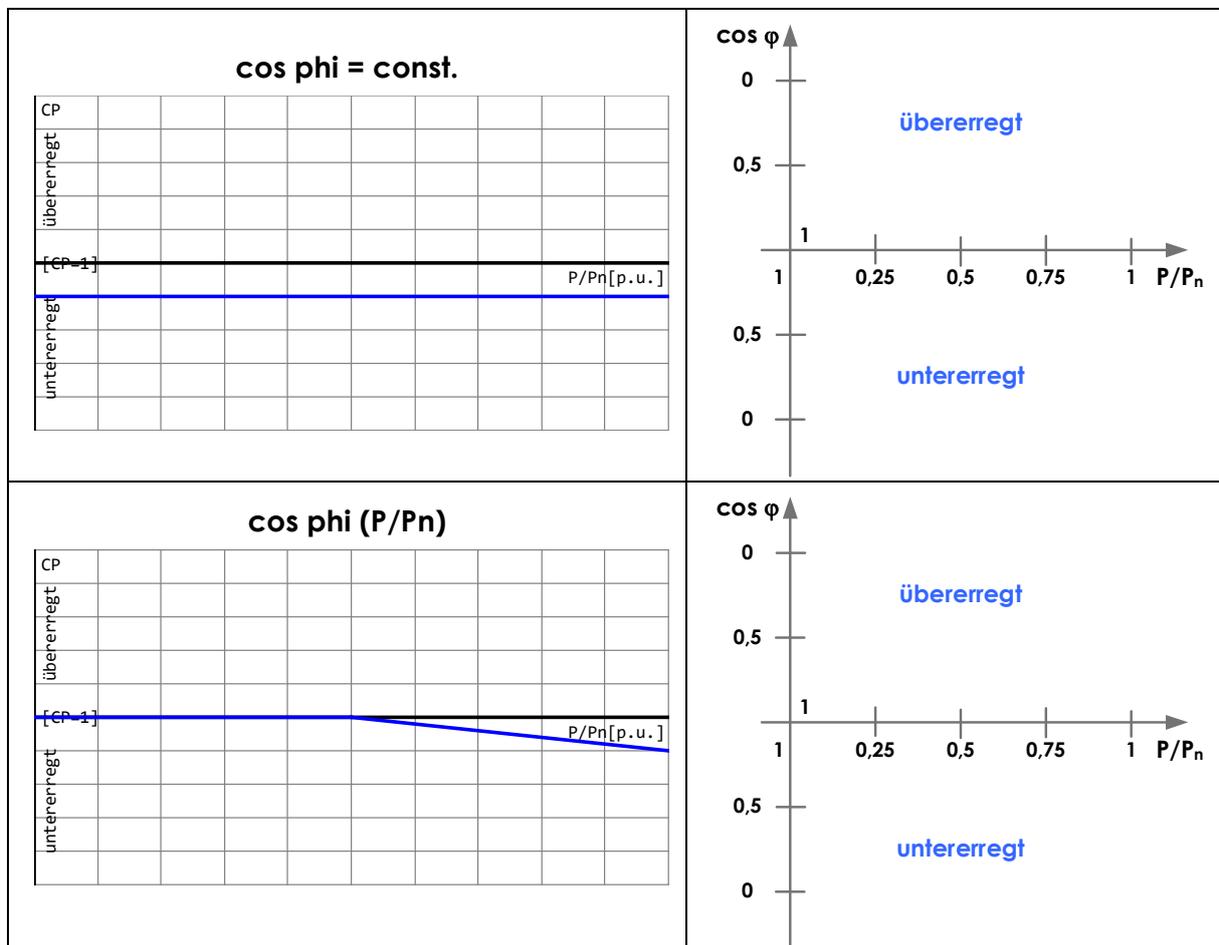


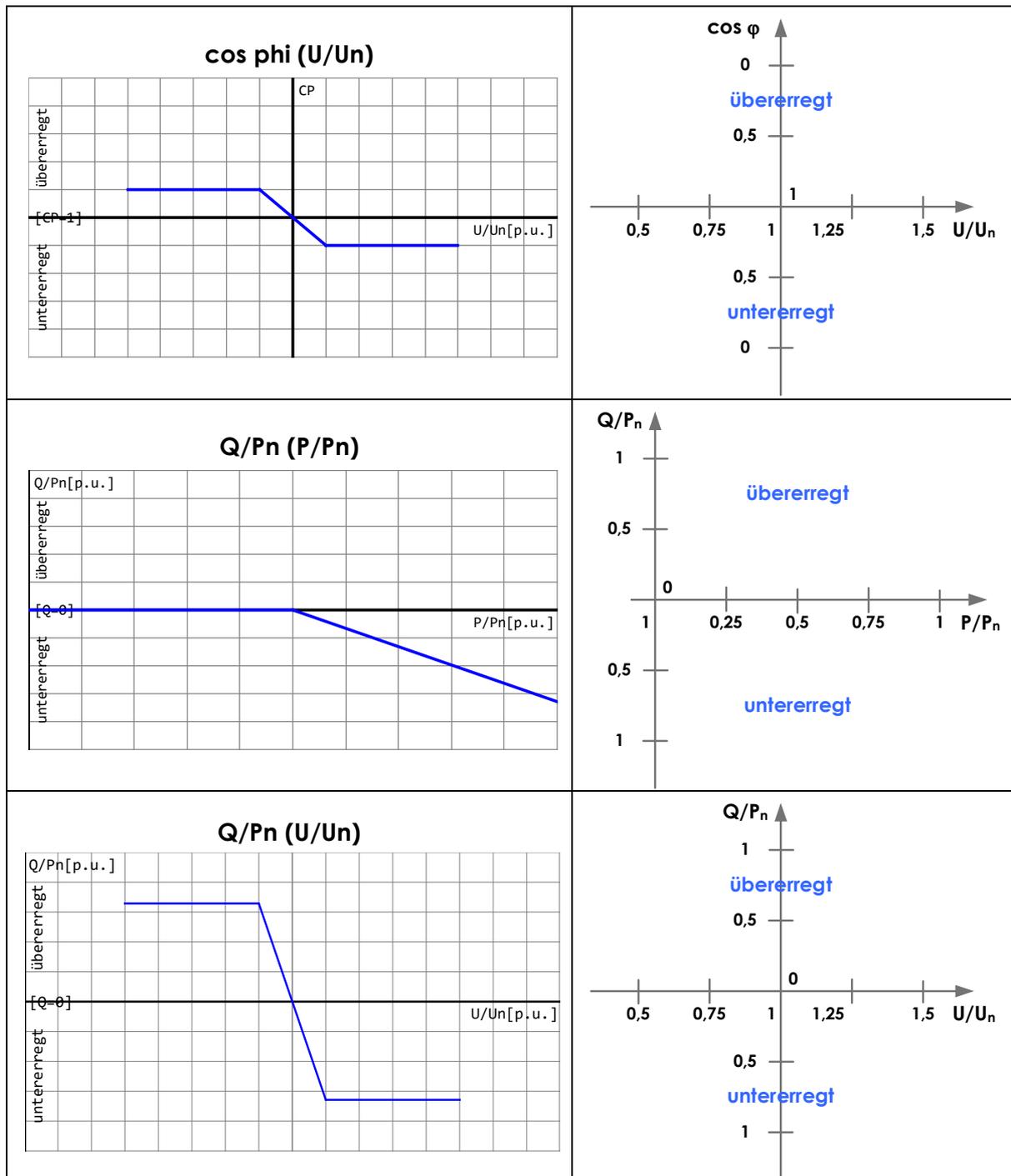
Abbildung 106: Registerkarte Cos Phi

Einstellwert	Bedeutung
Anzahl	Anzahl Zeilen der Tabelle
P/Pn [p.u./Div]	Skalierung der X-Achse des Diagramms
U/Un [p.u./Div]	Skalierung der X-Achse des Diagramms
CP [p.u./Div]	Skalierung der Y-Achse des Diagramms

Q/Pn [p.u./Div]	Skalierung der Y-Achse des Diagramms
Schriftgröße	Schriftgröße des Diagramms in Pixel
Kopieren	Diagramm als Bilddatei (EMF-Datei) in die Zwischenablage kopieren
Q/Pn (U/Un)	In der Auswahlliste kann die Betriebsart der Blindleistungsbereitstellung im Normalbetrieb eingestellt werden. Der Einstellwert ist identisch mit dem Einstellwert Betriebsart cos phi in der Registerkarte Allgemeine Daten .
Cos Phi	Mit einem Left Mouse Button Click wird eine typische Kennlinie für die Blindleistungsbereitstellung in die Tabelle eingelesen und das Diagramm aktualisiert.

Es muss beachtet werden, dass abhängig von der ausgewählten Kennlinie unterschiedliche Diagramme mit unterschiedlichen Achsenskalierungen und Achsenpositionen verwendet werden. Auch die Überschriften der Tabellenspalten können sich abhängig von der eingestellten Kennlinie ändern.





In der Tabelle werden die Punkte der Kennlinie im Sinne eines Polygonzuges mit mehreren Stützstellen z.B. $[P/P_n, \cos \phi]$ definiert. Abhängig vom Eingangswert identifiziert das Verfahren zuerst das Intervall des Polygonzuges, d.h. die beiden dieses Intervall begrenzenden Punkte der Kennlinie. Zwischenwerte innerhalb des Intervalls werden durch eine Geradengleichung berechnet, d.h. linear interpoliert.

Für jede Stützstelle z.B. $[P/P_n, \cos \phi]$ muss zusätzlich eingestellt werden, ob die Stützstelle der Kennlinie für die Betriebsart **übererregt = 1** oder **untererregt = 0** definiert ist. Geht die Betriebsart von einer Stützstelle der Kennlinie zur nächsten vom übererregten in den untererregten Betrieb oder umgekehrt, so berücksichtigt das Verfahren diesen Übergang durch lineare Interpolation.

Beispielhaft ist in der nachfolgenden Abbildung die in der Anwendungsregel VDE-AR-N 4105 empfohlene Kennlinie dargestellt.

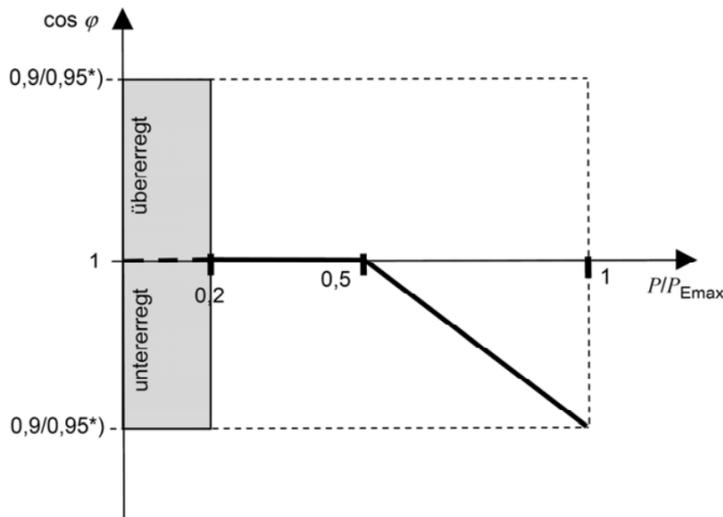


Abbildung 107: Kennlinie des Verschiebungsfaktors nach VDE-AR-N 4105 (Beispiel)

Bei der Berechnung des Verschiebungsfaktors $\cos \varphi$ durch ATPDesigner wird der Einstellwert s der Funktion [Lastfluss: DEA](#) berücksichtigt.

1. Teilleistungsfaktor $s = 100\%$

Die Konstantleistungsquelle speist mit 100% der im Einstelldialog nach Abbildung 87 definierten Wirk- oder Scheinleistung ins elektrische Netz ein. Für $s = 100\%$ gilt $P/P_n = s/100\% = 1$ oder $S/S_n = s/100\% = 1$.

2. Teilleistungsfaktor $0\% \leq s < 100\%$

ATPDesigner berechnet den Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ für $P/P_n = s/100\% < 1$ oder $S/S_n = s/100\% < 1$.

Abhängig von dem Einstellwert der Eingangsgröße P/P_n bzw. S/S_n berechnet das Netzberechnungsprogramm ATPDesigner vor jeder Netzberechnung der iterativen Lastflussberechnung den gültigen Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$. Dieses Verhalten ist insbesondere bei der Auswahl der Betriebsart $\cos \varphi = f(U/U_n)$ wichtig, da sich die Netzspannung am Netzanschlusspunkt (NAP) der **Erzeugungsanlage (DEA)** sich nach jeder Netzberechnung der Lastflussberechnung ändert.

5.6.10 Registerkarte **P(Q)** - Wirk- und Blindleistungskennlinie **P(Q)**

Mit Hilfe der Einstellwerte der Registerkarte **P(Q)** kann der Bemessungswert der Scheinleistung S_r für den Betrieb als Quelle konstanter Scheinleistung oder konstanter Wirkleistung eingestellt werden. Darüber hinaus ist es möglich, den zulässigen **P(Q)**-Arbeitsbereich durch einen Polygonzug im Sinne einer Grenzkennlinie zu definieren. Die Überprüfung, ob ein Arbeitspunkt $[Q, P]$ innerhalb der **P(Q)**-Grenzkennlinie oder auf der **P(Q)**-Grenzkennlinie liegt, erfolgt nur im Rahmen einer [Lastflussberechnung](#) für die Betriebsarten der **Erzeugungsanlage (DEA)** als Quelle konstanter Scheinleistung S_n oder Wirkleistung P_n .

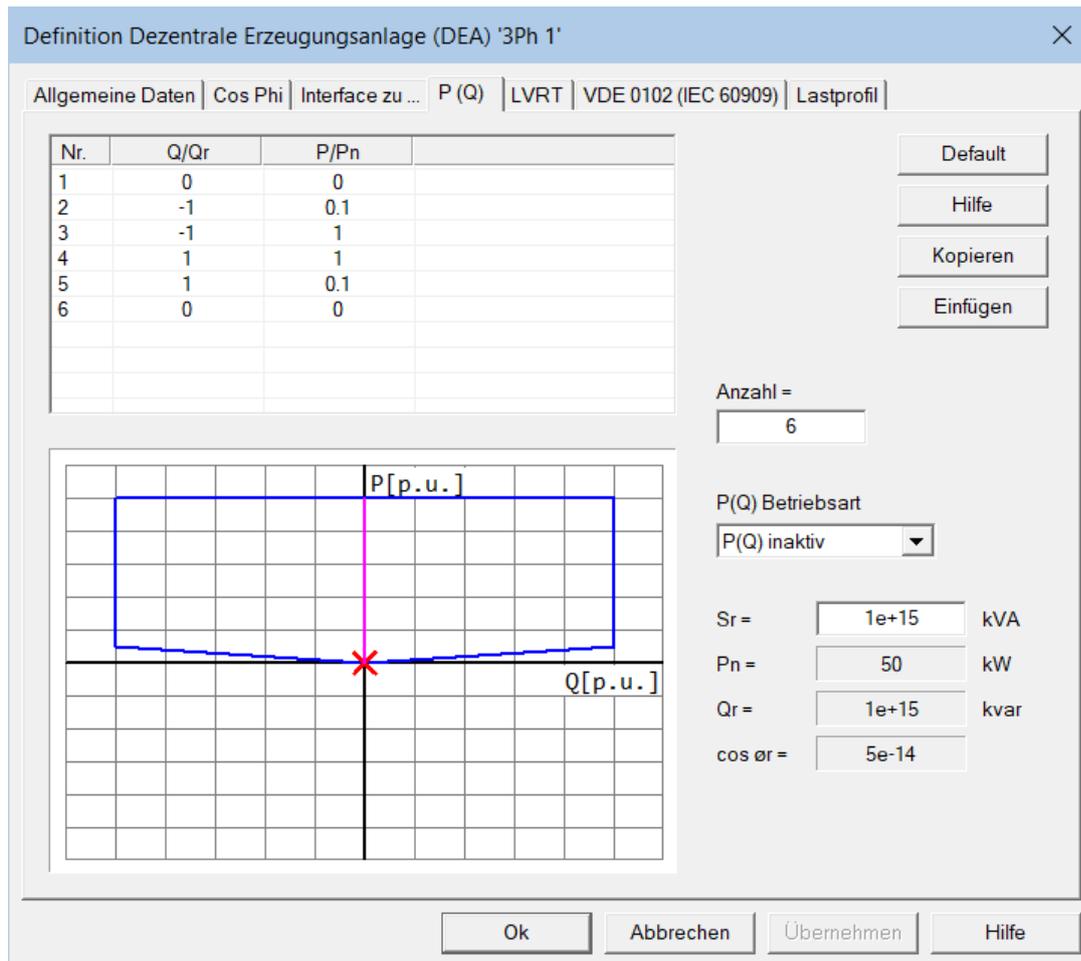


Abbildung 108: Wirk-/Blindleistungskennlinie P(Q)

Die Einstellmöglichkeiten und Bedeutungen einiger Einstellwerte sind von der Betriebsart der Erzeugungsanlage, die in der Registerkarte [Allgemeine Daten](#) eingestellt werden kann, abhängig. Die Kennlinie wird in einem Diagramm dargestellt.

Einstellwert	Bedeutung
Anzahl	Anzahl Eckpunkte (Stützstellen) der P(Q)-Kennlinie
Grenzkennlinie Q/Qn, P/Pn	Die Wertepaare [Q/Qn, P/Pn] definieren die Eckpunkte eines Polygonzuges zur Definition der zulässigen P(Q)-Arbeitsfläche.
Kopieren	Die P(Q)-Kennlinie, die in der Tabelle im Einstelldialog in obiger Abbildung dargestellt ist, wird im Sinne einer .csv-Datei in die Zwischenablage zur weiteren Verwendung z.B. in Excel kopiert.
	No ; Q/Qn ; P/Pn 1 ; -0,25 ; 0 2 ; -0,75 ; 0,25 3 ; -0,9 ; 0,8 4 ; 0,9 ; 0,8 5 ; 0,75 ; 0,25 6 ; 0,25 ; 0
Einfügen	
P(Q) Betriebsart	Betriebsart für das Diagramm
Sr	Bemessungs-Scheinleistung

P_n	Nennwirkleistung
Q_r	Bemessungs-Blindleistung $Q_r = \sqrt{S_r^2 - P_n^2}$
cos Ø_r	Bemessungs-Verschiebungsfaktor $\cos \varphi_r = \frac{P_n}{S_r}$ Der Bemessungs-Verschiebungsfaktor ist für Erzeugungsanlagen in aller Regel von dem Nenn-Verschiebungsfaktor in der Registerkarte Allgemeine Daten verschieden.

5.6.10.1 Anzeige der P(Q)-Kennlinie und der Arbeitspunkte in einem Diagramm

Das Diagramm in Abbildung 109 zeigt die Grundeinstellung der P(Q)-Kennlinie, Es muss hier beachtet werden, dass sowohl die Wirkleistung P als auch die Blindleistung Q in p.u. angezeigt werden. Die Bezugswerte von P und Q sind dabei verschieden.

$$P[p.u.] = \frac{P}{P_n} \quad \text{und} \quad Q[p.u.] = \frac{Q}{Q_r}$$

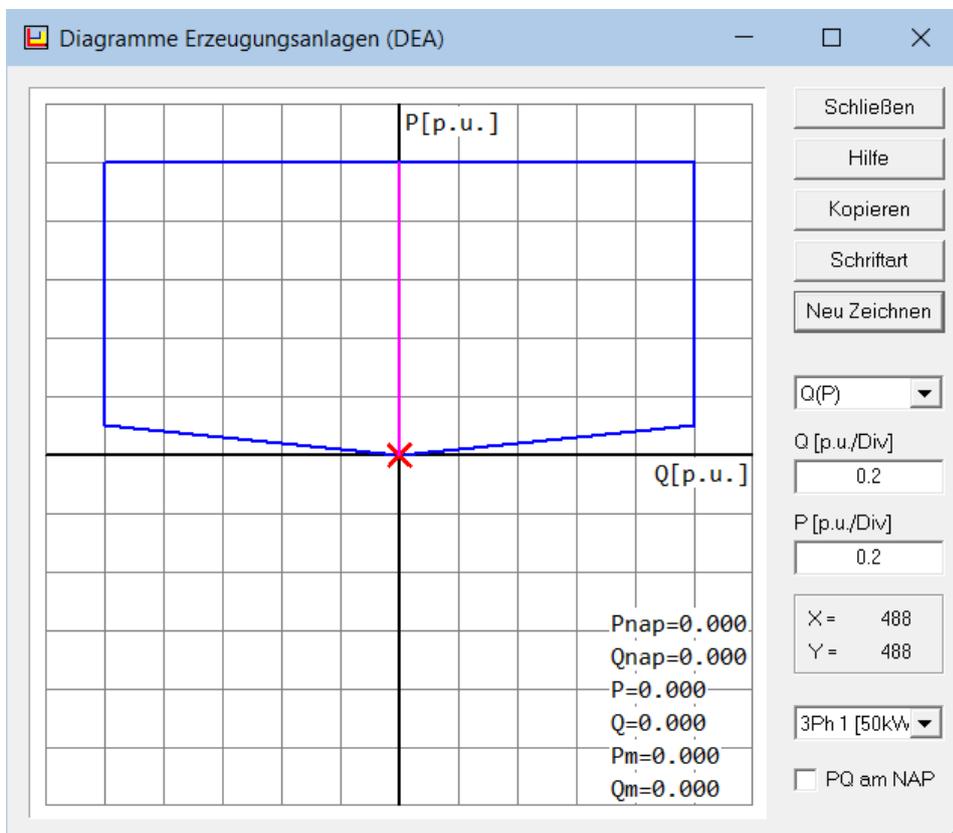


Abbildung 109: P(Q)-Kennlinie einer Erzeugungsanlage (DEA)

Aus der Bemessungsscheinleistung S_r und der Nennwirkleistung P_n wird die zulässige Nennblindleistung Q_r und der Verschiebungsfaktor $\cos \varphi_r$ berechnet. Die berechneten Nenndaten werden bei der Überprüfung der P(Q)-Kennlinie verwendet. Das Diagramm kann wie folgt geöffnet werden.

- Hauptmenü **Diagramme**
- Menüpunkt **Diagramme für Erzeugungsanlage (DEA)**
- Toolbar-Schalter 

Es ist hier zu beachten, dass der oben dargestellte Dialog parallel zum Hauptfenster von ATPDesigner geöffnet bleibt. Der P(Q)-Arbeitspunkt, der als Ergebnis der Lastflussberechnung ermittelt wird, wird durch eine **rote Linie mit Kreuz** gekennzeichnet.

5.6.10.2 P(Q)-Betriebsart für das Diagramm

Mit diesem Einstellwert kann die Betriebsart der P(Q)-Kennlinie im Verlauf der Lastflussberechnung ausgewählt werden. Liegt die Betriebsart nach Abschluss der iterativen Lastflussberechnung außerhalb der P(Q)-Kennlinie, so wird das grafische Symbol der **Erzeugungsanlage (DEA)** rot eingefärbt.

Einstellwert	Bedeutung
P(Q) inaktiv	Die P(Q)-Kennlinie wird nicht verwendet.
P(Q) aktiv	Im Verlauf der iterativen Lastflussberechnung wird nach jedem Iterationsschritt geprüft, ob der berechnete P(Q)-Arbeitspunkt innerhalb der polygonalen P(Q)-Kennlinie (inkl. der Grenzkennlinie) liegt. Die Ergebnisse werden für jeden Iterationsschritt in der Ausgabedatei Lastfluss: Ergebnisdatei für DEA gespeichert und im Meldungsfenster ausgegeben.

5.6.10.3 Registerkarte P(Q) und P(Q)-Kennlinie: $P_n(IL:3p) = const.$

Ist in der Registerkarte [Allgemeine Daten](#) die Betriebsart **$P_n(IL:3p) = const.$** eingestellt, so werden die Werte in der Registerkarte **P(Q)** nach Eingabe der Bemessungs-Scheinleistung S_r wie folgt definiert bzw. berechnet.

- Die **Bemessungs-Scheinleistung S_r** wird eingestellt.
- Die **Nennwirkleistung P_n** wird aus dem der Registerkarte [Allgemeine Daten](#) übernommen.
- Die **Bemessungs-Blindleistung Q_r** und der **Bemessungs-Verschiebungsfaktor $\cos \varphi_r$** werden berechnet.

$$Q_r = \sqrt{S_r^2 - P_n^2} \quad \text{und} \quad \cos \varphi_r = \frac{P_n}{S_r}$$

Die Bemessungs-Scheinleistung sollte so gewählt werden, dass der Nennarbeitspunkt der Erzeugungsanlage (DEA), der aus den beiden Einstellwerten Nennwirkleistung P_n und Nenn-Verschiebungsfaktor **$\cos \varnothing_n$** der Registerkarte **Allgemeine Daten** berechnet wird.

5.6.10.4 Registerkarte P(Q) und P(Q)-Kennlinie: Betriebsart $S_n(IL:3p) = const.$

Ist in der Registerkarte [Allgemeine Daten](#) die Betriebsart $S_n(IL:3p) = const.$ eingestellt, so werden die Werte in der Registerkarte **P(Q)** wie folgt definiert bzw. berechnet.

- Die **Bemessungs-Scheinleistung** S_r wird gleich der Nennscheinleistung S_n aus der Registerkarte [Allgemeine Daten](#) definiert.
- Die **Nennwirkleistung** P_n wird aus der Bemessungs-Scheinleistung S_r und dem Nenn-Verschiebungsfaktor $\cos \phi_n$ der Registerkarte **Allgemeine Daten** berechnet.

$$P_n = S_r \cdot \cos \phi_n$$

- Die **Bemessungs-Blindleistung** Q_r wird wie folgt berechnet.

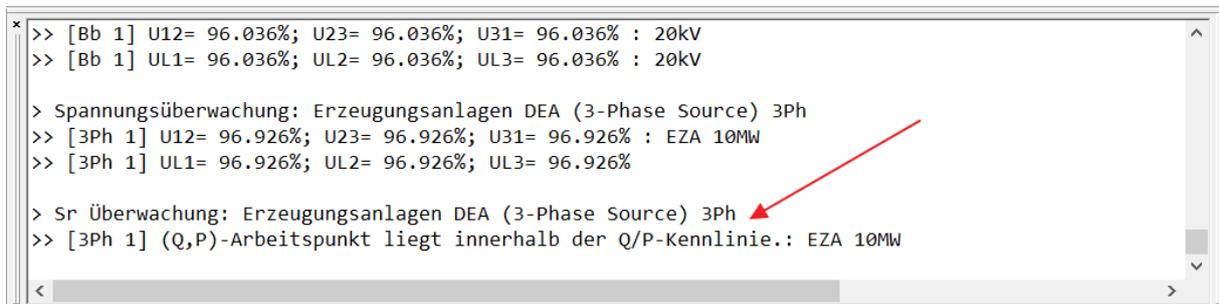
$$Q_r = \sqrt{S_r^2 - P_n^2}$$

In dieser Betriebsart sind Bemessungs-Verschiebungsfaktor und Nenn-Verschiebungsfaktor identisch.

$$\cos \phi_n = \cos \phi_r$$

5.6.10.5 Überprüfung der P(Q)-Kennlinie und Ausgabe der Ergebnisse

Im Falle der Konvergenz der Lastflussberechnung wird kontrolliert, ob der (Q,P)-Arbeitspunkt der dezentralen Erzeugungsanlage innerhalb der P(Q)-Kennlinie oder auf der Grenzkennlinie liegt. Durchführung und Ausgabe der Ergebnisse der Überprüfungen der P(Q)-Kennlinie in das [Meldungsfenster](#) kann in der Registerkarte [Meldungen ein- und ausgeschaltet](#) werden. Das Ergebnis der Überprüfung ist keine Konvergenzbedingung. Daher ist es zu empfehlen, die Meldungen zu überprüfen.



```

x >> [Bb 1] U12= 96.036%; U23= 96.036%; U31= 96.036% : 20kV
>> [Bb 1] UL1= 96.036%; UL2= 96.036%; UL3= 96.036% : 20kV

> Spannungsüberwachung: Erzeugungsanlagen DEA (3-Phase Source) 3Ph
>> [3Ph 1] U12= 96.926%; U23= 96.926%; U31= 96.926% : EZA 10MW
>> [3Ph 1] UL1= 96.926%; UL2= 96.926%; UL3= 96.926%

> Sr Überwachung: Erzeugungsanlagen DEA (3-Phase Source) 3Ph
>> [3Ph 1] (Q,P)-Arbeitspunkt liegt innerhalb der Q/P-Kennlinie.: EZA 10MW
  
```

Abbildung 110: Ausgabe des Ergebnisses der Überprüfung der P(Q)-Kennlinie

5.6.10.6 Berücksichtigung der P(Q)-Kennlinie während der Lastflussberechnung

Im Verlauf der Lastflussberechnung wird nach jedem Iterationsschritt überprüft, ob der aktuelle (Q,P)-Arbeitspunkt der Erzeugungsanlage als Ergebnis des Iterationsschrittes außerhalb der P(Q)-Kennlinie liegt. In diesem Fall berechnet ATPDesigner den Schnitt-

punkt der Nullpunktgeraden des (Q,P)-Arbeitspunktes mit der P(Q)-Kennlinie und verwendet diesen korrigierten $(Q,P)_{\text{kor}}$ -Arbeitspunkt als Anfangswert für den nächsten Iterationsschritt.

Durch die (Q,P)-Arbeitspunkt Korrektur nach jedem Iterationsschritt soll erreicht werden, dass im Falle der Konvergenz der Lastflussberechnung die (Q,P)-Arbeitspunkte aller dezentralen Erzeugungsanlagen innerhalb der P(Q)-Kennlinie oder auf der Grenzkennlinie liegen.

Liegt im Falle der Konvergenz der Lastflussberechnung der (Q,P)-Arbeitspunkt einer dezentralen Erzeugungsanlage außerhalb der P(Q)-Kennlinie, so wird eine Fehlermeldung (**rote LED**) ausgegeben. Der zugehörige Meldungstext **Meldungsfenster** wird in **roter Farbe** geschrieben.

5.6.11 Globaler und betriebsmittelspezifischer Teillastfaktor

Für eine dezentrale Erzeugungsanlage oder Batteriesystem, das mit Hilfe des Netzwerkelementes **Erzeugungsanlage (DEA)** abgebildet wird, können

- ein **globaler Teillastfaktor s** , der für alle im Netz eingesetzten Netzwerkelemente **Erzeugungsanlage (DEA)** verwendet wird, und
- ein **betriebsmittelspezifischer Teillastfaktor s [%Pn, Sn]**

im Einstelldialog **ATP Einstellwerte**, Registerkarte **Lastfluss: DEA** wie nachfolgend dargestellt eingestellt werden. Der elektrisch wirksame Teillastfaktor wird als Produkt des globalen und des betriebsmittelspezifischen Teillastfaktors sowie einem ggfs. definierten zonen- oder bereichsspezifischen Teillastfaktor berechnet.

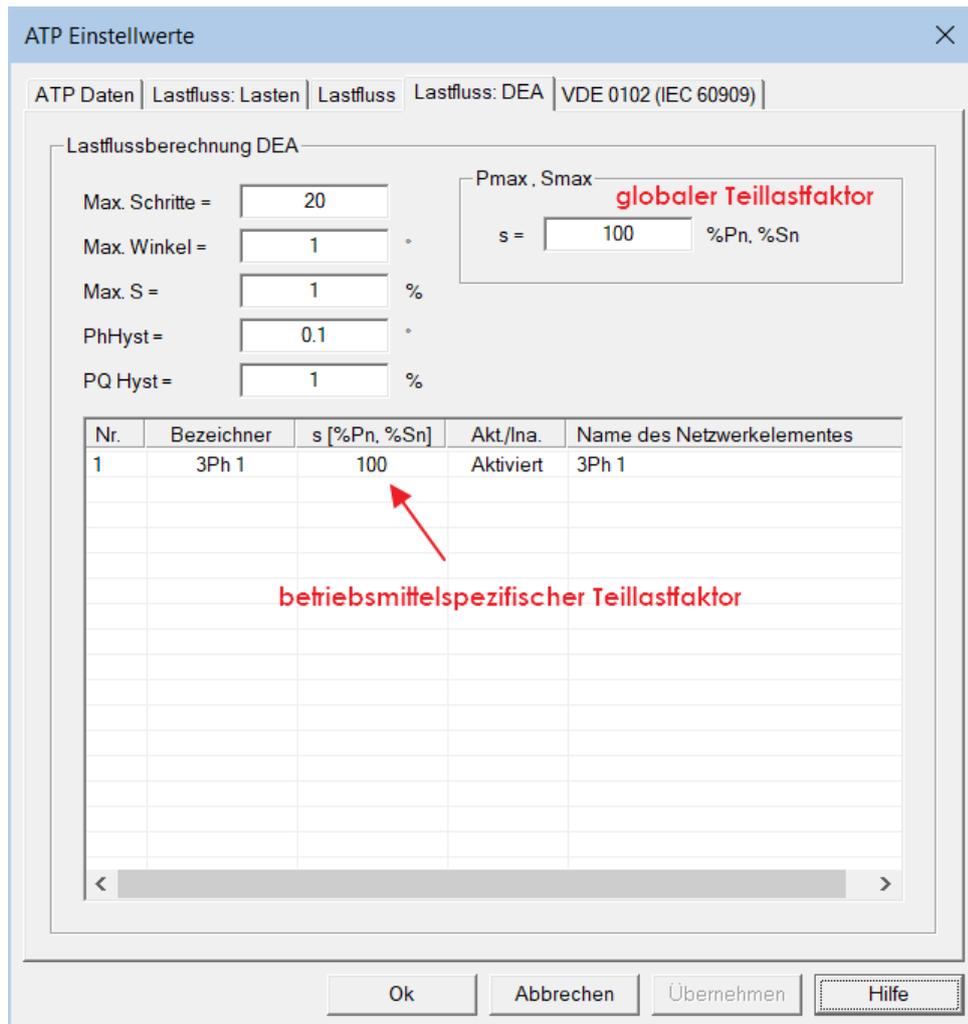


Abbildung 111: Erzeugungsanlage (DEA) - Globaler und betriebsmittelspezifischer Teillastfaktor

5.6.12 Registerkarte LVRT – Kurzschlussbetrieb der Dezentralen Erzeugungsanlage

Dezentrale Erzeugungsanlagen müssen nach [4] im Kurzschlussfall Blindstrom zur Spannungsstützung in übererregter Betriebsweise einspeisen. Diese Betriebsart wird nach [4] [18][30] **LVRT-Betrieb (Low Voltage Ride Through)** genannt.

Der LVRT-Betrieb kann **nur für eine im Normalbetrieb eingestellte Leistungsquelle** in den Betriebsarten **Sn (IL:3p) = const.** oder **Pn (IL:3p) = const.** verwendet werden. Der LVRT-Betrieb wird abhängig von der Betriebsart z.B. **MSR2008** [4] oder **VDE-AR-N 4110** [18] bzw. **VDE-AR-N 4120** [30] durch Ströme im Mitsystem und Gegensystem der Erzeugungsanlage definiert. Im LVRT-Betrieb werden daher im Allgemeinen unsymmetrische 3-phasige Stromquellen im internen Modell verwendet.

- ⇒ In den Betriebsarten VDE-AR-N ... ist sowohl der **LVRT-Betrieb** als auch der **eingeschränkte LVRT-Betrieb** einstellbar.
- ⇒ **LVRT-Betrieb**: Arbeitsweise in Anlehnung an die **vollständige dynamische Netzstützung** nach **VDE-AR-N 4110** [18] bzw. **VDE-AR-N 4120** [30]
- ⇒ **Eingeschränkter LVRT-Betrieb**: Arbeitsweise in Anlehnung an die **eingeschränkte dynamische Netzstützung** nach **VDE-AR-N 4110** [18] bzw. **VDE-AR-N 4120** [30]

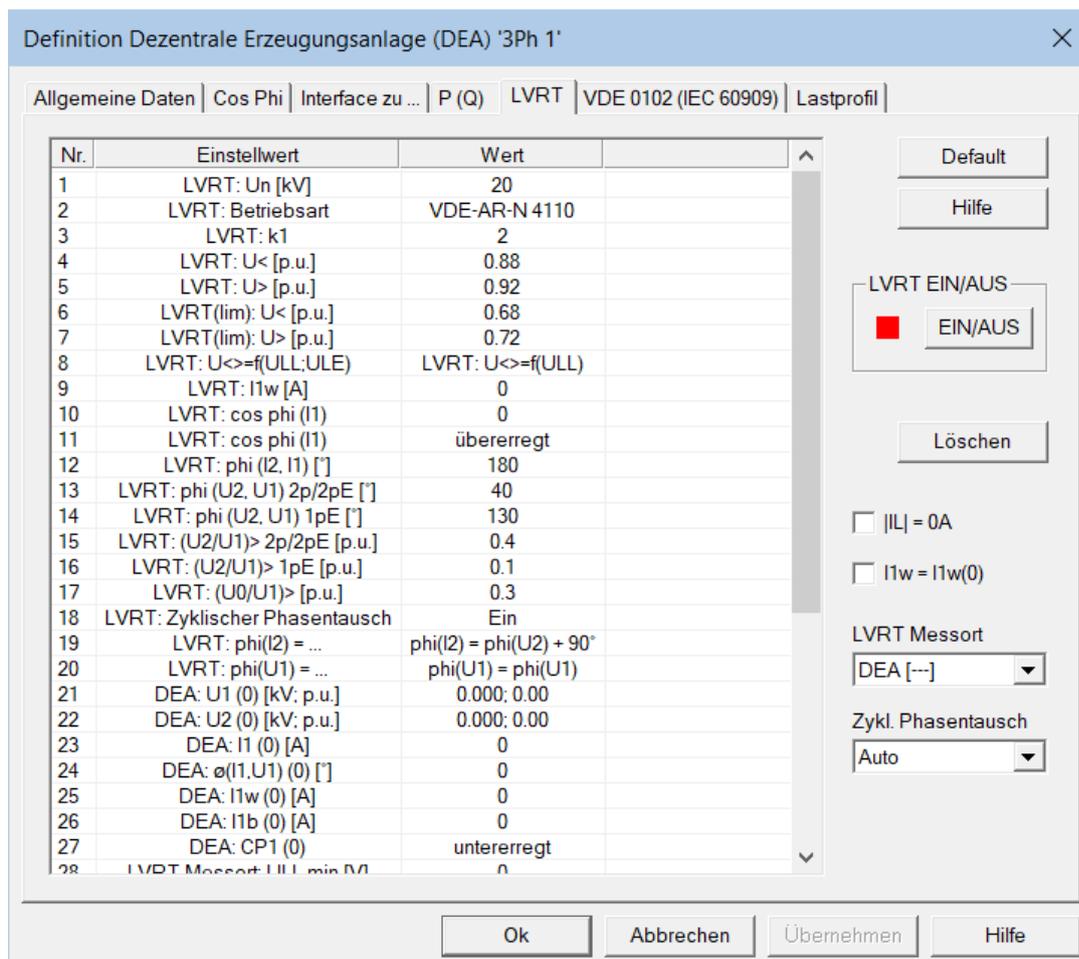


Abbildung 112: Einstelldialog zum LVRT-Betrieb einer dezentralen Erzeugungsanlage

In der obigen Abbildung sind Einstellwerte und Messwerte in der Registerkarte **LVRT** dargestellt, welche das Verhalten der dezentralen Erzeugungsanlage (**Erzeugungsanlage (DEA)**) im LVRT-Betrieb sowie den Übergang vom Normalbetrieb in den LVRT-Betrieb definieren.

Präfix	Bedeutung
LVRT:	Einstell- und Messwerte für LVRT-Betrieb
DEA:	Messwerte am Netzanschlussknoten der Erzeugungsanlage (DEA) Unter der Erzeugungsanlage (DEA) wird hier das ATPDesigner spezifische Betriebsmittel bzw. dessen grafisches Symbol verstanden, das in der Ansicht der Netzgrafik verwendet wird. Insofern kann das grafische Symbol des Betriebsmittels Erzeugungsanlage (DEA) eine Erzeugungsanlage (EZA) oder eine Erzeugungseinheit (EZE) nachbilden.

Die Messwerte können dazu verwendet werden, das Verhalten der dezentralen Erzeugungsanlage im LVRT-Betrieb zu analysieren.

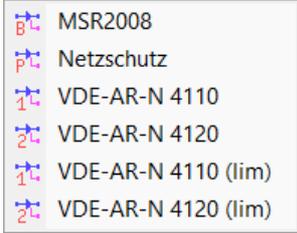
Dialogelemente	Bedeutung
LVRT EIN/AUS	Mit dem Taster kann der LVRT-Betrieb für die dezentrale Erzeugungsanlage ein- oder ausgeschaltet werden. Die Aktivierung des LVRT-Betriebes im Verlauf der Lastflussberechnung erfolgt in Abhängigkeit der Netzspannung am Netzanschlusspunkt (NAP). <ul style="list-style-type: none"> ▪ LED grün : LVRT-Betrieb ist eingeschaltet und kann ggfs. aktiviert werden ▪ LED rot : LVRT-Betrieb ist ausgeschaltet
Löschen	Mit einem Left Mouse Button Click werden die Messwerte in der Liste auf den Wert Null zurückgesetzt.
Default	Mit einem Left Mouse Button Click werden die Messwerte in der Liste auf den Wert Null und die Einstellwerte auf die Grundeinstellung zurückgesetzt.
 IL = 0A	Wenn diese Option aktiv ist, werden im LVRT-Betrieb kein Wirkstrom und kein Blindstrom am Netzanschlussknoten der dezentralen Erzeugungsanlage eingespeist.
I1w = I1w(0)	Wenn diese Option aktiv ist, wird der Wirkstrom I1w(0) des Mitsystems im Normalbetrieb der Erzeugungsanlage unmittelbar vor dem LVRT-Betrieb als Wirkstrom des Mitsystems im LVRT-Betrieb I1w übernommen und in der Zeile LVRT: I1w [A] angezeigt.
LVRT Messort	Wird im Netz während der Netzberechnung ein Kurzschluss (roter Blitz) verwendet, so verwendet ATPDesigner als Messort für die Iteration des Verschiebungsfaktors $\cos \varphi$ und der Scheinleistung den hier angegebenen Messort des Mess/Schutzgerätes oder den Netzanschlussknoten der Erzeugungsanlage und <u>nicht</u> den Messort NAP Messort der Registerkarte Allgemeine Daten . Dezentrale Erzeugungsanlagen messen in aller Regel im Kurzschlussfall, d.h. im LVRT-Betrieb Spannungen und Ströme direkt an ihrem eigenen Netzanschlussknoten und nicht am Netzanschlusspunkt (NAP) der Erzeugungsanlage. Mit diesem Einstellwert kann dieses Verhalten nachgebildet werden. ATPDesigner verwendet das Vorhandensein des Kurzschlusses (roter Blitz) im

	Netz als Kriterium, den Netzanschlusspunkt LVRT Messort statt dem Netzanschlusspunkt NAP Messort zu verwenden.
--	--

Der LVRT-Betrieb wird im Verlauf der Lastflussberechnung nur aktiviert, wenn

- der Taster **LVRT EIN/AUS** eingeschaltet ist d.h. **LED grün** und
- die Netzspannung am Netzanschlusspunkt abhängig von der Betriebsart der Unterspannungsanregung die Unterspannungsanregeschwelle unterschreitet.

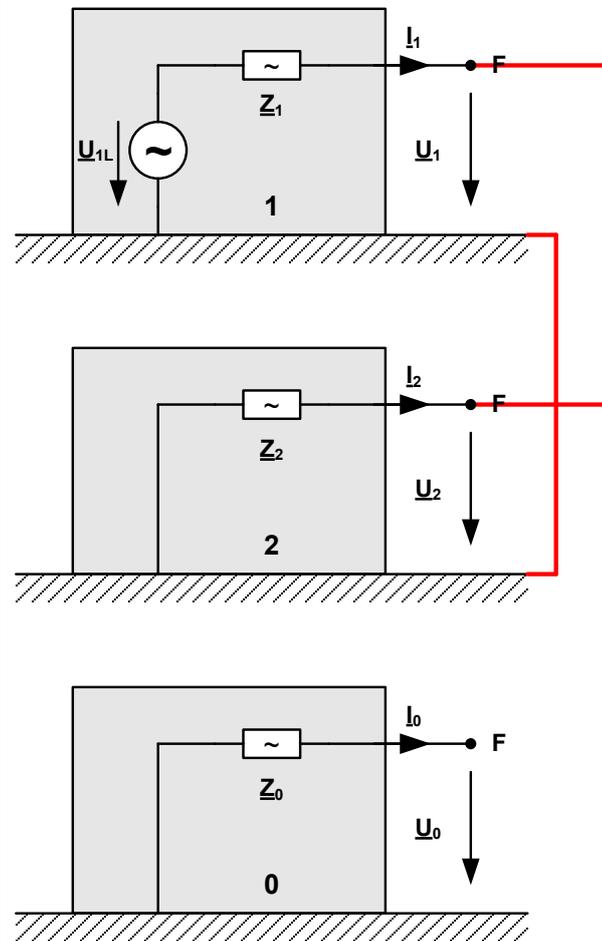
Einstellwert	Bedeutung
LVRT: Un [kV]	<p>Nennspannung am LVRT-Messort LVRT Messort</p> <p>Da der Einstellwert unabhängig von der Nennspannung Un init in der Registerkarte Allgemeine Daten eingestellt wird, kann hier z.B. die vereinbarte Versorgungsspannung U_c nach [4], [18][30] eingestellt werden.</p> <p>Es wird beim Schließen des Einstelldialogs überprüft, ob der Einstellwert Un init in der Registerkarte Allgemeine Daten von dem Einstellwert verschieden ist. Bei Ungleichheit wird eine Warnung im Meldungsfenster ausgegeben.</p> <p>Der Einstellwert der Nennspannung Un init in der Registerkarte Allgemeine Daten und der Einstellwert LVRT: Un können verschieden sein. Dadurch kann sich eine Divergenz der Lastflussberechnung ergeben.</p>
LVRT: Betriebsart	<p>Betriebsart der Erzeugungsanlage (EZA) im LVRT-Betrieb Durch eine Left Mouse Button Double Click auf die Zelle des Einstellwertes wird ein kontextsensitives Menü geöffnet.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ MSR2008 LVRT-Betrieb in Anlehnung an MSR2008 [4] ▪ Netzschutz wird aktuell nicht unterstützt. ▪ VDE-AR-N 4110 LVRT- Betrieb in Anlehnung an VDE-AR-N 4110 [18] ▪ VDE-AR-N 4120 LVRT- Betrieb in Anlehnung an VDE-AR-N 4120 [30] ▪ VDE-AR-N 4110 (lim) eingeschränkter LVRT- Betrieb in Anlehnung an VDE-AR-N 4110 [18] ▪ VDE-AR-N 4120 (lim) eingeschränkter LVRT- Betrieb in Anlehnung an VDE-AR-N 4120 [30]

	<p>Durch eine Left Mouse Button Click auf die Zelle in der Tabelle kann ein kontextsensitives Menü zum Einstellen der Funktion geöffnet werden.</p> 
LVRT: k1	LVRT-Betrieb: Blindstromstatik nach [4] bzw. Verstärkungsfaktor nach [18],[30] im Mitsystem
LVRT: U< [p.u.]	<p>Unterspannungsanregung in p.u. (LVRT: Un [kV] = 1p.u.) Ist der Betrag einer der drei Leiter-Erd-Spannungen oder einer der drei Leiter-Leiter-Spannungen am LVRT Messort kleiner als die Unterspannungsanregung U<, so geht oder verbleibt die Erzeugungsanlage im LVRT-Betrieb.</p> <p>⇒ Normalbetrieb → LVRT-Betrieb ⇒ Ist der eingeschränkte LVRT-Betrieb eingestellt, so sind die Anregungen LVRT (lim): ... zu beachten.</p>
LVRT: U> [p.u.]	<p>Überspannungsanregung in p.u. (LVRT: Un [kV] = 1p.u.) Sind die Beträge der drei Leiter-Erd-Spannungen oder der drei Leiter-Leiter-Spannungen am LVRT-Messort LVRT Messort größer als die Überspannungsanregung U>, so geht oder verbleibt die Erzeugungsanlage vom LVRT-Betrieb in den Normalbetrieb.</p> <p>⇒ LVRT-Betrieb → Normalbetrieb ⇒ Ist der eingeschränkte LVRT-Betrieb eingestellt, so sind die Anregungen LVRT (lim): ... zu beachten.</p>
LVRT (lim): U< [p.u.]	<p>Unterspannungsanregung in p.u. (LVRT: Un [kV] = 1p.u.) Ist der Betrag einer der drei Leiter-Erd-Spannungen oder einer der drei Leiter-Leiter-Spannungen am LVRT Messort kleiner als die Unterspannungsanregung U<, so geht die Erzeugungsanlage in den eingeschränkten LVRT-Betrieb. Im eingeschränkten LVRT-Betrieb wird kein Wirk- oder Blindstrom ins Netz eingespeist oder vom Netz bezogen.</p> <p>⇒ LVRT-Betrieb → eingeschränkter LVRT-Betrieb</p>
LVRT (lim): U> [p.u.]	<p>Überspannungsanregung in p.u. (LVRT: Un [kV] = 1p.u.) Sind die Beträge der drei Leiter-Erd-Spannungen oder der drei Leiter-Leiter-Spannungen am LVRT-Messort LVRT Messort größer als die Überspannungsanregung U>, so geht die Erzeugungsanlage in den LVRT-Betrieb.</p> <p>⇒ eingeschränkter LVRT-Betrieb → LVRT-Betrieb</p>
LVRT: U<>=f(ULE) LVRT: U<>=f(ULL)	Die Betriebsart der U<> - Anregung zum Eintritt in den LVRT-Betrieb bzw. eingeschränkten LVRT-Betrieb oder den Rückfall

	<p>in den Normalbetrieb bzw. nicht eingeschränkten LVRT-Betrieb kann ausgewählt werden.</p> <p>⇒ LVRT: U<=>f(ULL): Einstellwert = 1</p> <p>⇒ LVRT: U<=>f(ULE): Einstellwert = 2</p>
LVRT: I1w [A]	<p>LVRT-Betrieb: Wirkstrom im Mitsystem</p> <p>Der Wirkstrom wird als maximale zulässiger Wirkstrom interpretiert. Ob im LVRT-Betrieb ein Wirkstrom eingespeist wird, ist von dem Nennstrom I_n als maximal möglichen Scheinstrom der Erzeugungsanlage (DEA) und dem vorrangig einzuspeisenden Blindstrom I1b abhängig.</p>
LVRT: cos phi (I1)	<p>LVRT-Betrieb: Verschiebungsfaktor $\cos \varphi = \frac{P}{S}$ im Mitsystem</p> <p>Der Einstellwert muss in Zusammenhang mit der nachfolgenden Betriebsart untererregt bzw. übererregt betrachtet werden.</p>
LVRT: cos phi (I1)	<p>LVRT-Betrieb: Betriebsart des Verschiebungsfaktors</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ untererregt ▪ übererregt <p>Die Einstellung der Betriebsart erfolgt in dem Eingabefeld mit den numerischen Werten:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Wert = 0 : untererregt ▪ Wert = 1 : übererregt <p>Um die Betriebsart einzustellen, muss der numerische Wert in das Eingabefeld eingegeben und mit der Return-Taste bestätigt werden. Auch ist es möglich nach der Eingabe einen anderen Bereich außerhalb des Eingabefeldes mit einem Left Mouse Button Click des Mauszeigers anzuklicken.</p>
LVRT: phi (I2, I1) [°]	<p>LVRT-Betrieb: Winkel zwischen Gegen- und Mitsystemstrom</p> <p>Der Einstellwert wird als Phasendifferenz zwischen Mitsystem- und Gegensystemstrom für die Rücktransformation in das natürliche Leitersystem L123 verwendet. Für die Berechnungsmethodik des absoluten Phasenwinkels des Gegensystemstromes ist darüber hinaus der Einstellwert LVRT: phi (I2) = zu beachten.</p> <p>In der Grundeinstellung (Default) ist hier der Winkel 180° eingestellt. Dieser Wert ist darin begründet, dass Mitsystemspannung \underline{U}_1 und Gegensystemspannung \underline{U}_2 im Falle eines 2p-Kurzschlusses am Kurzschlussort phasengleich, Mitsystemstrom \underline{I}_1 und Gegensystemstrom \underline{I}_2 am Kurzschlussort um 180° phasenverschoben sind (Fehlerortbedingung für den 2p-Kurzschluss am Fehlerort F).</p> <p>Die Fehlerortbedingung geht aus dem nachfolgend gezeigten vereinfachten Ersatzschaltbild in Symmetrischen Komponenten für einen einseitig gespeisten 2p-Kurzschluss hervor.</p>

Aus dem Ersatzschaltbild ist zu erkennen:

$$\underline{U}_2 = \underline{U}_1 \text{ und } \underline{I}_2 = - \underline{I}_1$$



⇒ Es muss hier unbedingt beachtet werden, dass die Phasengleichheit von Mitsystemspannung \underline{U}_1 und Gegensystemspannung \underline{U}_2 sowie die Phasenverschiebung von Mit- und Gegensystemstrom von 180° nur für den Kurzschlussort gilt. Da sich die Netzanschlusspunkte (NAP) der Erzeugungsanlagen in aller Regel elektrisch entfernt vom Kurzschlussort befinden werden, muss man davon ausgehen, dass am Netzanschlusspunkt (NAP) Mitsystemspannung \underline{U}_1 und Gegensystemspannung \underline{U}_2 eine deutliche Phasenverschiebung aufweisen und demnach die 180° -Phasenverschiebungen von Mit- und Gegensystemstrom nicht der netzphysikalischen Realität am Netzanschlusspunkt (NAP) entspricht.

LVRT: phi (I2) = ...

LVRT-Betrieb: Methode zur Berechnung des absoluten Phasenwinkels des Gegensystemstromes \underline{I}_2

Durch einen **Left Mouse Button Click** auf den Einstellwert wird ein kontextsensitives Menü mit den beiden nachfolgenden Menüzeilen geöffnet.

	<div data-bbox="624 248 975 365" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> \updownarrow $\phi(I_2) = \phi(I_1) + \phi(I_2, I_1)$ \rightarrow $\phi(I_2) = 90^\circ$ \rightarrow $\phi(I_2) = \phi(U_2) + 90^\circ$ </div> <ul style="list-style-type: none"> ▪ $\phi(I_2) = \phi(I_1) + \phi(I_2, I_1)$ Der absolute Phasenwinkel des Gegensystemstromes wird aus dem absoluten Phasenwinkel des Mitsystemstromes und dem Einstellwert LVRT: $\phi(I_2, I_1)$ [°] berechnet. ▪ $\phi(I_2) = 90^\circ$ Der absolute Phasenwinkel des Gegensystemstromes beträgt $+90^\circ$, unabhängig vom absoluten Phasenwinkel der Gegensystemspannung. ▪ $\phi(I_2) = \phi(U_2) + 90^\circ$ Der absolute Phasenwinkel des Gegensystemstromes wird aus dem absoluten Phasenwinkel der Gegensystemspannung und einer Phasenverschiebung von 90° berechnet. ⇒ Dieser Auswahlwert wird als Grundeinstellung (Default) verwendet. Es wird empfohlen, diesen Einstellwert für alle Kurzschlusszenarien mit LVRT-Betrieb zu verwenden. Eine Begründung ist in Phasenwinkel des Gegensystemstromes im Kurzschlussfall formuliert.
LVRT: $\phi(U_1) = \dots$	<p>LVRT-Betrieb: Methode zur Festlegung der Phasenlage der Mitsystemspannung bei der Berechnung des Mitsystemstromes I_1</p> <p>Durch einen Left Mouse Button Click auf den Einstellwert wird ein kontextsensitives Menü mit den beiden nachfolgenden Menüzeilen geöffnet.</p> <div data-bbox="624 1444 959 1525" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> \updownarrow $\phi(U_1) = \phi(U_1)$ \rightarrow $\phi(U_1) = \phi(U_1 - U_1(0))$ </div> <ul style="list-style-type: none"> ▪ $\phi(U_1) = \phi(U_1)$ Die Phasenlage der Mitsystemspannung im Kurzschlussfall wird als Bezug bei der Berechnung des Mitsystemstroms verwendet. ▪ $\phi(U_1) = \phi(U_1 - U_1(0))$ Bei der Berechnung des Mitsystemstroms im Kurzschlussfall wird die Phasenverschiebung zwischen den Mitsystemspannungen vor und nach Fehlereintritt berücksichtigt.

5.6.12.1.1 Absoluter Phasenwinkel des Gegensystemstromes im Kurzschlussfall und Phasenlage der Mitsystemspannung bei Berechnung des Mitsystemstroms

- ⇒ Für die Gleichungen und Zeigerdiagramme in diesem Kapitel wird analog zur VDE-Anwendungsrichtlinie das Verbraucherzählpfeilsystem (VZS) verwendet. ATPDesigner verwendet für das Modell der [Erzeugungsanlage \(DEA\)](#) allerdings das Erzeugerzählpfeilsystem (EZS).

Die Berechnung der Phasenwinkel von Mitsystemstrom I_1 und Gegensystemstrom I_2 ist im Gegensatz zu deren Beträgen in den Anwendungsregeln **VDE-AR-N 4110/4120** [18],[30] nicht eindeutig definiert. Man kann aber aus dem Anhang entnehmen, dass aus Gründen der Systemkompatibilität im Falle des 2-poligen Kurzschlusses ein dem Synchrongenerator vergleichbares Verhalten im Kurzschlussfall angestrebt wird.

Ein wesentlicher Aspekt der Systemkompatibilität ist die Anforderung, dass der Netzschutz auch in Stromnetzen mit sehr geringer oder keiner Kurzschlussstromeinspeisung durch Synchrongeneratoren Kurzschlüsse selektiv in angemessener Zeit erkennen und auslösen muss. Dabei müssen die Selektivschutzkonzepte ohne wesentliche Änderungen weitere Verwendung finden.

Eine der kritischsten Situationen stellt damit das **Szenario eines Kurzschlusses bei Dunkelflaute** dar. In diesem Szenario können Dezentrale Erzeugungsanlagen vom Typ 2 also z.B. Windkraftanlagen, PV-Anlagen und Batteriespeichersysteme keinen Wirkstrom am Netzanschlusspunkt (NAP) einspeisen, da sie im Gegensatz zu Synchrongeneratoren über keine eigenen anlagenimmanenten primärfähigen Wirkenergiespeicher verfügen, die im Kurzschlussfall ohne Zeitverzögerung Wirkstrom einspeisen. Synchrongeneratoren können Wirkenergie aus den magnetischen Feldern und dem Rotationspeicher ausspeichern.

Damit der Netzschutz Kurzschlüsse selektiv erkennen und auslösen kann, müssen Kurzschlussströme einen Mindestbetrag erreichen, der Lastströme und Überlastströme sicher überschreitet. Dabei ist es zunächst ohne Belang, ob Kurzschlussströme an den Netzanschlussknoten der Einspeiseanlagen als Wirkströme oder Blindströme eingespeist werden. Letztlich wird im Kurzschlussfall ein Mix von Einspeiseanlagen benötigt, die im Kurzschlussfall den Blindstrom- und den Wirkstrombedarf respektive den Blindleistungs- wie auch den Wirkleistungsbedarf aufbringen müssen.

Geht man von der Annahme aus, dass Kurzschlussströme ausschließlich von Typ 2 - Erzeugungsanlagen eingespeist werden, so können Kurzschlussströme bei Dunkelflaute nur Blindströme sein, da wegen der bei Dunkelflaute fehlenden primären Wirkenergie Wirkströme nicht eingespeist werden können. Diese generelle Anforderung gilt unabhängig von der Kurzschlussart. Schließt man den 1-poligen Kurzschluss wegen z.B. dem kompensierten Netzbetrieb zunächst aus, so verbleiben der 3-polige und der 2-polige Kurzschluss mit und ohne Erdberührung. Auch der 3-polige Kurzschluss muss hier bzgl. der Phasenlage des Gegensystemstroms nicht weiter betrachtet werden, da das Gegensystem im Falle des 3-poligen Kurzschluss theoretisch strom- und spannungslos ist, in realen Kurzschlussituationen in guter Näherung vernachlässigt werden kann.

- ⇒ **Als Konsequenz der Überlegungen wird also ein Verfahren gesucht, das es Typ 2 – Erzeugungsanlagen bei Dunkelflaute und auch bei 2p-Kurzschluss ermöglicht, am Netzanschlusspunkt (NAP) im natürlichen System, d.h. in Leitergrößen**

Blindleistung ohne Wirkleistung mit einem Systemverhalten, das Synchrongeneratoren ausreichend kompatibel ist einzuspeisen.

$$Q_{NAPk2p} > 0, P_{NAPk2p} = 0$$

Daraus ergeben sich folgende Forderungen für das Szenario **2p-Kurzschluss bei Dunkelflaute**, die in symmetrischen Komponenten des 012-Systems formuliert werden können.

1. Der Gegensystemstrom \underline{I}_2 muss ein Blindstrom sein. Daraus ergibt sich, dass der Gegensystemstrom gegenüber der Gegensystemspannung \underline{U}_2 um 90° phasenverschoben sein muss. Um ein dem Synchrongenerator ausreichend kompatibles Verhalten zu erreichen, muss der Gegensystemstrom \underline{I}_2 der Gegensystemspannung \underline{U}_2 im Verbraucherzählpeilsystem (VZS) um 90° nacheilen, im Erzeugerzählpeilsystem (EZS) um 90° voreilen.

$$\text{VZS: } \underline{I}_2 = I_2 \cdot e^{j(\varphi_{u2} - 90^\circ)} \quad \text{EZS: } \underline{I}_2 = I_2 \cdot e^{j(\varphi_{u2} + 90^\circ)}$$

Ursache des im Verbraucherzählpeilsystem (VZS) nacheilenden Gegensystemstromes ist das Kurzschlussverhalten des Synchrongenerators beim 2-poligen Kurzschluss. Der Synchrongenerator weist wegen des symmetrischen Aufbaus der drei Statorwicklungen auch beim 2-poligen Kurzschluss nur im Mitsystem eine Spannungsquelle auf. Beim 2-poligen Kurzschluss entsteht im Gegensystem ein magnetisches Feld, das im Ersatzschaltbild i.a. durch eine Gegensystemreaktanz nachgebildet wird. Der Synchrongenerator kann beim 2-poligen Kurzschluss im Mitsystem Wirk- und Blindleistung einspeisen, im Gegensystem Blindleistung beziehen.

2. Der Mitsystemstrom \underline{I}_1 muss ein Blindstrom sein. Bei Verfügbarkeit von primärer Wirkenergie, d.h. außerhalb der Dunkelflaute kann zusätzlich eine Wirkstromkomponente eingespeist werden.

Im Folgenden sind die grundlegenden Anforderungen der Anwendungsregeln VDE-AR-N 4110/4120 für den LVRT-Betrieb Dezentraler Erzeugungsanlagen beschrieben. Spannungen und Ströme sind auf den Netzanschlusspunkt (NAP) der Dezentralen Erzeugungsanlage. Grundlage der Gleichungen in der nachfolgenden Tabelle sind die Anwendungsregeln mit den darin befindlichen Anhängen. Es muss aber festgestellt werden, dass die Anwendungsrichtlinien nicht 100% konsistent in der Definition der Berechnungsgrundlage sind und daher einen Interpretationsspielraum eröffnen. Es wird hier ein Ansatz erläutert, diesen Interpretationsspielraum aus Sicht des Szenarios **2p-Kurzschluss bei Dunkelflaute** mit weiterhin zuverlässigem Verhalten des Selektivschutzes zu minimieren.

1	Vor Kurzschlusseintritt: Netzspannung am NAP	$\underline{U}_1(0) = U_1$ $\underline{U}_2(0) = 0, \underline{U}_0(0) = 0$
2	Vor Kurzschlusseintritt: Einspeisestrom am NAP	$\underline{I}_1(0) = I_{1w}(0) + jI_{1b}(0)$ $\underline{I}_2(0) = 0, \underline{I}_0(0) = 0$
3	LVRT: Änderung der Mitsystemspannung	$\Delta \underline{U}_1 = \dots$

4	LVRT: Änderung der Gegensystemspannung	$\Delta \underline{U}_2 = \dots$
5	LVRT: Änderung Mit/Gegensystemspannung in p.u.	$\Delta \underline{u}_{1,2} = \frac{\Delta \underline{U}_{1,2}}{U_c / \sqrt{3}}$
6	LVRT: Anwenderspezifischer Verstärkungsfaktor	$\underline{k} = k \cdot e^{j90^\circ}$
7	LVRT: Blindstromänderung im Mitsystem	$\Delta \underline{I}_{1b} = I_r \cdot \underline{k} \cdot \Delta \underline{u}_1$
8	LVRT: Blindstromänderung im Gegensystem	$\Delta \underline{I}_{2b} = I_r \cdot \underline{k} \cdot \Delta \underline{u}_2$
9	LVRT: Mitsystemstrom am NAP	$\underline{I}_1 = \underline{I}_1(0) - \Delta \underline{I}_{1b}$ $\underline{I}_1 = I_{1w} + jI_{1b}$
10	LVRT: Gegensystemstrom am NAP	$\underline{I}_2 = -\Delta \underline{I}_{2b} = I_{2w} + jI_{2b}$
11	LVRT: Nullsystemstrom am NAP	$\underline{I}_0 = 0$

Tabelle 4: Übersicht zur Berechnung der Kurzschlussströme im LVRT-Betrieb

Die Ströme in Mit- und Gegensystem können dann mit Hilfe der reduzierten Transformationsmatrix in das natürliche System, d.h. in Leitergrößen transformiert werden.

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{L1} \\ \underline{I}_{L2} \\ \underline{I}_{L3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ \underline{a}^2 & \underline{a} \\ \underline{a} & \underline{a}^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \end{bmatrix}$$

Die Zeigerdiagramme in den nachfolgenden Abbildungen zeigen die Phasenlage der Spannungen und Ströme in Mit- und Gegensystem. Da der Netzanschlusspunkt (NAP) vom Kurzschlussort verschieden ist, wird grundsätzlich angenommen, dass Mitsystemspannung und Gegensystemspannung nicht identisch sind.

$$\underline{U}_2 \neq \underline{U}_1$$

Im ersten Lösungsansatz **Lehrbuch** wird angenommen, dass Mitsystem- und Gegensystemstrom hinsichtlich der Phasenlage invers sind. Diese Annahme kann den Fehlerortbedingungen für den 2-poligen Kurzschluss entnommen werden.

$$\Delta \underline{U}_1 = |\underline{U}_1| - |\underline{U}_1(0)| \quad \text{mit } \angle \Delta \underline{U}_1 = \angle(\underline{U}_1) = 0^\circ$$

$$\Delta \underline{U}_2 = |\underline{U}_2| > 0$$

$$\angle \underline{I}_2 = \angle \underline{I}_1 + 180^\circ$$

Der Lösungsansatz **Lehrbuch** entspricht der Einstellung **phi(I2) = phi(I1) + phi(I2,I1)** und **phi(U1) = phi(U1)** in der Registerkarte LVRT.

Durch die Phaseninversion treten im Gegensystem in aller Allgemeinheit Wirk- und Blindströme auf unabhängig davon, ob Wirkstrom im Normalbetrieb eingespeist wurde oder nicht. Da die Wirkströme bei Dunkelflaute nicht von der Dezentralen Erzeugungsanlage eingespeist werden können, wird dieser Lösungsansatz nicht weiter betrachtet.

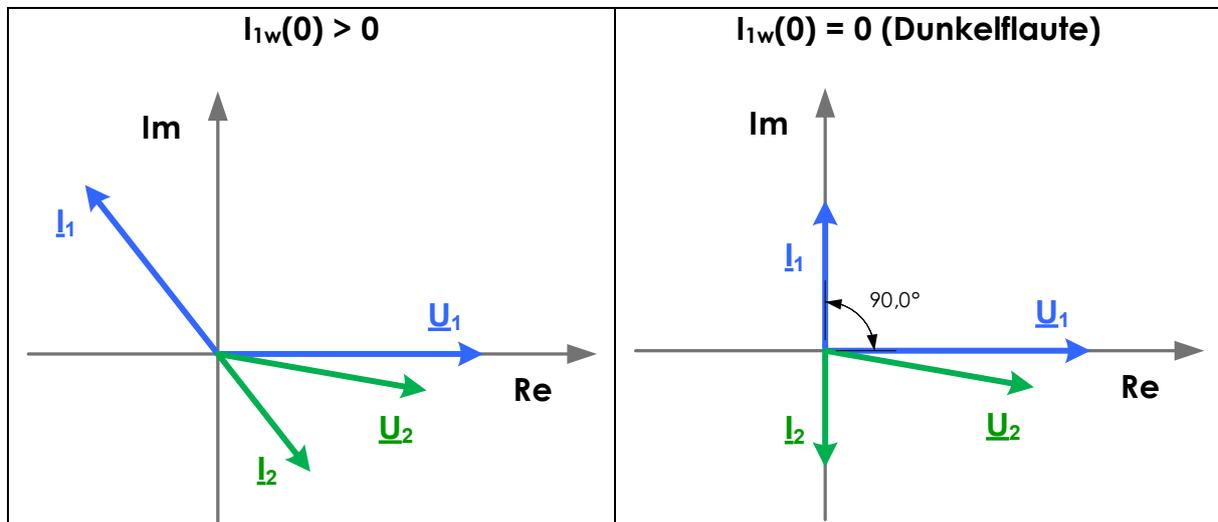


Abbildung 113: Szenario Lehrbuch: Mit- und Gegensystemstrom sind invers

Im zweiten Lösungsansatz **Synchrongenerator** wird angenommen, dass die Änderungen von Mitsystem- und Gegensystemspannungen allgemein eine komplexe Größe sind. Der Phasenwinkel des Gegensystemstromes wird durch eine Winkeldrehung von 90° aus dem Phasenwinkel der Gegensystemspannung berechnet. Dieses Verhalten bildet näherungsweise das (quasi)stationäre Verhalten von Synchrongeneratoren nach.

$$\Delta \underline{U}_1 = \underline{U}_1 - \underline{U}_1(0) \quad \text{mit} \quad \angle \Delta \underline{U}_1 = \angle (\underline{U}_1 - \underline{U}_1(0))$$

$$\Delta \underline{U}_2 = \underline{U}_2$$

$$\angle \underline{I}_2 = \angle \underline{U}_2 - 90^\circ$$

Der Lösungsansatz **Synchrongenerator** entspricht der Einstellung $\mathbf{phi(I2) = phi(U2) + 90^\circ}$ und $\mathbf{phi(U1) = phi(U1-U1(0))}$ in der Registerkarte LVRT.

Wie den nachfolgenden Zeigerdiagrammen prinzipiell entnommen werden kann, führen diese Berechnungsgleichungen zur gewünschten Blindstromspeisung im Gegensystem. Die Einspeisung im Mitsystem kann in aller Allgemeinheit auch bei Dunkelflaute eine Wirkkomponente enthalten, die durch die Dezentrale Erzeugungsanlage nicht eingespeist werden kann. Daher wird auch dieser Lösungsansatz nicht weiter betrachtet.

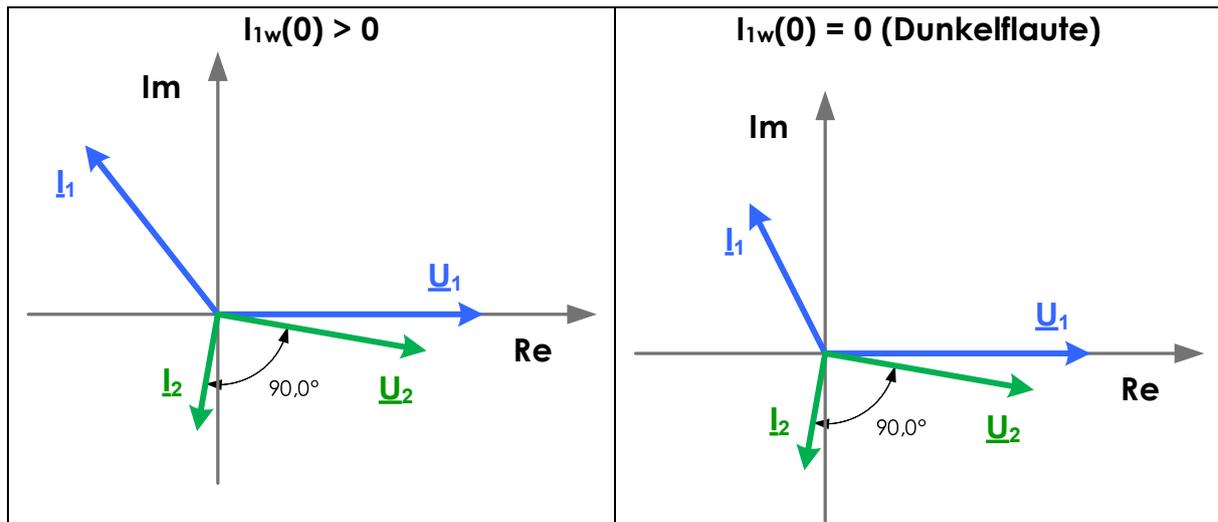


Abbildung 114: Szenario Synchrongenerator: Blindstrom im Gegensystem

Im dritten Lösungsansatz **Blindstrom** wird die Änderung der Mitsystemspannung als Differenz der Spannungsbeträge vor und nach Kurzschlusseintritt berechnet. Damit ist die Änderung der Mitsystemspannung eine reelle Größe und liegt als Zeiger immer in der Bezugsachse.

$$\Delta \underline{U}_1 = |\underline{U}_1| - |\underline{U}_1(0)| \quad \text{mit} \quad \angle \Delta \underline{U}_1 = 0^\circ$$

$$\Delta \underline{U}_2 = \underline{U}_2$$

$$\angle \underline{I}_2 = \angle \underline{U}_2 - 90^\circ$$

Der Lösungsansatz **Blindstrom** entspricht der Einstellung **phi(I2) = phi(U2) + 90°** und **phi(U1) = phi(U1)** in der Registerkarte LVRT.

Durch die Festlegung der Änderung der Mitsystemspannung als reelle Bezugsgröße ergibt sich bei Dunkelflaute, d.h. ohne Wirkstromeinspeisung vor Kurzschlusseintritt im Mitsystem nach Kurzschlusseintritt ein Blindstrom. Auch der Gegensystemstrom ist ein Blindstrom.

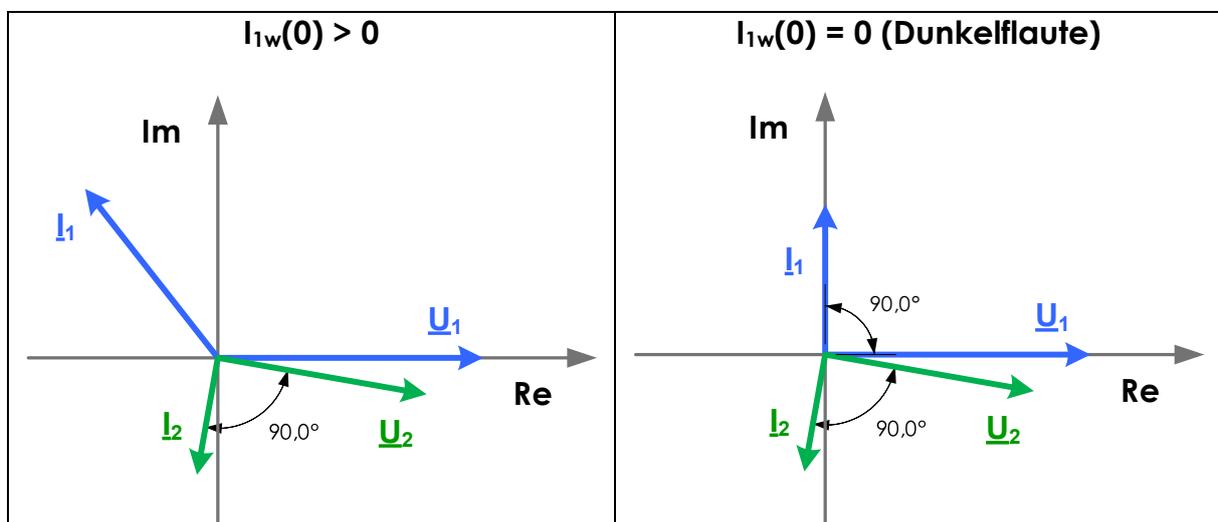


Abbildung 115: Szenario Blindleistung: Blindstrom in Mit- und Gegensystem

Die Erzeugungsanlage ist basierend auf diesem Lösungsansatz in der Lage, Blindstrom bei Dunkelflaute in Mitsystem und Gegensystem ins Stromnetz einzuspeisen. Ein vor Kurzschlusseintritt optional vorhandener Wirkstrom kann auch nach Kurzschlusseintritt weiter in das Stromnetz eingespeist werden.

- ⇒ Der Lösungsansatz **Blindstrom** erfüllt damit die Forderung an Dezentrale Erzeugungsanlagen, auch bei Dunkelflaute durch Blindstromeinspeisung einen Kurzschlussstrombeitrag in Mit- und Gegensystem einspeisen zu können, um die Funktionsfähigkeit des Selektivschutzes weiter zu gewährleisten.
- ⇒ Die zugehörige Modellierung in ATPDesigner über **$\phi(I_2) = \phi(U_2) + 90^\circ$** und **$\phi(U_1) = \phi(U_1)$** ist daher als Grundeinstellung (Default) hinterlegt.

6
Distanzschutz für selektiven Haupt- und Reserveschutz in Verteilnetzen mit dezentralen Erzeugungsanlagen
Vanessa Spies, Michael Igel, htw saar

Netzschutztechnik und dezentrale Erzeugungsanlagen

LVRT-Betrieb: Verhalten von Umrichter gekoppelten DEAs im Kurzschlussfall

VDE-AR-N 4110/4120/4130: Verwendung von **komplexen Größen** (im VZS)

1. Interpretation: „Lehrbuch“

$\Delta U_1 = |U_1| - |U_1(0)| < 0$

$\Delta U_2 = |U_2| > 0 \quad \angle I_2 = \angle I_1 + 180^\circ$

➔ wegen $I_{2w} > 0$ nicht sinnvoll !!!

2. Interpretation: „Synchrongenerator“

$\Delta U_1 = U_1 - U_1(0)$

$\Delta U_2 = U_2 \quad \angle I_2 = \angle U_2 - 90^\circ$

➔ wegen $I_{1w} < 0$ bei Dunkelflaute nicht sinnvoll !!!

7
Distanzschutz für selektiven Haupt- und Reserveschutz in Verteilnetzen mit dezentralen Erzeugungsanlagen
Vanessa Spies, Michael Igel, htw saar

Netzschutztechnik und dezentrale Erzeugungsanlagen

LVRT-Betrieb: Verhalten von Umrichter gekoppelten DEAs im Kurzschlussfall

VDE-AR-N 4110/4120/4130: Verwendung von **komplexen Größen** (im VZS)

3. Interpretation: „Blindleistung“

$\Delta U_1 = |U_1| - |U_1(0)| < 0$

$\Delta U_2 = U_2 \quad \angle I_2 = \angle U_2 - 90^\circ$

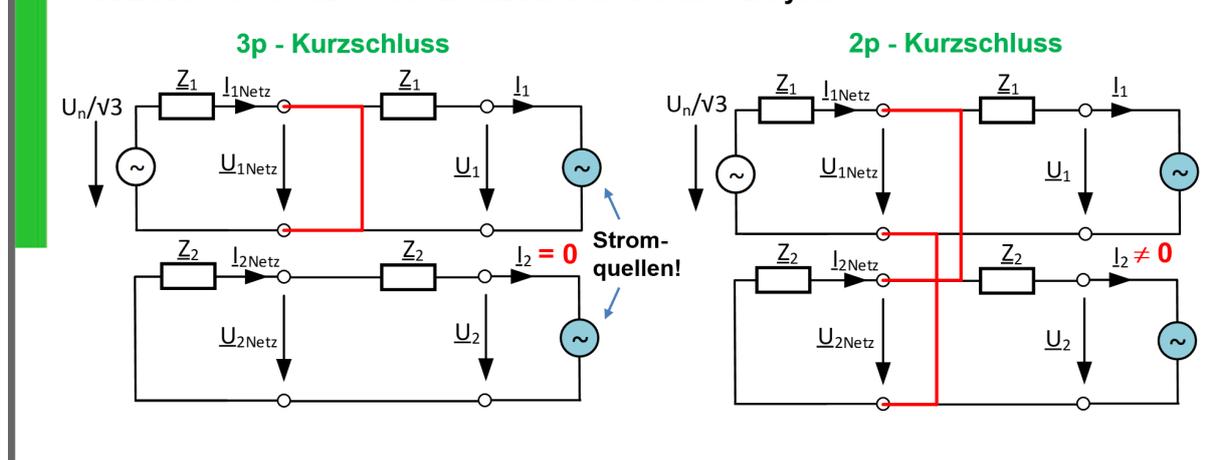
- bildet Synchrongenerator im Kurzschlussfall in guter Näherung ab
- Wirkleistungseinspeisung nur wenn $I_{1w}(0) < 0$
- nur Blindleistung im Gegensystem, d.h. $I_{2w} = 0$
- implementiert und validiert durch Netzberechnung mit ATPDesigner

➔ Bei Dunkelflaute kann Blindstrom ohne Wirkstrom eingespeist werden !!!

Netzschutztechnik und dezentrale Erzeugungsanlagen

LVRT-Betrieb: Verhalten von Umrichter gekoppelten DEAs im Kurzschlussfall

VDE-AR-N 4110/4120/4130: Ersatzschaltbilder im 012-System



Mit Hilfe der Transformationsmatrix \mathbf{I} kann gezeigt werden, dass ausgehend von den Forderungen im natürlichen System nur Blindleistung eingespeist wird, wenn in Mit- und Gegensystem nur Blindleistung erzeugt wird.

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_{L1} \\ \underline{U}_{L2} \\ \underline{U}_{L3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{U}_0 \\ \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \end{bmatrix} \quad \text{und} \quad \begin{bmatrix} \underline{I}_{L1} \\ \underline{I}_{L2} \\ \underline{I}_{L3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_0 \\ \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \end{bmatrix}$$

$$\underline{a} = e^{j120^\circ} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad \underline{a}^2 = e^{j240^\circ} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

Unter Annahme, dass das Nullsystem des Stromnetzes und der Dezentralen Erzeugungsanlage durch einen Transformator entkoppelt sind, gilt im Stromnetz:

$$\underline{U}_0 = 0 \quad \text{und} \quad \underline{I}_0 = 0$$

Damit ergibt sich

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_{L1} \\ \underline{U}_{L2} \\ \underline{U}_{L3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \end{bmatrix} \quad \text{und} \quad \begin{bmatrix} \underline{I}_{L1} \\ \underline{I}_{L2} \\ \underline{I}_{L3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \end{bmatrix}$$

oder reduziert um eine Spalte:

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_{L1} \\ \underline{U}_{L2} \\ \underline{U}_{L3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ \underline{a}^2 & \underline{a} \\ \underline{a} & \underline{a}^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \end{bmatrix} \quad \text{und} \quad \begin{bmatrix} \underline{I}_{L1} \\ \underline{I}_{L2} \\ \underline{I}_{L3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ \underline{a}^2 & \underline{a} \\ \underline{a} & \underline{a}^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \end{bmatrix}$$

Folgende fiktiven und einheitenlose Annahmen sollen gelten.

$$\begin{aligned}\underline{U}_1 &= 100 & \underline{I}_1 &= 50 \cdot e^{-j90^\circ} & \underline{U}_0 &= 0 \\ \underline{U}_2 &= 10 \cdot e^{-j25^\circ} & \underline{I}_2 &= 10 \cdot e^{-j115^\circ} & \underline{I}_0 &= 0\end{aligned}$$

Berechnet man aus den Größen die 3-phasige Wirk- und Blindleistung am Netzanschlusspunkt

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

so ergeben sich mit einem geeigneten mathematischen Tool:

$$\underline{S} = 0 + j \cdot 15309$$

An diesem Beispiel konnte also gezeigt werden, dass bei Blindleistungseinspeisung ohne Wirkleistungseinspeisung in Mit- und Gegensystem auch im natürlichen System am Netzanschlusspunkt summarisch nur Blindleistung eingespeist wird. Leiterspezifisch können am Netzanschlusspunkt (NAP) durchaus gemischte Wirk- und Blindleistungsflüsse entstehen. Durch die Überlagerung im 3-Leiter-System zu resultierenden Leistungsflüssen eliminieren sich die leiterspezifischen Wirkleistungsanteile am Netzanschlusspunkt (NAP).

Dadurch ist aus netzphysikalischer gewährleistet, dass bei Dunkelflaute, d.h. ohne primäres Wirkenergiedargebot Dezentrale Erzeugungsanlagen Blindleistung am Netzanschlusspunkt auch beim 2-poligen Kurzschluss einspeisen können.

5.6.12.1.2 Einstellwerte zur Kurzschlusserkennung 2p/2pE/1pE

Die Einstellwerte in der nachfolgenden Tabelle werden zur [Identifikation der kurzschlussbetroffenen Leiter im Falle von 2p/2pE und 1pE-Kurzschlüssen](#) verwendet.

Einstellwert	Bedeutung
LVRT: phi (U2, U1) 2p/2pE [°]	LVRT-Betrieb: Winkel zwischen Gegen- und Mitsystemspannung Der Einstellwert wird zur Erkennung der kurzschlussbetroffenen Leiter im Falle eines 2-poligen Kurzschlusses ohne Erde (2p oder 2pE) verwendet, um die unsymmetrischen Leiterströme in die kurzschlussbetroffenen Leiter einzuspeisen.
LVRT: phi (U2, U1) 1pE [°]	LVRT-Betrieb: Winkel zwischen Gegen- und Mitsystemspannung Der Einstellwert wird zur Erkennung der kurzschlussbetroffenen Leiter im Falle eines 1-poligen Kurzschlusses ohne Erde (1pE) verwendet, um die unsymmetrischen Leiterströme in die kurzschlussbetroffenen Leiter einzuspeisen.
LVRT: (U2/U1)> 2p/2pE [p.u.]	LVRT-Betrieb: Der Einstellwert wird bei aktivem LVRT-Betrieb dazu verwendet, einen 2p- oder 2pE-Kurzschluss zu erkennen. Ist das Verhältnis der Beträge der Gegensystemspannung U_2 zur Mitsystemspannung U_1 größer als der Einstellwert, wird von einem 2p- oder 2pE-Kurzschluss im Netz ausgegangen.
LVRT: (U2/U1)> 1pE [p.u.]	LVRT-Betrieb: Der Einstellwert wird bei aktivem LVRT-Betrieb dazu verwendet, einen 1pE-Kurzschluss zu erkennen.
LVRT: (U0/U1)> [p.u.]	LVRT-Betrieb: Der Einstellwert wird bei aktivem LVRT-Betrieb dazu verwendet, um einen Kurzschluss mit Erde zu detektieren.
LVRT: Zyklischer Phasentausch	LVRT-Betrieb: Falls aktiviert werden abhängig von der Kurzschlussart die unsymmetrischen Leiterströme in die Leiter L1, L2 und L3 eingespeist. Bei der Einstellung phi(I2) = phi(U2)+90° wird der Einstellwert LVRT: Zyklischer Phasentausch nicht berücksichtigt, da hier kein zyklischer Phasentausch zur Anpassung an die Kurzschlussart nötig ist.

5.6.12.1.3 Messwerte in Normal- und LVRT-Betrieb

Messwert	Bedeutung
DEA: U1 (0) [kV; p.u.]	Normalbetrieb: Betrag der Spannung im Mitsystem
DEA: U2 (0) [kV; p.u.]	Normalbetrieb: Betrag der Spannung im Gegensystem
DEA: I1 (0) [A]	Normalbetrieb: Betrag des Scheinstromes im Mitsystem
DEA: ø(I1,U1) (0) [°]	Normalbetrieb: Phasenwinkel zwischen dem Mitsystemstrom und der Mitsystemspannung
DEA: I1b (0) [A]	Normalbetrieb: Blindstrom im Mitsystem
DEA: I1w (0) [A]	Normalbetrieb: Wirkstrom im Mitsystem
DEA: I1b (0)	Normalbetrieb: Untererregte oder übererregte Betriebsweise im Mitsystem

DEA: DF1(0)	Normalbetrieb: Verschiebungsfaktor $\cos \varphi = \frac{P}{S}$ im Mitsystem						
LVRT Messort ULL min [V]	LVRT-Betrieb: Betrag der kleinsten Leiter-Leiter-Spannung am LVRT-Messort LVRT Messort						
DEA: dI1b [A] DEA: dI2b [A]	<p>LVRT-Betrieb: Änderung des Blindstromes im Mitsystem ΔI_{1b} und Gegensystem ΔI_{2b}</p> <ul style="list-style-type: none"> <p>MSR2008 [4] Für die Berechnung der Blindstromänderung ΔI_{1b} im Mitsystem wird der Betrag der kleinsten verkettete Spannung im LVRT-Betrieb am LVRT-Messort verwendet. Bezugsspannung ist die Nennspannung LVRT: U_n in der Registerkarte LVRT sowie der in der Registerkarte Allgemeine Daten angezeigte Nennstrom I_n.</p> $\Delta I_{1b} = k \cdot \frac{\left U_{LLmin} - U_n \right }{U_n} \cdot I_n$ <p>U_n : Einstellwert LVRT: U_n [kV]</p> $\Delta I_{2b} = 0$ $\Delta I_{0b} = 0$ <p>VDE-AR-N 4110 [18], VDE-AR-N 4120 [30] ATPDesigner berechnet durch eine Lastflussberechnung im fehlerfreien Normalbetrieb, d.h. der Kurzschluss (roter Blitz) wird im Netz nicht verwendet, die Spannungen im Mitsystem \underline{U}_1, Gegensystem \underline{U}_2 und Nullsystem \underline{U}_0. Wird ein Kurzschluss im Netz verwendet, so werden u.a. die im Normalbetrieb in der letzten Lastflussberechnung im Konvergenzfall berechneten Spannungen und Ströme solange unverändert gespeichert, bis wieder eine Lastflussberechnung im Normalbetrieb ausgeführt wird. Die gespeicherten Werte werden im LVRT-Betrieb z.B. zur Berechnung des Blindstromes der Erzeugungsanlagen verwendet.</p> <table border="1" data-bbox="568 1603 1388 1953"> <thead> <tr> <th data-bbox="568 1603 1002 1675">Einstellwert LVRT: $\text{phi}(U1) = \dots$</th> <th data-bbox="1008 1603 1388 1675">Berechnung der Blindstromänderung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="568 1684 1002 1818">$\text{phi}(U1) = \text{phi}(U1)$</td> <td data-bbox="1008 1684 1388 1818">$\Delta I_{1b} = k \cdot \frac{\left U_1 - U_1(0) \right }{\frac{U_n}{\sqrt{3}}} \cdot I_n$</td> </tr> <tr> <td data-bbox="568 1827 1002 1953">$\text{phi}(U1) = \text{phi}(U1 - U1(0))$</td> <td data-bbox="1008 1827 1388 1953">$\Delta I_{1b} = k \cdot \frac{\left U_1 - U_1(0) \right }{\frac{U_n}{\sqrt{3}}} \cdot I_n$</td> </tr> </tbody> </table> <p>U_1 : Betrag der Mitsystemspannung im LVRT-Betrieb $U_1(0)$: Betrag der Mitsystemspannung im Normalbetrieb</p> 	Einstellwert LVRT: $\text{phi}(U1) = \dots$	Berechnung der Blindstromänderung	$\text{phi}(U1) = \text{phi}(U1)$	$\Delta I_{1b} = k \cdot \frac{\left U_1 - U_1(0) \right }{\frac{U_n}{\sqrt{3}}} \cdot I_n$	$\text{phi}(U1) = \text{phi}(U1 - U1(0))$	$\Delta I_{1b} = k \cdot \frac{\left U_1 - U_1(0) \right }{\frac{U_n}{\sqrt{3}}} \cdot I_n$
Einstellwert LVRT: $\text{phi}(U1) = \dots$	Berechnung der Blindstromänderung						
$\text{phi}(U1) = \text{phi}(U1)$	$\Delta I_{1b} = k \cdot \frac{\left U_1 - U_1(0) \right }{\frac{U_n}{\sqrt{3}}} \cdot I_n$						
$\text{phi}(U1) = \text{phi}(U1 - U1(0))$	$\Delta I_{1b} = k \cdot \frac{\left U_1 - U_1(0) \right }{\frac{U_n}{\sqrt{3}}} \cdot I_n$						

	<p>U_n : Einstellwert LVRT: Un [kV]</p> <p>Es wird empfohlen, für den Einstellwert LVRT: Un [kV] die Vereinbarte Versorgungsspannung U_c nach [4],[18],[30] einzustellen.</p> $\Delta I_{2b} = k \cdot \frac{ U_2 }{U_n / \sqrt{3}} \cdot I_n$ <p>U_2 : Betrag der Gegensystemspannung im LVRT-Betrieb U_n : Einstellwert LVRT: Un [kV]</p> <p>Da in aller Regel das Stromnetz der Erzeugungsanlage (EZA) oder die einzelnen Erzeugungseinheit durch Transformatoren vom Stromnetz getrennt sind, wird bei der üblichen Wahl der Schaltgruppen das Nullsystem der Erzeugungsanlage und des Stromnetzes entkoppelt.</p> $\Delta I_{0b} = 0$
DEA: I1 [A]	LVRT-Betrieb: Betrag des Scheinstromes im Mitsystem
DEA: I1w [A]	LVRT-Betrieb: Wirkstrom im Mitsystem
DEA: I1b [A]	LVRT-Betrieb: Resultierender Blindstrom im Mitsystem
DEA: DF1	LVRT-Betrieb: Betriebsart des Verschiebungsfaktors im Mitsystem
DEA: I2 [A]	LVRT-Betrieb: Betrag des Scheinstromes im Gegensystem
DEA: I2w [A]	LVRT-Betrieb: Wirkstrom im Gegensystem
DEA: I2b [A]	LVRT-Betrieb: Resultierender Blindstrom im Gegensystem

5.6.12.2 Identifikation der Kurzschluss betroffenen Leiter L1, L2 und L3

Mit dem nachfolgenden Entscheidungsdiagramm werden mit Hilfe von Mitsystemspannung \underline{U}_1 , Gegensystemspannung \underline{U}_2 und Nullsystemspannung \underline{U}_0 die vom Kurzschluss betroffenen Leiter L1, L2 und L3 identifiziert. Abhängig von den vom Kurzschluss betroffenen Leitern werden bei der Einstellung **phi(I2) = phi(I1) + phi(I2,I1)** oder **phi(I2) = 90°** unterschiedliche Transformationsmatrizen zur Berechnung der Leiterströme im natürlichen System verwendet. Die Schwellwerte $|\underline{U}_0|/|\underline{U}_1|$ und $|\underline{U}_2|/|\underline{U}_1|$ sind als [Einstellwerte](#) in der Registerkarte **LVRT** einstellbar. Die eingestellten Winkel phi (U2, U1) der Standardeinstellung sind in der Abbildung blau markiert. Durch sie wird der Winkelbereich festgelegt, für den die Transformationsmatrix TS1 angewandt wird ($|\varphi_{U_2U_1}| \geq 130^\circ$ beim 1poligen-Fehler und $|\varphi_{U_2U_1}| \leq 40^\circ$ beim 1poligen-Fehler). Die Winkelbereiche für die Transformationsmatrizen TS2 und TS3 werden durch Addition oder Subtraktion von 120° daraus abgeleitet.

5.6.12.2.1 Verfahren des zyklischen Phasentausches

Durch die Verwendung verschiedener Transformationsmatrizen werden die Leiterströme im Falle eines unsymmetrischen Kurzschlusses so berechnet, dass der Netzzustand im Kurzschlussfall soweit möglich symmetriert wird. Dieses Verfahren wird als **zyklischer Phasentausch** bezeichnet.

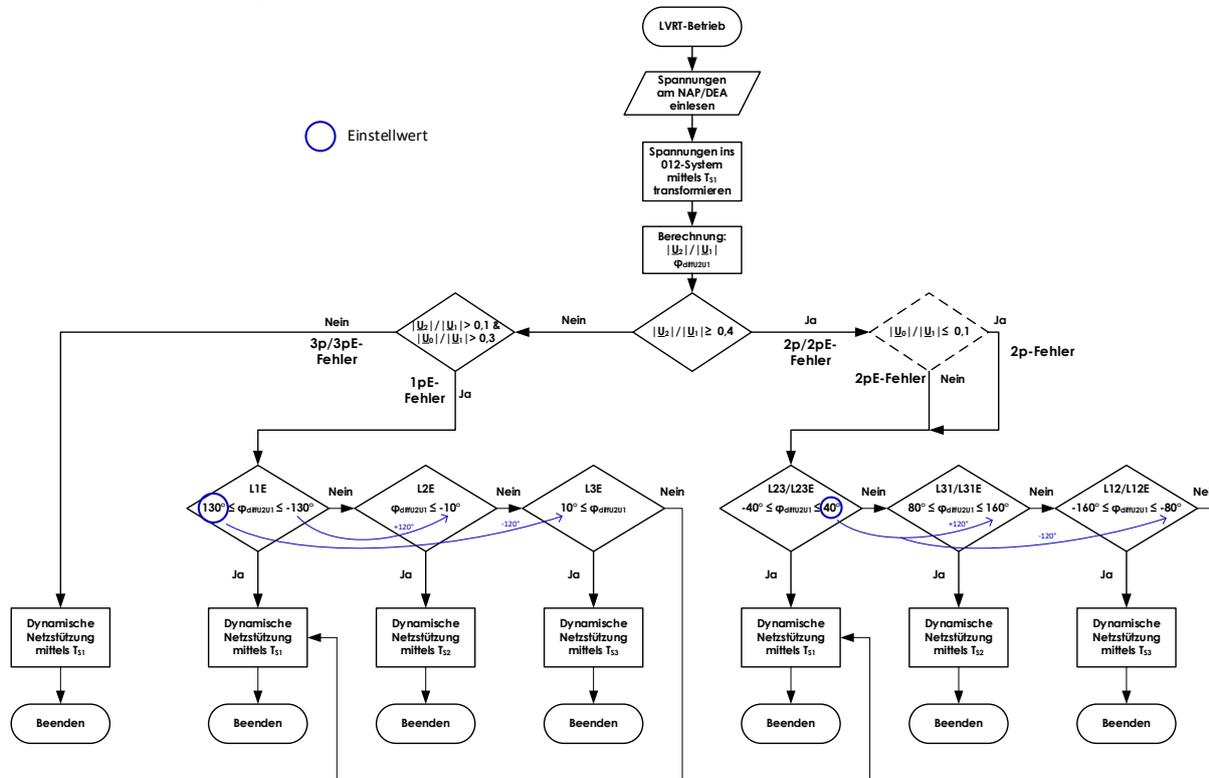


Abbildung 116: Entscheidungsdiagramm zur Erkennung der Kurzschlussart

5.6.12.2.2 Transformationsmatrix TS1

Die Transformationsmatrix wird im Falle eines 3pE-Kurzschlusses oder für die Kurzschlussarten L23, L23E und L1E verwendet.

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

$$\underline{a} = e^{j120^\circ} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad \underline{a}^2 = e^{j240^\circ} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

5.6.12.2.3 Transformationsmatrix TS2

Die Transformationsmatrix wird für die Kurzschlussarten L31, L31E und L2E verwendet.

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

5.6.12.2.4 Transformationsmatrix TS3

Die Transformationsmatrix wird für die Kurzschlussarten L12, L12E und L3E verwendet.

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

5.6.12.3 LVRT-Betrieb einer Erzeugungsanlage anwenden

Nachfolgend wird die Anwendung des LVRT-Betriebes in der Lastflussberechnung erläutert. Die Vorgehensweise sieht zwei Schritte vor.

- ⇒ In den Betriebsarten VDE-AR-N ... ist sowohl der vollständige **LVRT-Betrieb** (im Folgende LVRT-Betrieb genannt) als auch der **eingeschränkte LVRT-Betrieb** einstellbar.

5.6.12.3.1 Schritt 1: Lastflussberechnung im (fehlerfreien) Normalbetrieb

Wie im Kapitel **Berechnung des stationären Lastflusses** beschrieben, muss zuerst eine Lastflussberechnung im fehlerfreien Netzzustand, d.h. ohne **Kurzschluss (roter Blitz)** durchgeführt werden. ATPDesigner speichert nach dem letzten Iterationsschritt die in Abbildung 112 gezeigten und in diesem Kapitel erläuterten Messwerte (= Ergebnisse der Lastflussberechnung). Nach [4][18] muss der Blindstrombetrag sowie die Betriebsweise untererregt oder übererregt im Normalbetrieb der Erzeugungsanlage unmittelbar vor Eintritt des LVRT-Betriebes verwendet werden, um die Betriebsweise im LVRT-Betrieb einstellen zu können.

Folgende Randbedingungen müssen berücksichtigt werden:

- ⇒ Die Ergebnisse der Lastflussberechnung im Normalbetrieb werden sowohl bei Konvergenz als auch bei Divergenz der Lastflussberechnung in der Liste in Abbildung 112 gespeichert.
- ⇒ Die Ergebnisse werden **nicht** gespeichert, wenn ein Kurzschluss, der mit Hilfe des **Kurzschlusses (roter Blitz)** definiert wird, im Netz verwendet wird.
- ⇒ Für die Lastflussberechnung im Normalbetrieb sollten die beiden Optionen **Lastfluss: PQ, PU Knoten**  und **Lastfluss: DEA**  eingeschaltet sein.

Nach dem Iterationsschritt bewertet ATPDesigner die Netzspannung am **LVRT Messort** der Erzeugungsanlage. Mit Hilfe der $U_{<U>}$ -Einstellwerte wird entschieden, ob die Erzeugungsanlage in den LVRT-Betrieb geht oder im Normalbetrieb verbleibt. Diese Bewertung wird nach jedem Iterationsschritt durchgeführt. Es ist also auch möglich, dass während der iterativen Lastflussberechnung die Erzeugungsanlage in den LVRT-Betrieb und wieder zurück in den Normalbetrieb wechselt. Aus diesem Grund sind die $U_{<U>}$ -Einstellwerte zur Erkennung des LVRT- bzw. Normalbetriebes mit einer Hysterese versehen, um ein oszillatorisches Verhalten der iterativen Lastflussberechnung und damit eine Divergenz zu vermeiden.

5.6.12.3.2 MSR2008 - Schritte 2...N: Netzberechnung mit Kurzschluss

Mit Hilfe des Netzwerkelementes **Kurzschluss (roter Blitz)** wird an einem beliebigen Knoten oder entlang einer **Leitung** ein Kurzschluss definiert. Dadurch stellt ATPDesigner für **jedes** Netzwerkelement **Erzeugungsanlage (DEA)**, das im Normalbetrieb entweder in der Betriebsart **Sn (IL:3p) = const.** oder **Pn (IL:3p) = const.** also als 3-phasige symmetrische Leistungsquelle betrieben wird, automatisch folgende Einstellwerte ein:

- Betriebsart **Sn (IL:3p) = const.**
- Deaktivierung der Konvergenzüberwachung der Scheinleistung **Lastfluss: DEA (Phase Adjusting)**

Die originalen Einstellwerte werden nach Beendigung der Lastflussberechnung mit Kurzschluss von ATPDesigner wiederhergestellt.

- ⇒ Für die erweiterte Lastflussberechnung mit Kurzschluss sollte die Option **Lastfluss: PQ, PU Knoten** ausgeschaltet sein. Wegen der geringen Netzspannung kann in aller Regel die eingestellte Leistung der Lasten nicht iterativ vom Lastflussberechnungsverfahren eingestellt werden. So wird es in aller Regel zur Divergenz der erweiterten Lastflussberechnung (**LF = fehlerhaft**) kommen.

In jedem Iterationsschritt wird der Betrag der kleinsten Leiter-Leiter-Spannung $U_{LL\ min}$ am LVRT-Messort ermittelt. Nach [4] wird die Blindstromänderung ΔI_{1b} im Mitsystem mit Hilfe der Nennspannung **LVRT: U_n [kV]** berechnet.

$$\Delta I_{1b} = k \cdot \frac{\left| |U_{LL\ min}| - U_n \right|}{U_n} \cdot I_n$$

$$\Delta I_{2b} = 0$$

$$\Delta I_{0b} = 0$$

Es erfolgt keine Änderung der Blindströme im Gegen- und Nullsystem gegenüber dem Normalbetrieb. Geht man davon aus, dass der Gegen- und Nullstrom der **Erzeugungsanlage (DEA)** am Netzanschlusspunkt (NAP) im Normalbetrieb gleich 0A beträgt, so erfolgt auch im LVRT-Betrieb keine Stromeinspeisung im Gegen- und Nullsystem.

Um den Betrag des im LVRT-Betrieb einzuspeisenden Blindstromes I_{1b} im Mitsystem zu berechnen, muss die Betriebsart übererregt oder untererregt der Erzeugungsanlage

im Normalbetrieb, d.h. unmittelbar vor Eintritt des LVRT-Betriebes berücksichtigt werden. Damit die Netzspannung im Kurzschlussfall gestützt, d.h. möglichst erhöht wird, muss die Erzeugungsanlage nach Möglichkeit Blindstrom ins Netz einspeisen. Die Erzeugungsanlage sollte bei anstehendem Kurzschluss in den übererregten Betrieb gehen.

Es wird hier nochmals darauf hingewiesen, dass das Netzwerkelement **Erzeugungsanlage (DEA)** und daher auch die nachfolgenden Erläuterungen das **Erzeugerzählpfeilsystem (EZS)** verwendet. Die Normenwerke und Anwendungsrichtlinien verwenden i.a. Regel dagegen das Verbraucherzählpfeilsystem (VZS).

- Ein von der Erzeugungsanlage in das Stromnetz eingespeister Strom wird im Sinne des EZS mit einem positiven Vorzeichen gezählt.
- Ein von der Erzeugungsanlage aus dem Stromnetz bezogener Strom wird im Sinne des EZS mit einem negativen Vorzeichen gezählt.

Aus den bisherigen Überlegungen ergeben sich die nachfolgenden Gleichungen für die Berechnung des Blindstromes im LVRT-Betrieb der Erzeugungsanlagen.

- **Betriebsart untererregt vor Beginn des LVRT-Betriebes: $I_{1b}(0) < 0$**

$$I_{1b} = \Delta I_{1b} - I_{1b(0)}$$

Betriebsart im LVRT-Betrieb: I_{1b} untererregt

Ist im LVRT-Betrieb der resultierende Blindstrom $I_{1b} < 0$, so ist der Blindstrom $I_{1b}(0)$ vor dem LVRT-Betrieb dem Betrage nach **größer** als die Blindstromänderung ΔI_{1b} . Die Erzeugungsanlage bezieht daher im LVRT-Betrieb den Mitsystemblindstrom I_{1b} untererregt ein.

Betriebsart im LVRT-Betrieb: I_{1b} übererregt

Ist der resultierende Blindstrom $I_{1b} > 0$, so ist der Blindstrom $I_{1b}(0)$ vor dem LVRT-Betrieb dem Betrage nach **kleiner** als die Blindstromänderung ΔI_{1b} . Die dezentralen Erzeugungsanlage speist daher im LVRT-Betrieb den Mitsystemblindstrom I_{1b} übererregt ein.

- **Betriebsart übererregt vor Eintritt des LVRT-Betriebes: $I_{1b}(0) > 0$**

$$I_{1b} = \Delta I_{1b} + I_{1b(0)}$$

Betriebsart im LVRT-Betrieb: I_{1b} übererregt

Da der Blindstrom $I_{1b}(0)$ vor dem LVRT-Betrieb übererregt eingespeist wird, ist auch der resultierende Blindstrom I_{1b} im LVRT-Betrieb übererregt.

Der berechnete Betrag des Mitsystemblindstromes I_{1b} wird in Normalbetrieb und LVRT-Betrieb auf den maximal zulässigen Leiterstrom begrenzt. Da die Erzeugungsanlage als 3-phasige symmetrische Leistungsquelle betrieben wird, entspricht der Betrag des Mitsystemstromes $|I_1|$ den Beträgen der drei Leiterströme $|I_{L123}|$ im natürlichen System.

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{L1} \\ \underline{I}_{L2} \\ \underline{I}_{L3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \underline{a}^2 & \underline{a} & 1 \\ \underline{a} & \underline{a}^2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_0 \\ \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \end{bmatrix}$$

$$\underline{a} = e^{j120^\circ} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad \underline{a}^2 = e^{j240^\circ} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

Die Netzberechnung im Kurzschlussfall, d.h. mit **Kurzschluss (roter Blitz)** im Netz kann beliebig oft hintereinander durchgeführt werden.

5.6.12.3.3 VDE-AR-N 4110/4120 - Schritte 2...N: Netzberechnung mit Kurzschluss

Wie in der Betriebsart **MSR2008** wird mit Hilfe des Netzwerkelementes **Kurzschluss (roter Blitz)** an einem beliebigen Knoten oder entlang einer **Leitung** ein Kurzschluss definiert. ATPDesigner stellt für **jedes** Netzwerkelement **Erzeugungsanlage (DEA)**, das im Normalbetrieb entweder in der Betriebsart **Sn (IL:3p) = const.** oder **Pn (IL:3p) = const.** also als 3-phasige symmetrische Leistungsquelle betrieben wird, automatisch folgende Einstellwerte ein:

- Betriebsart **Sn (IL:3p) = const.**
- Deaktivierung der Konvergenzüberwachung der Scheinleistung **Lastfluss: DEA (Phase Adjusting)**

Die originalen Einstellwerte werden nach Beendigung der Lastflussberechnung mit Kurzschluss von ATPDesigner wiederhergestellt.

Zur Berechnung der im LVRT-Betrieb einzuspeisenden Ströme verwendet ATPDesigner die im Normalbetrieb, d.h. ohne **Kurzschluss (roter Blitz)** berechneten Spannungen und Ströme in Mit-, Gegen- und Nullsystem. Die Werte werden als Messwerte in dem Registerkarte **LVRT** und in einem **Tooltip** angezeigt. Die Berechnungsergebnisse des Normalbetriebes werden durch das Setzen des **Kurzschlusses (roter Blitz)** im Stromnetz durch ATPDesigner automatisch gespeichert.

Wird ein Kurzschluss im Netz verwendet, so werden die im Normalbetrieb in der letzten Lastflussberechnung im Konvergenzfall berechneten Spannungen und Ströme solange unverändert gespeichert, bis wieder eine Lastflussberechnung im Normalbetrieb ausgeführt wird. Die gespeicherten Werte werden im LVRT-Betrieb z.B. zur Berechnung des Blindstromes im LVRT-Betrieb verwendet.

Die Berechnung der Spannungen und Ströme in Symmetrischen Komponenten erfolgt aus den Leiter-Erd-Spannungen \underline{U}_{L123} bzw. den Leiterströmen \underline{I}_{L123} . Nachfolgend die Transformationsgleichung für die Leiter-Erd-Spannungen.

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

$$\underline{a} = e^{j120^\circ} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad \underline{a}^2 = e^{j240^\circ} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

Die Spannungen und Ströme in Mit-, Gegen- und Nullsystem werden, wie nachfolgend beschrieben zur Berechnung der im LVRT-Betrieb einzuspeisenden Leiterströme des natürlichen Systems verwendet.

Der Einspeisestrom der Erzeugungsanlage setzt sich nach [18],[30] aus Wirkstrom und Blindstrom zusammen. Der Blindstrom hat eine Komponente im Mitsystem und im Gegensystem. Die Komponente im Nullsystem wird auf Grund der üblichen Schaltgruppe der Transformatoren nicht in das Stromnetz übertragen und kann daher zu Null angenommen werden.

Der im LVRT-Betrieb einzuspeisende Blindstrom setzt sich aus einer Mitsystem- und einer Gegensystemkomponente zusammen.

Einstellwert LVRT: phi(U1) = ...	Berechnung der Blindstromänderung
phi(U1) = phi(U1)	$\Delta I_{1b} = k \cdot \frac{\left \underline{U}_1 \right - \left \underline{U}_1(0) \right }{\frac{U_n}{\sqrt{3}}} \cdot I_n$
phi(U1) = phi(U1 - U1(0))	$\Delta I_{1b} = k \cdot \frac{\left \underline{U}_1 - \underline{U}_1(0) \right }{\frac{U_n}{\sqrt{3}}} \cdot I_n$

- U₁ : Betrag der Mitsystemspannung im LVRT-Betrieb
- U₁(0) : Betrag der Mitsystemspannung im Normalbetrieb
- U_n : Einstellwert **LVRT: Un [kV]**

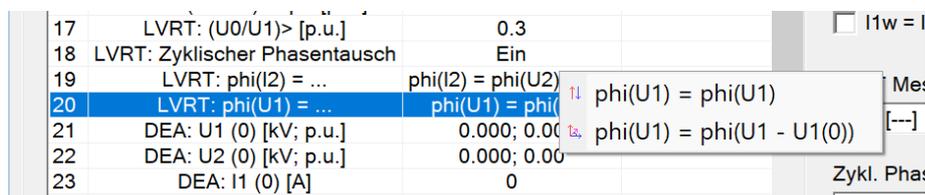


Abbildung 117: Einstellwert phi(U1) in der Registerkarte LVRT

Es wird empfohlen, für den Einstellwert **LVRT: Un [kV]** die **Vereinbarte Versorgungsspannung U_c** nach [4],[18] einzustellen.

$$\Delta I_{2b} = k \cdot \frac{\left| \underline{U}_2 \right|}{\frac{U_n}{\sqrt{3}}} \cdot I_n$$

U_2 : Betrag der Gegensystemspannung im LVRT-Betrieb
 U_n : Einstellwert **LVRT: Un [kV]**

Das Nullsystem des Stromnetzes und der Erzeugungsanlage wird üblicherweise durch einen Transformator mit entsprechender Schaltgruppe und Sternpunktbehandlung entkoppelt. Daher kann aus Sicht des Stromnetzes die Änderung des Nullstromes zu Null angenommen werden.

$$\Delta I_{0b} = 0$$

Unter der Annahme, dass im Normalbetrieb Gegenstrom $I_2(0)$ und Nullstrom $I_0(0)$ gleich Null sind ergeben sich die Ströme in Mit-, Gegen- und Nullsystem im LVRT-Betrieb wie nachfolgend erläutert.

5.6.12.3.3.1 LVRT-Betrieb: Nullsystemstrom

Es wird davon ausgegangen, dass üblicherweise durch die Wahl von Schaltgruppe und Sternpunktbehandlung der Transformatoren zwischen Stromnetz und Erzeugungsanlage eine Entkopplung der Nullsysteme angenommen werden kann. Im LVRT-Betrieb ergibt sich der von der Erzeugungsanlage in das Stromnetz eingespeiste Nullstrom zu Null.

$$\underline{I}_0 = 0$$

5.6.12.3.3.2 LVRT-Betrieb: Berechnung des Mitsystemstroms I_1

Die verfügbaren Varianten zur Berechnung des Mitsystemstroms I_1 im LVRT-Betrieb sind nachfolgend erläutert.

- für **phi(U1) = phi(U1)**

$$\underline{I}_1 = I_{Iw(0)} + j \left(\Delta I_{1b} \pm I_{1b(0)} \right)$$

- für **phi(U1) = phi(U1 - U1(0))**

muss die Phasenverschiebung $dPh = \varphi_{U1(0)} - \varphi_{U1}$ zwischen den Mitsystemspannungen vor und nach Fehlereintritt berücksichtigt werden.

Aus $\Delta I_{1b} = k \cdot e^{j90^\circ} \cdot \frac{U_1 - U_1(0)}{U_n / \sqrt{3}} \cdot I_n$ und $\underline{I}_1 = \underline{I}_1(0) - \Delta I_{1b}$ im Verbraucherzählpfeilsystem folgt für das Erzeugerzählpfeilsystem mit $\underline{I}_1 = \underline{I}_1(0) + \Delta I_{1b}$

$$\underline{I}_1 = j \cdot \left(k \cdot \frac{U_1 - U_1(0)}{U_n / \sqrt{3}} \cdot I_n \right) + \underline{I}_1(0)$$

Legt man die Mitsystemspannung \underline{U}_1 im Kurzschlussfall als Bezug in die reelle Achse des Koordinatensystems in der komplexen Ebene folgen

$$\underline{U}_1 = |\underline{U}_1| \text{ und}$$

$$\underline{U}_1(0) = |\underline{U}_1(0)| \cdot e^{jdPh} \text{ sowie}$$

$$\underline{I}_1(0) = (I_{1w}(0) \pm jI_{1b}(0)) \cdot e^{jdPh} \text{ und damit}$$

$$\underline{I}_1 = j \left(k \cdot \frac{|\underline{U}_1| - |\underline{U}_1(0)| \cdot e^{jdPh}}{U_n/\sqrt{3}} \cdot I_n \right) + (I_{1w}(0) \pm jI_{1b}(0)) \cdot e^{jdPh}$$

$$\underline{I}_1 = \left\{ k \cdot \frac{|\underline{U}_1(0)|}{U_n/\sqrt{3}} \cdot \sin(dPh) \cdot I_n + I_{1w}(0) \cdot \cos(dPh) \mp I_{1b}(0) \cdot \sin(dPh) \right\}$$

$$-j \left\{ -k \cdot \frac{|\underline{U}_1|}{U_n/\sqrt{3}} \cdot I_n + k \cdot \frac{|\underline{U}_1(0)|}{U_n/\sqrt{3}} \cdot \cos(dPh) \cdot I_n \mp I_{1b}(0) \cdot \cos(dPh) - I_{1w}(0) \cdot \sin(dPh) \right\}$$

5.6.12.3.3 LVRT-Betrieb: Berechnung des Gegensystemstroms \underline{I}_2

Die verfügbaren Varianten zur Berechnung des Gegensystemstroms \underline{I}_2 im LVRT-Betrieb sind nachfolgend erläutert.

Einstellwert LVRT: $\text{phi}(U1) = \dots$	Berechnung des Blindstroms im Gegensystem \underline{I}_2
$\text{phi}(I2) = +90^\circ$	$\underline{I}_2 = j\Delta I_{2b}$
$\text{phi}(I2) = \text{phi}(I1) + \text{phi}(I2, I1)$	$\underline{I}_2 = \Delta I_{2b} \cdot e^{j(\varphi_{I1} + \text{phi}(I2, I1))}$
$\text{phi}(I2) = \text{phi}(U2) + 90^\circ$	$\underline{I}_2 = \Delta I_{2b} \cdot e^{j(\varphi_{U2} + 90^\circ)}$

16	LVRT: (U2/U1)> 1pE [p.u.]	0.1	
17	LVRT: (U0/U1)> [p.u.]	0.3	<input type="checkbox"/> I1w = I1w(C
18	LVRT: Zyklischer Phasentausch	Ein	
19	LVRT: phi(I2) = ...	phi(I2) = phi(U2)	<input type="checkbox"/> phi(I2) = phi(I1) + phi(I2,I1)
20	LVRT: phi(U1) = ...	phi(U1) = phi(U2)	<input type="checkbox"/> phi(I2) = 90°
21	DEA: U1 (0) [kV; p.u.]	0.000; 0.000	<input type="checkbox"/> phi(I2) = phi(U2) + 90°
22	DEA: U2 (0) [kV; p.u.]	0.000; 0.000	
23	DEA: I1 (0) [A]	0	Zykl. Phasent
24	DEA: phi(I1,U1) (0) [°]	0	Auto

Abbildung 118: Einstellwert $\text{phi}(I2)$ in der Registerkarte LVRT

Dabei ist φ_{I1} die Phasenlage des berechneten Mitsystemstroms \underline{I}_1 und $\text{phi}(I2,I1)$ entspricht dem Einstellwert in der Registerkarte LVRT.

8	LVRT: U<>=(ULL;ULE)	LVRT: U<>=(ULL)	
9	LVRT: I1w [A]	0	
10	LVRT: cos phi (I1)	0	
11	LVRT: cos phi (I1)	übererregt	
12	LVRT: phi (I2, I1) [°]	180	
13	LVRT: phi (U2, U1) 2p/2pE [°]	40	
14	LVRT: phi (U2, U1) 1pE [°]	130	
15	LVRT: (U2/U1)> 2p/2pE [p.u.]	0.4	<input type="checkbox"/> L = (

Abbildung 119: Einstellwert $\text{phi}(I2, I1)$ in der Registerkarte LVRT

Dabei ist φ_{U2} die Phasenlage der Gegensystemspannung \underline{U}_2 am Netzanschlusspunkt (NAP) der dezentralen Erzeugungsanlage.

Bei der voranstehend gezeigten Berechnung von Mit- und Gegensystemstrom wird gemäß VDE-AR-N 4110 die komplexe Mitsystemspannung als Bezug auf die Realteilachse gelegt. Bei der Berechnung mit ATPDesigner werden die Phasenlagen im Rahmen der Iteration an die tatsächliche Phasenlage der Mitsystemspannung angepasst.

Wie erläutert muss die übererregte oder untererregte Betriebsweise der Blindstromeinspeisung im Normalbetrieb unmittelbar vor dem LVRT-Betrieb bei der Berechnung der Leiterströme \underline{I}_{L123} für den LVRT-Betrieb berücksichtigt werden. Um die Leiterströme \underline{I}_{L123} im natürlichen System zu berechnen, wird die nachfolgende Transformationsgleichung verwendet.

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{L1} \\ \underline{I}_{L2} \\ \underline{I}_{L3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_0 \\ \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \end{bmatrix}$$

5.6.12.3.4 LVRT-Betrieb VDE-AR-N 4110/4120: Begrenzung der Leiterströme \underline{I}_{L123}

In der LVRT-Betriebsart nach VDE-AR-N 4110 erfolgt die Strombegrenzung der Leiterströme \underline{I}_{L123} im natürlichen System, nicht im System der symmetrischen Komponenten. Zunächst wird der Leiterstrom mit maximalem Strombetrag I_{Lmax} ermittelt. Dann wird das Verhältnis des Betrages des maximalen Leiterstromes zum maximal zulässigen Leiterstrom I_{max} berechnet.

Ist das Verhältnis größer als 1 p.u. muss der Betrag des maximalen Leiterstromes auf den maximal zulässigen Leiterstrom I_{max} begrenzt werden. Die beiden anderen Leiterströme werden bzgl. des Betrages ebenfalls mit dem Verhältnis verringert, so dass das Verhältnis der Beträge der drei Leiterströme erhalten bleibt. Die Phasenwinkel der drei Leiterströme bleiben unverändert.

5.6.12.4 Erkennen des LVRT-Betriebes, Rückfall in den Normalbetrieb

Der Eintritt in den **LVRT-Betrieb** bzw. der Rückfall in den Normalbetrieb sowie der Eintritt in den **eingeschränkten LVRT-Betrieb** bzw. der Rückfall in den LVRT-Betrieb erfolgt mit Hilfe einer Spannungsüberwachung mit den beiden Anregeschwellen **LVRT: U< [p.u.]** und **LVRT: U> [p.u.]**. Durch Einstellung von **LVRT: U<>=f(ULE)** oder **LVRT: U<>=f(ULL)** kann ausgewählt werden, ob die Beträge der drei Leiter-Erd-Spannungen oder Leiter-Leiter-Spannungen verwendet werden. Die Umrechnung der **[p.u.]**-Einstellwerte in Volt erfolgt mit Hilfe des Einstellwertes **LVRT: Un [kV]** in der Registerkarte **LVRT**.

Einstellwert	Bedeutung
LVRT: U<>=f(ULE)	Es werden die drei Leiter-Erd-Spannungen \underline{U}_{L1} , \underline{U}_{L2} , \underline{U}_{L3} ausgewertet.
LVRT: U<>=f(ULL)	Es werden die drei Leiter-Leiter-Spannungen \underline{U}_{12} , \underline{U}_{23} , \underline{U}_{31} ausgewertet.
LVRT (lim): U<>=f(ULE)	Es werden die drei Leiter-Erd-Spannungen \underline{U}_{L1} , \underline{U}_{L2} , \underline{U}_{L3} ausgewertet.

LVRT (lim): $U < f(U_{LE})$

Es werden die drei Leiter-Leiter-Spannungen U_{12} , U_{23} , U_{31} ausgewertet.

Folgende Regeln sind abhängig von der ausgewählten Betriebsart der Spannungsüberwachung zu beachten.

1. Die Erzeugungsanlage verbleibt im Normalbetrieb, solange die drei Leiter-Leiter- oder Leiter-Erd-Spannungen dem Betrage nach größer als die Überspannungsanregung $U >$ bleiben.
2. Die Erzeugungsanlage geht vom Normalbetrieb in den LVRT-Betrieb bzw. vom LVRT-Betrieb in den eingeschränkten LVRT-Betrieb, wenn mindestens eine der drei Leiter-Leiter- oder Leiter-Erd-Spannungen dem Betrage nach kleiner als die Unterspannungsanregung $U <$ ist.
3. Die Erzeugungsanlage geht vom LVRT-Betrieb in den Normalbetrieb bzw. vom eingeschränkten LVRT-Betrieb in den LVRT-Betrieb, wenn die drei Leiter-Leiter- oder die drei Leiter-Erd-Spannungen gleichzeitig größer als die Überspannungsanregung $U >$ sind.

Mit Hilfe der beiden Anregerwerte $U <$ und $U >$ kann eine Hysterese eingestellt werden, die das „Klappern“ der Anregung und damit ein ggfs. divergentes Verhalten der iterativen Netzberechnung vermieden werden kann.

5.6.12.5 Farbliche Kennzeichnung des LVRT-Betriebes der DEA

Der LVRT-Betrieb einer dezentralen Erzeugungsanlage mit dem Netzwerkelement **Erzeugungsanlage (DEA)** wird durch eine **hellblaue** Einfärbung des grafischen Symbols der **Erzeugungsanlage (DEA)** mit einem roten Zusatzsymbol wie nachfolgend dargestellt.

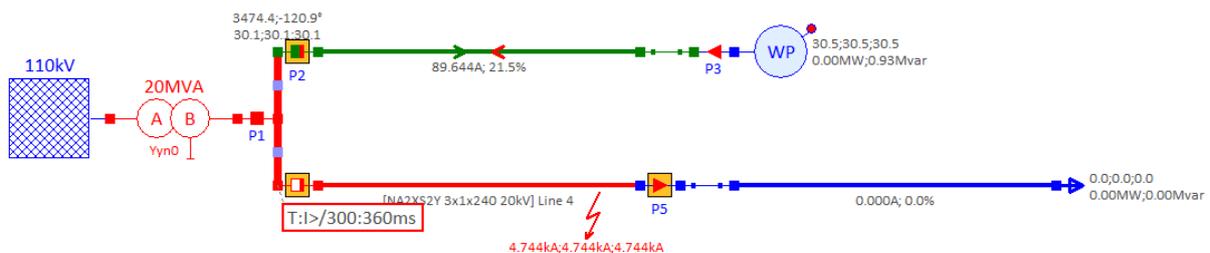
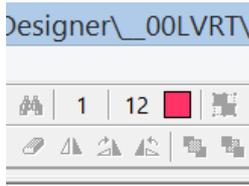


Abbildung 120: Kennzeichnung des LVRT-Betriebes

5.6.12.6 Aktiver LVRT-Betrieb ohne Verwendung des Kurzschlusses im Netz

Wird die Netzspannung z.B. durch die Nennspannung U_n der **Netzeinspeisung** im Vergleich zur Nennspannung **LVRT: U_n [kV]** zu klein eingestellt, so kann die dezentrale Erzeugungsanlage in den LVRT-Betrieb gehen, ohne dass ein **Kurzschluss (roter Blitz)** im Netz verwendet wird.



⇒ Die Lastflussiteration berechnet in diesem Fall den Betrag des Mitsystemstromes mit $I_1 \approx 0A$, was zu einer fehlerhaften Einstellung des Netzes führt. Das Fehlverhalten wird z.B. durch die **rote Error-LED** in der oberen Toolbar angezeigt.

5.6.12.7 LVRT-Betrieb: Wirkstromeinspeisung im Mitsystem

Nach [4] muss die dezentrale Erzeugungsanlage Blindstrom zur Spannungsstützung ins Netz einspeisen. Abhängig vom maximal zulässigen Betrag des Scheinstromes kann ggfs. zusätzlich ein Wirkstrom ins Netz eingespeist werden, der ebenfalls spannungsstützend wirkt. Mit Hilfe der Einstellwerte **LVRT: cos phi (I1)** und **LVRT: I1W [A]** ist es möglich, einen zusätzlichen Wirkstrom im LVRT-Betrieb einzuspeisen.

Ausgehend von dem nach [4] vorgegebenen Blindstrom wird der maximal zulässige Wirkstrom berechnet.

$$I_{Iw\max} = \sqrt{I_{\max}^2 - I_{Ib}^2}$$

Im Weiteren wird der vom Anwender gewünschte Wirkstrom I_{Iw} mit Hilfe des Verschiebungsfaktors $\cos \varphi = \text{LVRT: cos phi (I1)}$ berechnet.

$$I_{Iw} = \frac{I_{Ib}}{\tan(\arccos(\cos \varphi))}$$

Alternativ kann der Wirkstrom auch mit dem Einstellwert **LVRT: I1W [A]** direkt vorgegeben werden.

5.6.12.7.1 Auswahl des in der Lastflussberechnung verwendeten Wirkstromes I_{Iw}

Wie erläutert kann der Anwender den maximalen Wirkstrom im LVRT-Betrieb durch die beiden Einstellwerte **LVRT: cos phi (I1)** und **LVRT: I1W [A]** definieren.

- ⇒ **ATPDesigner wählt den größeren der beiden Wirkströme als internen Wirkstrom aus, der im numerischen Modell der dezentralen Erzeugungsanlage verwendet wird.** Der ausgewählte Wirkstrom I_{Iw} wird auf den maximal zulässigen Wirkstrom $I_{Iw\max}$ begrenzt.

Es muss hier explizit darauf hingewiesen werden, dass der Wirkstrom im LVRT-Betrieb nicht in allen LVRT-Betriebsfällen erreicht werden kann. Der tatsächlich im LVRT-Betrieb erreichte Verschiebungsfaktor wird im **Tooltip der Erzeugungsanlage (DEA)** angezeigt.

In der Betriebsart **phi(U1) = phi(U1)** wird bevorzugt Blindstrom eingespeist, ein zusätzlicher Wirkstrom im Mitsystem kann nur eingespeist werden, wenn der geforderte Blindstrom kleiner als der Bemessungsstrom der Anlage bleibt.

In der Betriebsart **phi(U1) = phi(U1-U1(0))** ist der geforderte zusätzliche Blindstrom ΔI_{Ib} dagegen eine komplexe Größe mit Wirk- und Blindanteil. In diesem Fall wird nicht der Blindanteil bevorzugt, sondern die sich ergebende Phasenlage wird beibehalten und die resultierenden Leiterströme werden im Anschluss so reduziert, dass der Bemessungsstrom der Anlage eingehalten wird. Die Wirkleistung im Mitsystem wird dabei auf die

im Vorfehlerbetrieb verfügbare Wirkleistung begrenzt. Ist mithilfe der Einstellwerte ein größerer Wirkstrom I_{lw} eingestellt als sich aus ΔI_{1b} gemäß den Formeln der Anwendungsregel ergibt, wird der eingestellte Wert berücksichtigt, soweit der Bemessungsstrom der Anlage es zulässt.

5.6.12.8 Einstellhinweis für den Kurzschluss im LVRT-Betrieb

Steht ein **Kurzschluss (roter Blitz)** in der Anschlussleitung zur Erzeugungsanlage an, so kann wegen des internen Modells insbesondere beim 3-poligen Kurzschluss die für die **Erzeugungsanlage (DEA)** messbare Netzspannung sehr klein sein. Damit kann es zu einer Divergenz im LVRT-Betrieb kommen. Es wird empfohlen, am Kurzschlussort ggfs. einen [Fehlerwiderstand](#) z.B. 0,1 Ohm vorzusehen.

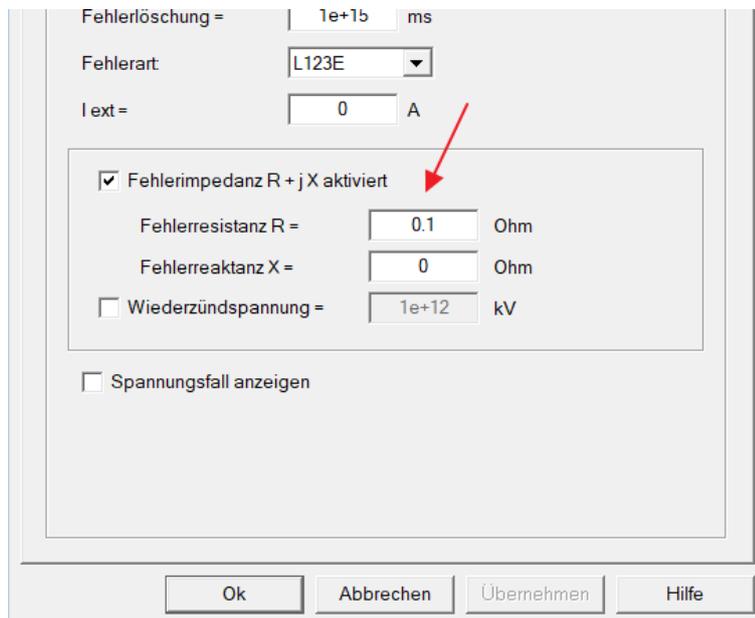


Abbildung 121: LVRT-Betrieb - Fehlerwiderstand zur Vermeidung von Divergenz

5.6.12.9 Beispiel: 10MW-Windpark in einem 20kV-Mittelspannungsnetz

In der nachfolgenden Abbildung ist beispielhaft ein 10MW-Windpark in einem 20kV-Mittelspannungsnetz dargestellt. Der Transformator in der Umspannanlage ist mit einem [Stufenschalter mit Spannungsregler](#) ausgestattet. Die Lastflussberechnung erfolgt mit aktiven Optionen [Lastfluss: PQ, PU Knoten](#) und [Lastfluss: DEA](#).

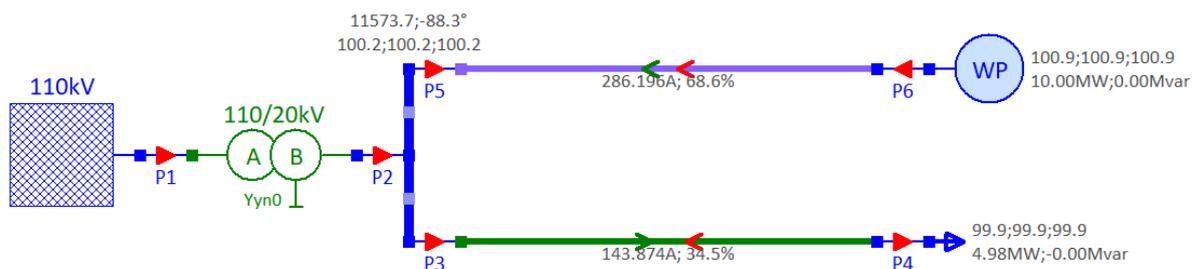


Abbildung 122: 10MW-Windpark in einem 20kV-Mittelspannungsnetz

ATPDesigner speichert nun für die **Erzeugungsanlage (DEA)** die Einspeiseströme. Es muss hier beachtet werden, dass die in der letzten Zeile angegebenen Leiterströme IL1, IL2 und IL3 gleich 0A betragen, da der LVRT-Betrieb deaktiviert ist. Die netzphysikalisch eingespeisten Leiterströme werden im Tooltip ebenfalls angegeben.

```
[3Ph 1] 10MW
Einstellwerte: Pn (IL:3p) = const.; Betriebsart S/P: Begrenzung IL = Imax deaktiviert
Einstellwerte: P=10000.00kW; Un=20.000kV fn=50.00Hz; Phi=0.0°; E=0kWh; LVRT=EIN
Einstellwerte: CP=1.000 untererregt; ILmax=346.4A; 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<=0.8p.u.; NAP=3Ph.; NAP(LVRT)=3Ph.
U12=20.1741kV, -58.0°, 100.9%; U23=20.1741kV, -178.0°, 100.9%; U31=20.1741kV, 62.0°, 100.9%
UL1=11.6475kV, -88.0°, 100.9%; UL2=11.6475kV, 152.0°, 100.9%; UL3=11.6475kV, 32.0°, 100.9%
Um=11.647kV
IL1=286.196A, -88.0°, [-0.0°]; IL2=286.196A, 152.0°, [-0.0°]; IL3=286.196A, 32.0°, [-0.0°]
IL1=99.1%In; IL2=99.1%In; IL3=99.1%In [In=288.675A]
S=10.000442kVA, P=10.000442kW, Q=0.000000kvar, 1.000
NAP: U1=11647.0V, -88.0°; I1=285.5A, -88.0°, [0.0°]
LVRT OFF: Un=20.000kV; U<=88.0%; U>=92.0%
LVRT OFF: Messort[NAP(LVRT)]=DEA; ULLmin=20173.217V=100.9%; U1(0)=11647.529V
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)=0.043A übererregt; CP1(0)=1.000; I2b(0)=0.000A
LVRT OFF: I1w(0)=286.196A; I1(0)=286.196A; 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°
```

Abbildung 123: Messwerte einer Erzeugungsanlage im Normalbetrieb

Im nächsten Schritt muss die Option **Lastfluss: PQ, PU Knoten** deaktiviert werden, da bei zu geringer Netzspannung wegen der Lasten keine Konvergenz erreicht werden kann. Durch die Deaktivierung wird auch der Stufenschalter nicht mehr gestuft und bleibt auf dem letzten Zustand eingefroren.

Tritt in einem anderen Abgang ein **Kurzschluss** auf und ist der LVRT-Betrieb der dezentralen Erzeugungseinheit (DEA) deaktiviert (**LVRT OFF**), so geht die Erzeugungsanlage in die Strombegrenzung (**grüne Einfärbung**).

Die Berechnungsergebnisse sind in aller Regel nicht gültig, da auf Grund des fehlenden LVRT-Betriebes die Erzeugungsanlage im Kurzschlussfall wegen der zu geringen Netzspannung am Netzanschlusspunkt (NAP) die eingestellte Nennleistung nicht einspeisen kann und die Lastflussberechnung daher divergiert.

- ⇒ Um eine Konvergenz der Lastflussberechnung möglichst zu erreichen, sollte für den **Kurzschluss (roter Blitz)** ein Übergangswiderstand von 100mΩ eingestellt werden. Dadurch wird am Kurzschlussort eine geringe Restspannung durch den dort fließenden Kurzschlussstrom erzeugt, was oftmals ausreicht, um eine Konvergenz der Lastflussberechnung zu erreichen.

Die **rote Umrandung** des Symbols der Erzeugungsanlage in der nachfolgenden Abbildung zeigt an, dass die Leiterströme I_{L123} der Erzeugungsanlage dem Betrage nach durch den maximal zulässigen Leiterstrom begrenzt wurden.

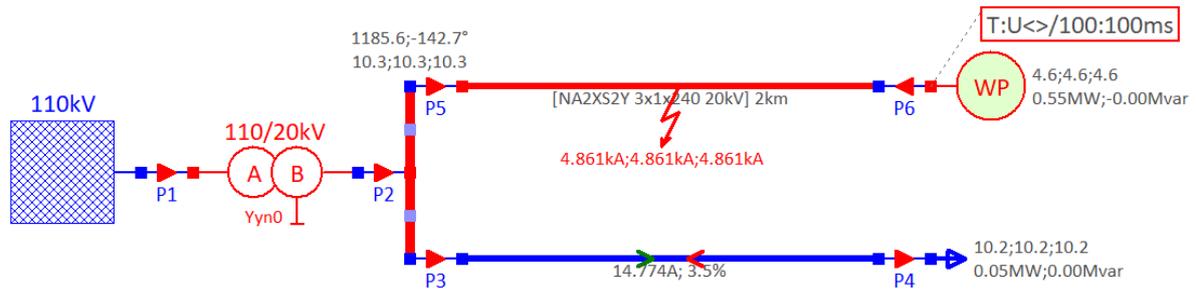


Abbildung 124: 10MW-Windpark mit Kurzschluss – Begrenzung des Einspeisestromes (LVRT OFF)

```
[3Ph 1] 10MW
Einstellwerte: Pn (IL:3p) = const.; Betriebsart S/P: Begrenzung IL = Imax aktiviert
Einstellwerte: P=10000.00kW; Un=20.000kV fn=50.00Hz; Phi=0.0°; E=0kWh; LVRT=AUS
Einstellwerte: CP=1.000 untererregt; ILmax=346.4A; 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<=0.8p.u.; NAP=3Ph.; NAP(LVRT)=3Ph.
U12=916.578V, -133.4°, 4.6%; U23=916.578V, 106.6°, 4.6%; U31=916.578V, -13.4°, 4.6%
UL1=529.188V, -163.4°, 4.6%; UL2=529.186V, 76.6°, 4.6%; UL3=529.185V, -43.4°, 4.6%
Um=0.528809kV
IL1=346.41A, -163.3°, [0.1°]; IL2=346.41A, 76.7°, [0.1°]; IL3=346.41A, -43.3°, [0.1°]
IL1=120.0%In; IL2=120.0%In; IL3=120.0%In [In=288.675A]
S=549.946647kVA, P=549.945810kW, Q=-0.959837kvar, 1.000
NAP(LVRT): U1=528.8V, -163.3°; I1=346.4A, -162.8°, [0.5°]
LVRT OFF: IL1=0.000A; 0.00°; IL2=0.000A; 0.00°; IL3=0.000A; 0.00°
```

Wird jetzt der LVRT-Betrieb für die Erzeugungsanlage aktiviert (**LVRT ON**), so geht die Erzeugungsanlage (DEA) in den LVRT-Betrieb (**blaue Einfärbung**).

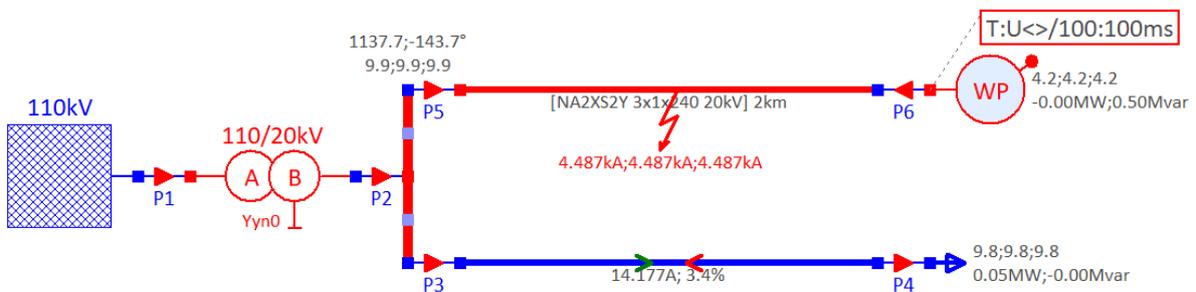


Abbildung 125: 10MW-Windpark mit Kurzschluss – LVRT-Betrieb (LVRT ON) mit $k_1 = 2$

In der nachfolgenden Abbildung ist zu erkennen, dass der Spannungseinbruch **ULL_{min}** beträgt und die Blindstromänderung zu **dI_{1b}** berechnet wird. Die Anlage speist im LVRT-Betrieb nur einen Blindstrom **I_{1b}** ein, da der untererregte Blindstrom des Normalbetriebs **I_{1b(0)}** die Blindstromänderung verringert. Der eingespeiste Wirkstrom beträgt **I_{1w}**. Ein zusätzlicher Wirkstrom **I_{1w}** kann in der Registerkarte **LVRT** eingestellt werden, kann aber für eine Blindstromstatik von $k_1=2$ nicht eingespeist werden, da der maximal mögliche Scheinstrom **IL_{max}** schon als Blindstrom eingespeist wird.

```
[3Ph 1] 10MW
Einstellwerte: Pn (IL:3p) = const.
Einstellwerte: P=10000.00kW; Un=20.000kV fn=50.00Hz; Phi=0.0°; E=0kWh
Einstellwerte: CP=1.000 untererregt; NAP=DEA; ILmax=346.4A; Sr=1000000000000000.000kVA
Einstellwerte: LVRT=VDE-AR-N 4110; s=100.000%; s(DEA)=100.000%; s(Zone)=100.000%; s(Bereich)=100.000%
U12=841.455V, 4.2%; U23=841.455V, 4.2%; U31=841.455V, 4.2%
UL1=485.816V, -178.62°, 4.2%; UL2=485.813V, 61.38°, 4.2%; UL3=485.814V, -58.62°, 4.2%
IL1=346.410A; 91.55°; [270.20°]; IL2=346.410A; -28.45°; [-89.80°]; IL3=346.410A; -148.45°; [-89.80°]
IL1=120.000; IL2=120.000; IL3=120.000In[=288.675A]
S=504.873003kVA, P=1.762336kW, Q=504.869928kvar, 0.003
Betriebsart S/P: Begrenzung IL = Imax deaktiviert
LVRT ON: Un=20.000kV; U<=88.0%; U>=92.0%; k1=2; CP1=0.000
LVRT ON: Messort=DEA; ULLmin=846.153V=4.2%; dULL=0.966p.u.
LVRT ON: Betriebsart |IL|=0A deaktiviert
LVRT ON: U1=488.526V=0.042p.u.; -178.452°; U2=0.000V=0.000p.u.; -127.797°
LVRT ON: dU1=0.966p.u.; dU2=0.000p.u.
LVRT(DEA) ON: dI1b=557.924A; dI2b=0.000A; ILmax=346.4A
LVRT(DEA) ON: I1b(0)=0.040A untererregt; CP1(0)=1.000; I2b(0)=0.000A
LVRT(DEA) ON: I1w(0)=285.514A; I1(0)=285.514A; CP1(0)=1.000; I2w(0)=0.000A; I2(0)=0.000A
LVRT(DEA) ON: I1=557.885A; I1w=0.000A; I1b=557.885A
LVRT(DEA) ON: I2=0.000A; I2w=0.000A; I2b=0.000A
LVRT ON: IL1=346.410A;-90.00°; IL2=346.410A;150.00°; IL3=346.410A;30.00°
```

Abbildung 126: Messwerte der Erzeugungsanlage – LVRT Betrieb für Blindstromstatik k1=2

Wird die Blindstromstatik auf $k1=1$ reduziert kann zusätzlich ein Wirkstrom von I_{1w} eingespeist werden, der der eingespeiste Blindstrom kleiner als der maximal zulässige Scheinstrom I_{Lmax} ist.

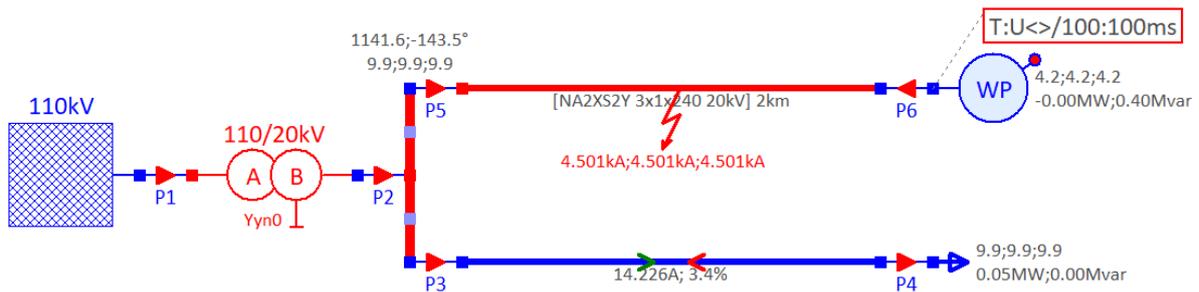


Abbildung 127: 10MW-Windpark mit Kurzschluss – LVRT-Betrieb (LVRT ON) mit k1 = 1

```
[3Ph 1] 10MW
Einstellwerte: Pn (IL:3p) = const.; Betriebsart S/P: Begrenzung IL = Imax deaktiviert
Einstellwerte: P=10000.00kW; Un=20.000kV fn=50.00Hz; Phi=0.0°; E=0kWh; LVRT=EIN
Einstellwerte: CP=1.000 untererregt; ILmax=346.4A; 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<=0.8p.u.; NAP=3Ph.; NAP(LVRT)=3Ph.
U12=831.672V, -146.7°, 4.2%; U23=831.672V, 93.3°, 4.2%; U31=831.672V, -26.7°, 4.2%
UL1=480.166V, -176.7°, 4.2%; UL2=480.166V, 63.3°, 4.2%; UL3=480.166V, -56.7°, 4.2%
Um=0.480239kV
IL1=279.225A, 93.3°, [270.0°]; IL2=279.225A, -26.7°, [-90.0°]; IL3=279.225A, -146.7°, [270.0°]
IL1=96.7%In; IL2=96.7%In; IL3=96.7%In [In=288.675A]
S=402.222845kVA, P=-0.000000kW, Q=402.222845kvar, -0.000
NAP(LVRT): U1=480.2V, -176.7°; I1=279.2A, 93.4°, [270.1°]
LVRT ON: Un=20.000kV; U<=88.0%; U>=92.0%; k1=1; CP1=0.000
LVRT ON: Messort[NAP(LVRT)]=DEA; ULLmin=831.798V=4.2%; dULL=0.967p.u.; U1(0)=11647.529V
LVRT ON: Betriebsart |IL|=0A deaktiviert
LVRT ON: U1=480.239V=0.042p.u.; -176.664°; U2=0.000V=0.000p.u.; 72.233°
LVRT ON: dU1=0.967p.u.; dU2=0.000p.u.
LVRT(DEA) ON: dI1b=279.182A; dI2b=0.000A; ILmax=346.4A
LVRT(DEA) ON: I1b(0)=0.043A übererregt; CP1(0)=1.000; I2b(0)=0.000A
LVRT(DEA) ON: I1w(0)=286.196A; I1(0)=286.196A; CP1(0)=1.000; I2w(0)=-0.000A; I2(0)=0.000A
LVRT(DEA) ON: I1=279.225A; I1w=0.000A; I1b=279.225A
LVRT(DEA) ON: I2=0.000A; I2w=0.000A; I2b=0.000A
LVRT ON: IL1=279.225A; -90.00°; IL2=279.225A; 150.00°; IL3=279.225A; 30.00°
```

Abbildung 128: Messwerte der Erzeugungsanlage – LVRT Betrieb für k1=1

5.6.12.10 LVRT-Betrieb: Symbole und Einfärbungen in der Netzgrafik

Um die verschiedenen Betriebsarten im LVRT-betrieb bzw. eingeschränkten LVRT-Betrieb etc. grafisch darzustellen, werden die nachfolgenden Symbole und Einfärbungen in den Netzgrafik verwendet.

Symbol	Bedeutung
	Normalbetrieb
	Normalbetrieb <ul style="list-style-type: none"> Die rote Umrandung zeigt an, dass eine Strombegrenzung vorliegt.
	LVRT-Betrieb <ul style="list-style-type: none"> Der LVRT-Betrieb wird durch den kleinen roten Kreis angezeigt. Die blaue Umrandung zeigt an, dass keine Strombegrenzung vorliegt.
	LVRT-Betrieb <ul style="list-style-type: none"> Die rote Umrandung zeigt an, dass eine Strombegrenzung vorliegt.
	eingeschränkter LVRT-Betrieb
	LVRT-Betrieb ohne Wirk- und Blindstromeinspeisung bzw. -bezug, d.h. in der Betriebsart IL =0A

Durch die **automatische Inselnetzerkennung**, die nach einem AUS-Kommando ausgehend von allen Erzeugungsanlagen (DEA) ausgeführt wird, ist es möglich, dass das Netzwerkelement bei fehlender Netzspannung am Netzanschlusspunkt (NAP) deaktiviert wird, d.h. mit der Farbe **magenta** gezeichnet wird.

5.6.13 Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 (IEC 60909)

Dezentrale Erzeugungsanlagen als **Kraftwerke mit Vollumrichter**⁸, die in ATPDesigner mit dem Netzwerkelement **Erzeugungsanlage (DEA)** nachgebildet werden, müssen nach **DIN EN 60909-0:2016 (IEC 60909-0:2016)** im Mitsystem u.a. zur Berechnung des Anfangs-Kurzschlusswechselstromes I_k'' und des Stoßkurzschlussstromes i_p durch eine Stromquelle nachgebildet werden.

Im nachfolgende Einstelldialog kann für jede Kurzschlussart getrennt der Kurzschlussstrombeitrag des Kraftwerkes mit Vollumrichter eingegeben werden.

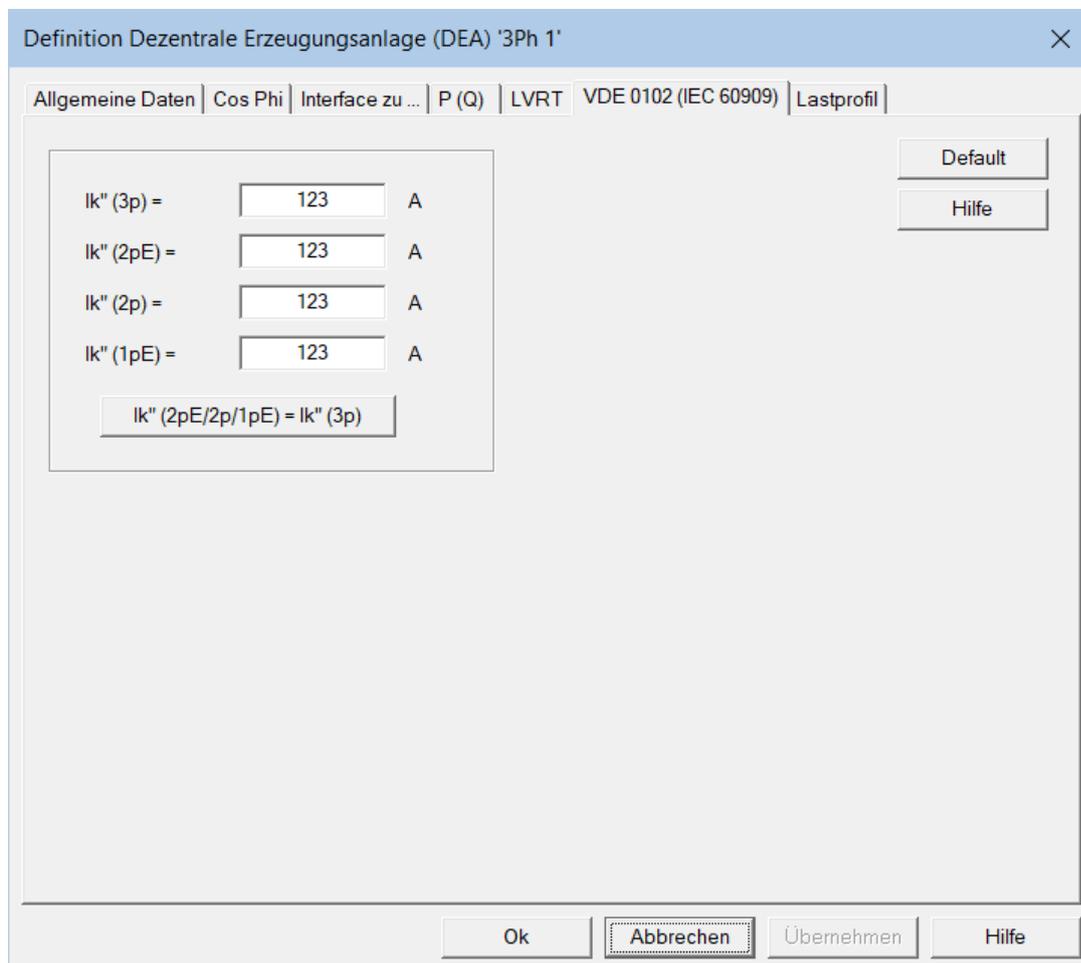


Abbildung 129: Einstelldialog VDE 0102 (IEC 60909) für dezentrale Erzeugungsanlagen

Einstellwert	Bedeutung
I_k'' (3p)	Beitrag des Kraftwerkes zum Anfangs-Kurzschlusswechselstrom I_k'' im Sinne DIN EN 60909-0:2016 (IEC 60909-0:2016) im Falle eines 3-poligen Kurzschlusses mit und ohne Erdberührung

⁸ **DIN EN 60909-0:2016 (IEC 60909-0:2016)**

Ik“ (2pE)	Beitrag des Kraftwerks zum Anfangs-Kurzschlusswechselstrom I_k “ im Sinne DIN EN 60909-0:2016 (IEC 60909-0:2016) im Falle eines 2-poligen Kurzschlusses mit Erdberührung
Ik“ (2p)	Beitrag des Kraftwerks zum Anfangs-Kurzschlusswechselstrom I_k “ im Sinne DIN EN 60909-0:2016 (IEC 60909-0:2016) im Falle eines 2-poligen Kurzschlusses ohne Erdberührung
Ik“ (1pE)	Beitrag des Kraftwerks zum Anfangs-Kurzschlusswechselstrom I_k “ im Sinne DIN EN 60909-0:2016 (IEC 60909-0:2016) im Falle eines 1-poligen Erdkurzschlusses
Ik“(…)=Ik“ (3p)	Die Einstellwerte der Kurzschlussströme werden gleich dem aktuellen Wert des Einstellwertes Ik“ (3p) gesetzt.

Nach **DIN EN 60909-0:2016 (IEC 60909-0:2016)** dürfen Kraftwerke mit Vollumrichter vernachlässigt werden, „wenn ihr Beitrag nicht höher ist als 5% des Kurzschlussstromes ohne diese Kraftwerke“⁹.

Bei der Verwendung der Einstellwerte zur Anwendung der Kurzschlussstromberechnung nach VDE 0102 in ATPDesigner müssen die Erläuterungen und Einschränkungen nach Kapitel 8 [Bd. 3] 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.



5.6.14 Registerkarte *Lastprofil*

Die dezentrale Erzeugungsanlage kann für die in der Registerkarte **Allgemeine Daten** einstellbaren **Betriebsarten**

- **Pn (IL:1/2/3p) = const.**
- **Pn (IL:3p) = const.**
- **Sn (IL:1/2/3p) = const.**
- **Sn (IL:3p) = const.**

als Bezugs- oder Einspeiseanlage konstanter oder zeitabhängiger Leistung im Sinne von Lastprofilen (Zeitreihen mit 15min-Intervallen) wie folgt in mehreren Verfahren zur Berechnung eines stationären Netzzustandes oder Fahrplans verwendet werden.

⇒ Nachfolgend wird der Begriff **Fahrplanberechnung** gleich dem Begriff Zeitreihenberechnung verwendet. Bei der Fahrplanberechnung werden wie bei einer Zeitreihenberechnung für jedes 15min-Intervall eine Lastflussberechnung ausgeführt. In der Fahrplanberechnung können Lastprofile verwendet werden.

▪ **Verfahren 1: Fahrplanberechnung mit Schaltzeiten für E-Mobile und Batterien**

- Hauptmenü **Prüfungen**
- Menüpunkt **Lastfluss mit Flexibilitäten**
- Menüpunkt **E-Mobile: Fahrplanberechnung** 

⁹ **DIN EN 60909-0:2016 (IEC 60909-0:2016)**

⇒ Zusätzlich zu Lastprofilen wird die [Tabelle des Einstelldialogs](#) mit Schaltzeiten abhängig von der in der Registerkarte eingestellten **Betriebsart** berücksichtigt.

▪ Verfahren 2: Fahrplanberechnung mit Lastprofilen

- Hauptmenü **Prüfungen**
- Menüpunkt **Lastfluss mit Flexibilitäten**
- Menüpunkt **Lastfluss: Lastprofile** 

⇒ Die [Tabelle des Einstelldialogs](#) mit Schaltzeiten wird nicht berücksichtigt. Es werden nur Lastprofile verwendet.

▪ Verfahren 3: Berechnung eines stationären Netzzustandes

- Hauptmenü **Prüfungen**
- Menüpunkt **Lastfluss mit Flexibilitäten**
- Menüpunkt **Lastflussberechnung** 

Wird eine **Lastflussberechnung** z.B. mit dem Toolbar-Button  zur Berechnung eines stationären Netzzustandes ausgeführt, wird das Netzwerkelement unabhängig von den Einstellwerten der Registerkarte **Lastprofil** immer als Bezugs- oder Einspeiseanlage mit konstanten Leistungen P und Q entsprechend den Einstellwerten der Registerkarte [Allgemeine Daten](#) verwendet. Durch die Einstellung der **Betriebsart** in der Registerkarte **Lastprofil** werden [Kennungen](#) für die Betriebsarten in dem grafischen Symbol des Netzwerkelementes direkt in der Netzgrafik angezeigt. Zusätzlich werden Einfärbungen verwendet.

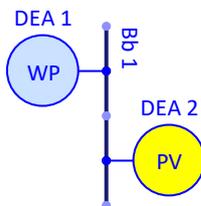


Abbildung 130: Kennungen für die Betriebsart in der Netzgrafik

5.6.14.1 Einstelldialog der Registerkarte *Lastprofil*

In der nachfolgenden Abbildung ist der Einstelldialog der Registerkarte **Lastprofil** dargestellt.

- ⇒ Eine besondere Bedeutung kommt dem Einstellwert **Energieanalyse aktivieren** zu.

Einstellwert	Bedeutung
Energieanalyse aktivieren	
aktiviert	Ist der Einstellwert aktiviert, so wird das Netzwerkelement abhängig vom Einstellwert Betriebsart verwendet.
deaktiviert	Ist der Einstellwert deaktiviert, so wird das Netzwerkelement abhängig vom Einstellwert Betriebsart durch alternative Berechnungsmodelle nachgebildet und in der Lastflussberechnung berücksichtigt. Diese alternativen Berechnungsmodelle werden als Rückfallebenen bezeichnet. Näheres dazu kann Lastflussberechnung und Netzauslastungsanalyse [Bd. 3] nachgelesen werden.

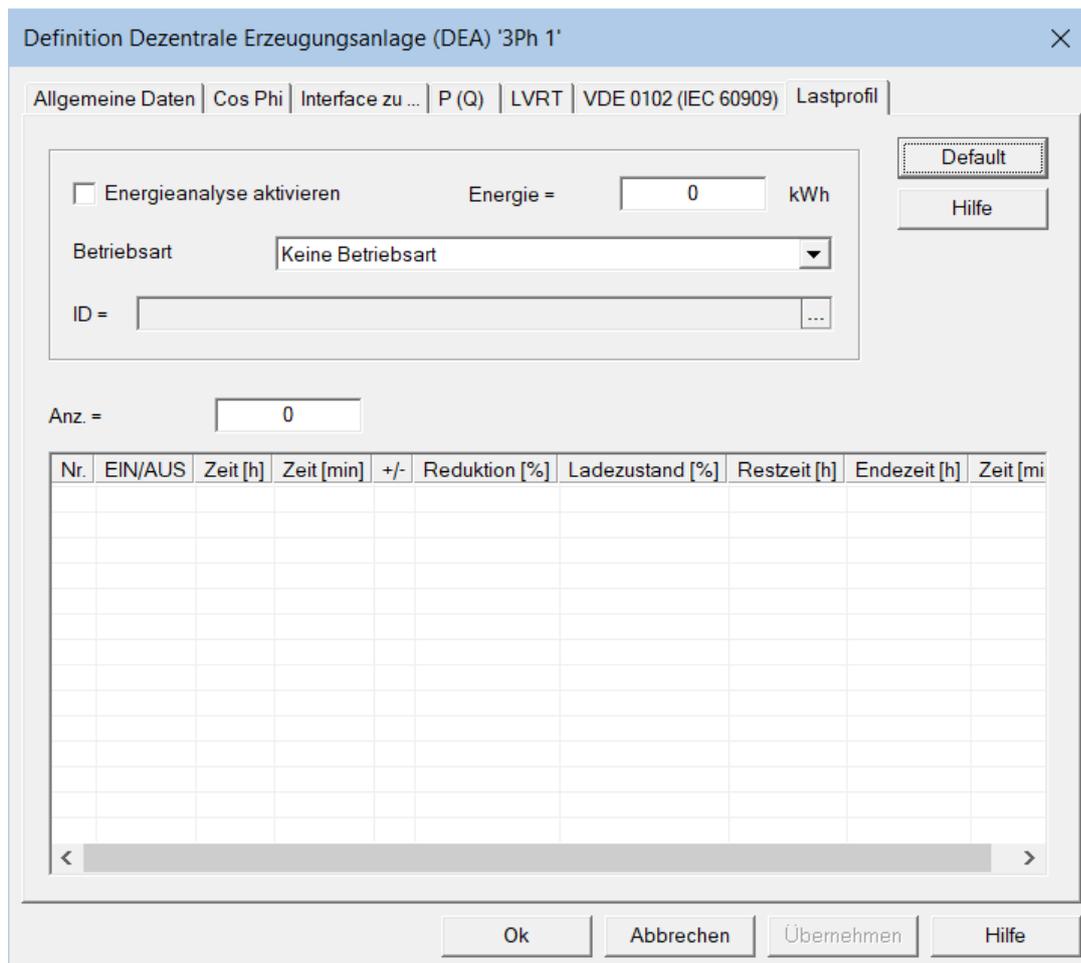


Abbildung 131: Registerkarte *Lastprofil*

In der nachfolgenden Tabelle sind die weiteren Einstellwerte des Einstelldialogs erläutert.

Einstellwert	Bedeutung
Energie	<p>Der Einstellwert wird nur in den Berechnungsmethoden E-Mobile: Fahrplanberechnung (Verfahren 1) und Lastfluss: Lastprofile (Verfahren 2) mit den folgenden Betriebsarten verwendet:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Elektromobil ▪ Akkumulator (Batterie) ▪ Solarstromanlage (DEA) nach SLP ▪ Windkraftanlage (DEA) nach SLP ▪ Solarstromanlage (DEA) nach SLP(ID) ▪ Windkraftanlage (DEA) nach SLP(ID) <p>Wird eine JSON-Prognosedatei verwendet, so wird der Einstellwert nicht verwendet. Betriebsarten, die ein Lastprofil verwenden, das in einer JSON-Prognosedatei definiert ist, können an dem Textelement Prognose (ID) in der Betriebsart erkannt werden, z.B.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Solarstromanlage (DEA) Prognose (ID) ▪ Elektromobil Prognose (ID) ▪ Batteriespeicher Prognose (ID)
Betriebsart	<p>Die Betriebsart legt abhängig von den Verfahren zur Zeitreihenberechnung E-Mobile: Fahrplanberechnung und Lastfluss: Lastprofile die Wirkleistung und den Verschiebungsfaktor des Netzwerkelementes als Bezugs- oder Einspeiseanlage fest.</p> <p>Es können konstante Leistungen und Verschiebungsfaktoren oder Kennlinien für Verschiebungsfaktoren aus der Registerkarte Allgemeine Daten verwendet werden. Auch ist die Verwendung von Lastprofile für Zeitreihenberechnungen möglich.</p> <p>Das Verfahren E-Mobile: Fahrplanberechnung verwendet für die Betriebsarten Elektromobil und Akkumulator (Batterie) die Tabelle des Einstelldialogs mit Schaltzeiten.</p> <p>Abhängig von der Betriebsart werden Kennungen in dem Symbol des Netzwerkelementes direkt in der Netzgrafik angezeigt. Bei Verwendung des kleinen grafischen Symbols werden Einfärbungen verwendet.</p>
ID	<p>Identifikationsnummer des Betriebsmittels: Anlagen-Identifizier</p> <p>Der Anlagen-Identifizier ID (auch Messstellenummer genannt) wird verwendet, um den Dateinamen eines anlagenspezifischen Lastprofils eindeutig dem Netzwerkelement zuzuordnen und während einer Fahrplanberechnung anzuwenden.</p>

5.6.14.2 Verfahren 1: Fahrplanberechnung mit Schaltzeiten für E-Mobile, Batterien

Es wird die Berechnungsmethode **E-Mobile: Fahrplanberechnung** verwendet. Das Netzwerkelement wird entsprechend der in der Registerkarte **Allgemeine Daten** eingestellten Leistung als Bezugs- oder Einspeiseanlage zeitlich konstanter Leistung berücksichtigt. Zusätzlich werden die Einstellwerte aus der Tabelle mit Schaltzeiten in der Registerkarte **Lastprofil** ausgewertet.

- Ist die Option **Energieanalyse aktivieren** aktiviert und die Betriebsart **Elektromobil** oder **Akkumulator (Batterie)** eingestellt, so werden die in der [Tabelle des Einstelldialogs](#) definierten Einstellwerte in der Zeitreihenberechnung berücksichtigt. Es werden folgende Betriebsarten unterschieden: [EIN-/AUS-Schalten und Laden/Entladen](#)
- Ist die Option **Energieanalyse aktivieren** deaktiviert, so werden die Schaltzeiten in der [Tabelle des Einstelldialogs](#) in der Zeitreihenberechnung nicht berücksichtigt.
- Alternativ kann bei aktivierter Option **Energieanalyse aktivieren** abhängig von dem Einstellwerte **Betriebsart** ein Lastprofil verwendet werden.

5.6.14.3 Verfahren 2: Fahrplanberechnung mit Lastprofilen

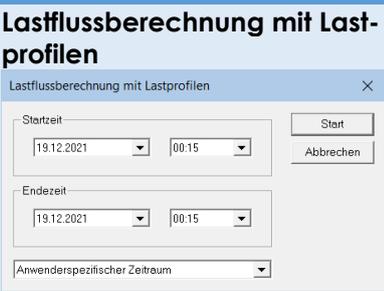
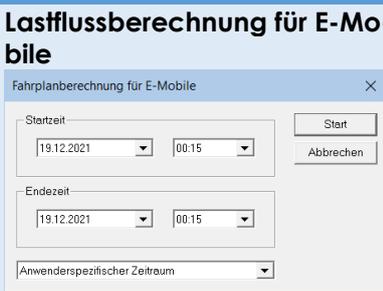
Es wird die Berechnungsmethode **Lastfluss: Lastprofile** verwendet. Abhängig von der [Betriebsart](#) wird das Netzwerkelement entsprechend der in der Registerkarte **Allgemeine Daten** eingestellten Leistung als Bezugs- oder Einspeiseanlage zeitlich konstanter Leistung oder mit einem Lastprofil (Zeitreihe mit konstanter Leistung je 15min-Intervall), d.h. mit zeitlich veränderlicher Leistung berücksichtigt.

- ⇒ Um ein Lastprofil zu verwenden, muss der Einstellwert [Energieanalyse aktivieren](#) aktiviert sein.
- ⇒ Die [Tabelle des Einstelldialogs](#) mit Schaltzeiten wird nicht berücksichtigt.

5.6.14.4 Betriebsarten

In der nachfolgenden Tabelle wird das Verhalten des Netzwerkelementes abhängig von der Betriebsart erläutert.

- Es muss beachtet, dass Teillastfaktoren die Wirkleistung aus dem Einstellwert oder einer verknüpften Lastprofildatei skaliert.
- Der Bezeichner **Bezugs- oder Einspeiseanlage konstanter Leistung** zeigt an, dass die zeitlich konstanten Leistungen aus der Registerkarte [Allgemeine Daten](#) verwendet werden.

Betriebsart	Lastfluss: Lastprofile 	E-Mobile: Fahrplanberechnung 
	<p>Lastflussberechnung mit Lastprofilen</p> 	<p>Lastflussberechnung für E-Mobile</p> 
Keine Betriebsart	Bezugs- oder Einspeiseanlage konstanter Leistung	Bezugs- oder Einspeiseanlage konstanter Leistung

Windkraftanlage (DEA)	Bezugs- oder Einspeiseanlage konstanter Leistung	Bezugs- oder Einspeiseanlage konstanter Leistung
Solarstromanlage (DEA)	Bezugs- oder Einspeiseanlage konstanter Leistung	Bezugs- oder Einspeiseanlage konstanter Leistung
Elektromobil	Bezugs- oder Einspeiseanlage konstanter Leistung	Leistung nach Tabelle
Akkumulator (Batterie)	Bezugs- oder Einspeiseanlage konstanter Leistung	Leistung nach Tabelle
Solarstromanlage (DEA) nach SLP	Leistung nach Lastprofil	Leistung nach Lastprofil
Windkraftanlage (DEA) nach SLP	Bezugs- oder Einspeiseanlage konstanter Leistung	Bezugs- oder Einspeiseanlage konstanter Leistung
Solarstromanlage (DEA) nach SLP(ID)	Leistung nach anlagenspezifischem Lastprofil mit ID	Leistung nach anlagenspezifischem Lastprofil mit ID
Windkraftanlage (DEA) nach SLP(ID)	Leistung nach anlagenspezifischem Lastprofil mit ID	Leistung nach anlagenspezifischem Lastprofil mit ID
Solarstromanlage (DEA) Prognose (ID)	anlagenspezifische Leistung nach JSON-Prognosedatei mit ID	Netzwerkelement deaktiviert
Netzeinspeisung	Bezugs- oder Einspeiseanlage konstanter Leistung	Bezugs- oder Einspeiseanlage konstanter Leistung
Kraftwerk	Bezugs- oder Einspeiseanlage konstanter Leistung	Bezugs- oder Einspeiseanlage konstanter Leistung
Nachtspeicherheizung	Bezugs- oder Einspeiseanlage konstanter Leistung	Bezugs- oder Einspeiseanlage konstanter Leistung
Wärmepumpe	Bezugs- oder Einspeiseanlage konstanter Leistung	Bezugs- oder Einspeiseanlage konstanter Leistung
Elektromobil Prognose (ID)	anlagenspezifische Leistung aus der JSON-Prognosedatei mit ID	Netzwerkelement deaktiviert
Solarstromanlage (DEA) Prognose (PVGIS)	Netzwerkelement deaktiviert	Leistung nach Lastprofil
Batteriespeicher Prognose (ID)	anlagenspezifische Leistung nach JSON-Prognosedatei mit ID	Netzwerkelement deaktiviert

5.6.14.4.1 Betriebsart *Eine definierte Uhrzeit*

Wird die Betriebsart **Eine definierte Uhrzeit** verwendet, kann nur eine einziges 15min-Intervall ausgewählt werden. Da nur eine einzige Lastflussberechnung als Zeitreihenberechnung ausgeführt wird, werden die Ergebnisse der Lastflussberechnung in der Netzgrafik angezeigt. Diese Betriebsart kann z.B. dazu verwendet werden, um auf einfache Art und Weise Berechnungs- oder Bewertungsergebnisse eines 15min-Intervalls, das z.B. in dem **Bericht** einer Zeitreihenberechnung Normabweichungen gezeigt hat, zu berechnen und zu analysieren. Die nachfolgende Abbildung zeigt ein Beispiel.

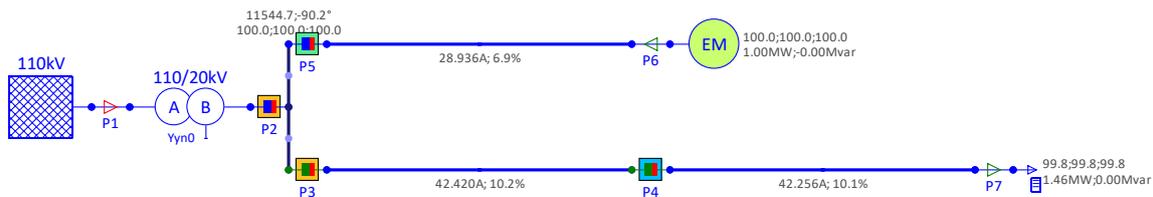


Abbildung 132: *Eine definierte Uhrzeit* - Anzeige der Berechnungsergebnisse in der Netzgrafik

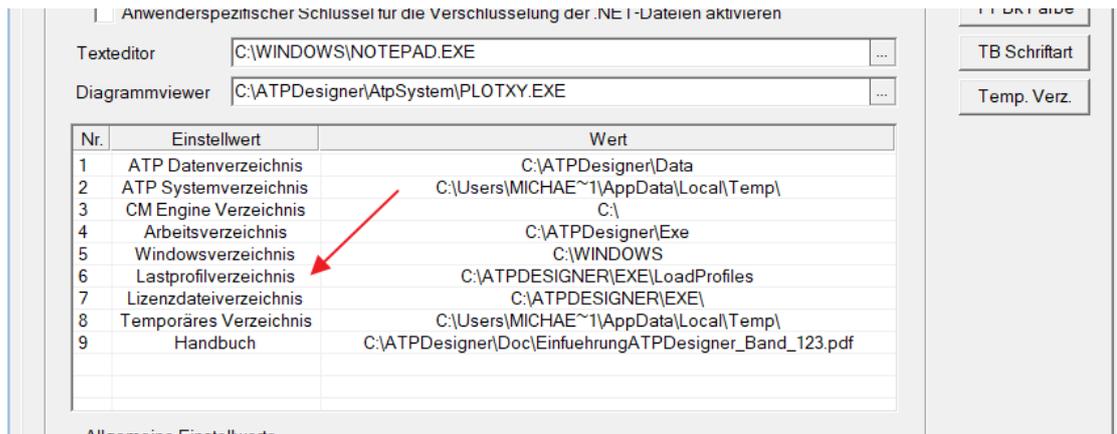
5.6.14.5 Allgemeine, anwenderspezifische und anlagenspezifische Lastprofile

Bzgl. der Verwendung von Lastprofilen in Anlehnung an VDEW [23] muss zwischen allgemeinen und anwenderspezifischen Lastprofilen und anlagenspezifischen Lastprofilen mit Anlagen-Identifizier (ID) unterschieden werden. Weiteres dazu in Kapitel **Lastflussberechnung mit Flexibilitäten** [Bd. 3].

5.6.14.5.1 SLP: Allgemeine und anwenderspezifische Lastprofile

Die allgemeinen und anwenderspezifischen Lastprofile entsprechen dem Inhalt und Struktur den Standardlastprofilen (SLP) nach VDEW [23]. Die Lastprofile werden unterschieden nach Sommer, Winter und Übergangszeit, für die je eine eigene .CSV-Datei verwendet wird.

- ⇒ Die drei .CSV-Dateien für Sommer, Winter und Übergangszeit müssen im Verzeichnis **Lastprofilverzeichnis**, das im Einstelldialog **Programmeinstellungen** (Hauptmenü **Tools**, Menüpunkt **Programmeinstellungen**) definiert ist, gespeichert sein. In der Grundeinstellung (Default) ist das Verzeichnis wie in der nachfolgenden Abbildung gezeigt aufzufinden.



Die Lastprofile können verwendet werden, um für Bezugs- und Einspeiseanlagen ein zeitliches Lastprofil im Sinne von 15min-Zeitreihenwerte festzulegen. Eine Individualisierung jeder dieser Anlagen ist durch die Definition von individuellen Jahresenergiewerten möglich. Dadurch ergibt sich eine individuelle, d.h. anlagenspezifische Zeitreihe der Bezugs- oder Einspeiseleistung für jedes 15min-Intervall.

- ⇒ **Gemeinsames, d.h. nicht anlagenspezifisches zeitliches Lastprofil (p.u.-Leistungswerte je 15min-Intervall)**
- ⇒ **Individuelle, d.h. anlagenspezifische Leistung je 15min-Intervall**

5.6.14.5.2 SLP(ID): Anlagenspezifische Lastprofil mit Anlagen-Identifizier

Die Lastprofile entsprechen dem Inhalt und Struktur nach den Standardlastprofilen (SLP) nach VDEW [23]. Die Lastprofile werden unterschieden nach Sommer, Winter und Übergangszeit und für Werktag, Samstag und Sonntag, allerdings in einer einzigen .CSV-Datei gespeichert. Das Dateiformat ist in der nachfolgenden Abbildung beispielhaft dargestellt. Die Werte für das 15min-Intervall entsprechen einer Wirkleistung in kW. Ist zwischen zwei Trennzeichen der Wirkleistungswerte „;“ kein Zahlwert enthalten, so wird der Wert der Wirkleistung für das 15min-Intervall = 0kW gesetzt.

- ⇒ Es muss darauf geachtet werden, dass die Anzahl 15min-Intervalle für Werktag, Samstag und Sonntag identisch sind, da sonst keine Lastflussberechnung mit Lastprofilen durchgeführt werden kann.
- ⇒ Damit die anlagenspezifischen Lastprofile mit ID in der Lastflussberechnung mit Lastprofilen berücksichtigt werden, muss der Einstellwert **Energieanalyse aktivieren** aktiviert sein.

```
(Kunde-)Name;;;
(Kanal-)Beschreibung;;;
(Kanal-)Ident3;;Anlagen-Identifizier (ID);
Summe (kWh);;;
kW;Winter;Sommer;Uebergang
Werktag 00:15;0,08636;0,08636;0,07696
Werktag 00:30;0,07696;0,05528;0,06244
..
Samstag 00:15;0,08636;0,08636;0,07696
Samstag 00:30;0,07696;0,05528;0,06244
..
```

Sonntag 00:15;0,08636;0,08636;0,07696

Sonntag 00:30;0,07696;0,05528;0,06244

..

Abbildung 133: Inhalt der .CSV-Datei für anlagenspezifische Lastprofile mit ID

Die .CSV-Datei wird im Dateinamen mit einem eindeutigen **Anlagen-Identifizier (ID)** gekennzeichnet, der in der .CSV-Datei als **(Kanal-)Ident3:** definiert sein muss.

Struktur des Dateinamens: **XXX_Text.CSV**

mit XXX = ID der Anlage **Anlagen-Identifizier (ID)**

Text = beliebiger Text

Zwischen dem **Anlagen-Identifizier (ID)** und dem Text muss das Trennzeichen „_“ stehen.

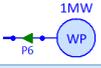
Die Lastprofile können genutzt werden, um individuelle, d.h. anlagenspezifische zeitliche Lastprofile und individuelle, d.h. anlagenspezifische Bezugs- oder Einspeiseleistungen für jedes 15min-Intervall der Zeitreihe zu definieren.

⇒ **Individuelles, d.h. anlagenspezifisches zeitliches Lastprofil (p.u.-Leistungswerte je 15min-Intervall)**

⇒ **Individuelle, d.h. anlagenspezifische Leistung je 15min-Intervall**

5.6.14.6 Kennungen und Symbole des Betriebsmittels in der Netzgrafik

In der nachfolgenden Tabelle sind die Betriebsarten des Betriebsmittels mit den zugehörigen Kennungen im Symbol des Netzwerkelementes in der Netzgrafik enthalten. Das Symbol des Betriebsmittels wird ebenfalls abhängig von der Betriebsart geändert.

Betriebsart	Kennung in der Netzgrafik	Symbol in der Netzgrafik
Keine Betriebsart	3~	
Windkraftanlage (DEA)	WP	
Solarstromanlage (DEA)	PV	wie WP
Elektromobil	EM	wie WP
Akkumulator (Batterie)	BS	wie WP
Solarstromanlage (DEA) nach SLP	PLP	wie WP
Windkraftanlage (DEA) nach SLP	WLP	wie WP
Solarstromanlage (DEA) nach SLP(ID)	PID	wie WP
Windkraftanlage (DEA) nach SLP(ID)	WID	wie WP
Solarstromanlage (DEA) Prognose (ID)	PVF	wie WP
Netzeinspeisung	NET	
Kraftwerk	PP oder KW	wie WP
Nachtspeicherheizung	NSH	wie WP
Wärmepumpe	HEP oder WAE	wie WP
Elektromobil Prognose (ID)	EMF	wie WP

Solarstromanlage (DEA) Prognose (PVGIS)	Noch zu definieren	Noch zu definieren
Batteriespeicher Prognose (ID)	BSF	wie WP

5.6.14.6.1 Verwendung eines verkleinerten Symbols in der Netzgrafik

Alternativ zu dem Standardsymbol kann die Darstellung für alle **Erzeugungsanlagen (DEA)** gleichzeitig verkleinert dargestellt werden. In dieser Anzeigebetriebsart wird kein Text innerhalb des Symbols in der Netzgrafik, sondern eine Einfärbung als Kennzeichnung verwendet.

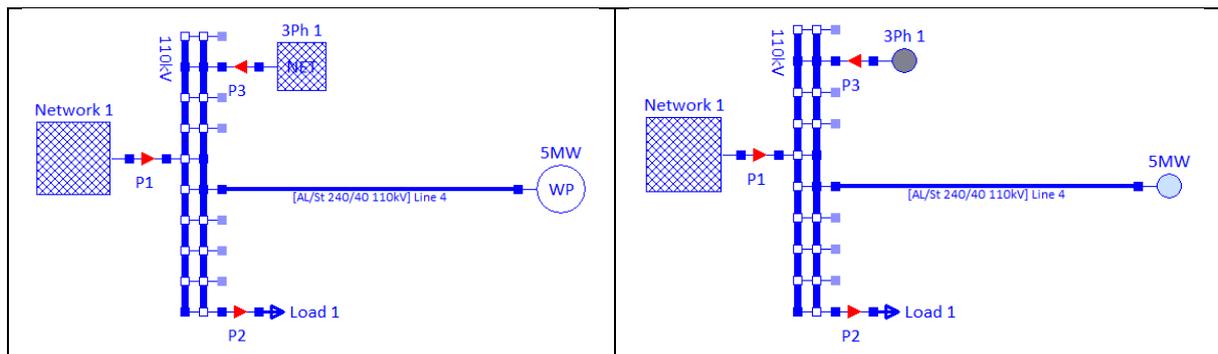


Abbildung 134: Erzeugungsanlage (DEA) - Verwendung verkleinerter Symbole

Die Umschaltung der Symbolgröße erfolgt im Einstelldialog **Netzwerkconfiguration** in der Registerkarte **Einstellungen ATP** mit der Option **DEA: Kleines Symbol**.

5.6.14.7 Einstellwerte der Tabelle mit Schaltzeiten für E-Mobile und Batterien

Die Einstellwerte der Tabelle werden nur von der Berechnungsmethode **E-Mobile: Fahrplanberechnung**  verwendet. Um die Einstellwerte der Tabelle mit Schaltzeiten zu verwenden, müssen die nachfolgenden Einstellwerte parametrisiert werden:

- Die Option **Energieanalyse aktivieren** muss aktiviert werden.
- Der Einstellwert **Betriebsart** muss auf eine der Betriebsarten **Elektromobil** oder **Akkumulator (Batterie)** parametrisiert werden.
- Der Einstellwert **Energie** wird abhängig von der Betriebsart der Spalte **EIN/AUS**, die in der Tabelle eingestellt ist, verwendet.

In der Tabelle kann definiert werden, zu welchem Zeitpunkt das Betriebsmittel als Einspeise- oder Bezugsanlage elektrisch aktiv am Netz arbeitet oder elektrisch inaktiv ist, d.h. Leistung weder einspeist noch bezieht. Darüber hinaus kann eine Betriebsart, d.h. das Lade-/Entladeverhalten in der Spalte **EIN/AUS** dem Zeitpunkt zugeordnet werden.

Einstellwert	Bedeutung
Anz	Anzahl Zeilen der Tabelle
Nr.	Zeilennummer
EIN/AUS	Betriebsart um das Lade-/Entladeverhalten zu definieren

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ EIN = Einschalten Der Lade-/Entladevorgang wird zu dem definierten Zeitpunkt eingeschaltet. Die Ladeleistung P wird wie folgt ermittelt. $P = \pm P_n \cdot \text{Reduktion}$$S = \pm S_n \cdot \text{Reduktion}$ ▪ AUS = Ausschalten Der Lade-/Entladevorgang wird zu dem definierten Zeitpunkt ausgeschaltet. ▪ Laden/Entladen Der Lade-/Entladevorgang wird zu dem definierten Zeitpunkt ein- oder ausgeschaltet. Es handelt sich um eine ereignisgesteuerte Steuerung. Die Ladeleistung wird wie für die Betriebsarten EIN ermittelt. Die verbleibende Lade/Entladezeit [h] wird wie folgt berechnet und in der Tabelle angezeigt. $\text{Restzeit} = \frac{\text{Energie} \cdot \text{Ladezustand}}{\pm P_n \cdot \text{Reduktion}} \text{ in h}$
Zeit [h]	<p>Schaltzeitpunkt in h</p> <p>Der Schaltzeitpunkt [h]:[min] wird entsprechend der Definition des 15min-Intervalls nach VDEW [23] automatisch auf das nächste 15min-Intervall des Tages gesetzt. Wird ein Minutenwert = 60min erreicht, so wird die Anzahl Stunden um 1h erhöht und der Minutenwert auf 0min gesetzt. Wird eine Stunde \geq 24Uhr ermittelt, so wird die Stunde auf 0Uhr gesetzt.</p> <p>Es muss bei der Verwendung der Lastprofile als 15min-Zeitreihen darauf geachtet werden, dass eine Unschärfe von 15min bzgl. der sich aus den Leistungen ergebenden Energiewerte entsteht.</p>
Zeit [min]	<p>Schaltzeitpunkt in min</p> <p>Siehe Erläuterungen zu Zeit [h]</p>
+/-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ „-“ = Laden ▪ „+“ = Entladen <p>Es ist hier zu beachten, dass das Netzwerkelement Erzeugungsanlage (DEA) im Erzeugerzählpfeilsystem (EZS) arbeitet.</p>
Reduktion [%]	<p>Ladeleistung in %</p> <p>Die in der Registerkarte Allgemeine Daten eingestellte Leistung P_n oder S_n wird mit dem Einstellwert multipliziert.</p>
Ladezustand [%]	<p>Ladezustand im Zu-/Abschaltmoment in %</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Nur für Betriebsart 2 = Laden/Entladen
Restzeit [h]	<p>Verbleibende Lade-/Entladezeit in h</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Nur für Betriebsart 2 = Laden/Entladen
Endezeit [h]	<p>Schaltzeitpunkt in h</p>

	<p>Ausgehend von dem Schaltzeitpunkt Zeit [h]:[min] wird die Endezeit [h]:[min] ermittelt.¹⁰</p> $Endezeit[h] = \text{floor} \left(\text{Zeit}[h] + \frac{\text{Zeit}[\text{min}]}{60 \text{ min}} + \text{Restzeit}[h] \right)$ <ul style="list-style-type: none"> Nur für Betriebsart 2 = Laden/Entladen
Zeit [min]	<p>Schaltzeitpunkt in min</p> <p>Ausgehend von dem Schaltzeitpunkt Zeit [h]:[min] wird die Endezeit [h]:[min] ermittelt.</p> $\text{Zeit}[\text{min}] = 60 \text{ min} \cdot \left(\text{Zeit}[h] + \frac{\text{Zeit}[\text{min}]}{60 \text{ min}} + \text{Restzeit}[h] - \text{Endezeit}[h] \right)$ <ul style="list-style-type: none"> Nur für Betriebsart 2 = Laden/Entladen

In der nachfolgenden Abbildung ist dargestellt, wie die Betriebsart mit einem kontextsensitiven Menü, das mit einem **Left Mouse Button Click** auf die Zelle in der Tabellenzeile geöffnet werden kann, eingestellt wird.

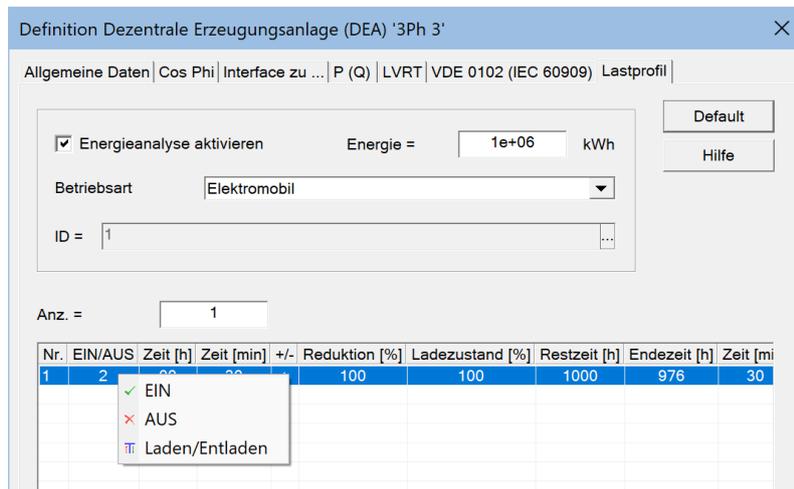


Abbildung 135: Fahrplanberechnung für E-Mobile - Einstellen der Betriebsart

Folgende Regeln sind zu beachten.

- Die Schaltzeiten der Tabelle liegen immer innerhalb eines Tages, d.h. von 00:00 bis 24:00 Uhr und wiederholen sich täglich.
- Die Schaltzeiten müssen zeitlich aufsteigend sortiert sein.
- Schaltzeiten, die sich außerhalb des Tages befinden oder die zeitlichen Grenzen eines Tages auf den Folgetag z.B. erstrecken, können nicht definiert werden.

¹⁰ The floor() function returns the largest integer that is smaller than or equal to the value passed as the argument (i.e.: rounds down the nearest integer). (Quelle: www.geeksforgeeks.org)

- Es ist nicht möglich, die Betriebsarten **EIN/AUS** und **Laden/Entladen** in einer Tabelle zu kombinieren. Die beiden Methoden werden von ATPDesigner nur getrennt ausgewertet. Sind in der Tabelle beide Betriebsarten enthalten, so wird die Auswertung der Tabelle und die Zeitreihenberechnung abgebrochen.
- Wird die 1. Tabellenzeile, d.h. **Anz.** = 1 eingefügt, so kann mit Hilfe des **Right Mouse Button Menu** eine beliebige Betriebsart eingestellt werden.
- Wird die Tabellenzeile 2...N eingefügt, so wird automatisch die Betriebsart der ersten Tabellenzeile übernommen.
- Ist in der 1. Tabellenzeile die Betriebsart **EIN** oder **AUS** eingestellt, so kann mit dem **Right Mouse Button Menu** für die Tabellenzeilen 2...N zwischen den Betriebsarten **EIN** oder **AUS** gewählt werden, nicht aber die Betriebsart **Laden/Entladen**.
- Ist in der 1. Tabellenzeile die Betriebsart **Laden/Entladen** eingestellt, so kann mit dem **Right Mouse Button Menu** für die Tabellenzeilen 2...N nur die Betriebsart **Laden/Entladen** eingestellt werden.

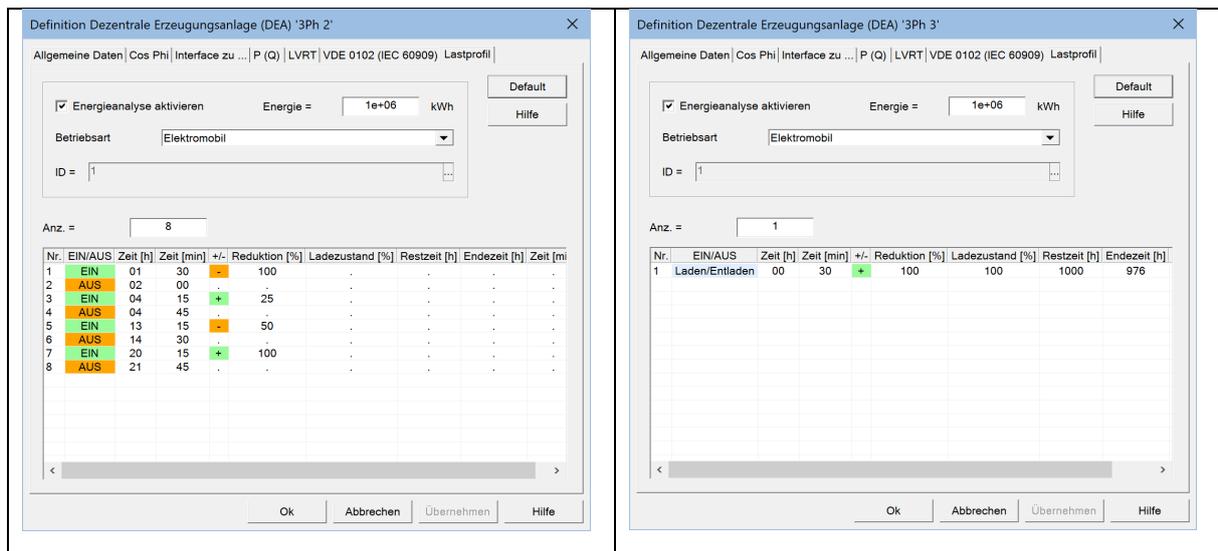


Abbildung 136: Betriebsart **EIN/AUS** und Betriebsart **Laden/Entladen**

Werden diese Schaltzeiten für eine Zeitreihenberechnung mit dem Verfahren **E-Mobile: Fahrplanberechnung** verwendet, so können mit Hilfe von **Fahrplanmessgeräten** [Bd. 3], die mit dem Netzwerkelement **Mess/Schutzgerät** realisiert werden können, an beliebigen Knoten des Stromnetzes zu messen und in einer .CSV-Datei im Unterverzeichnis **Results** des **Projektverzeichnis** zu speichern.

Die Ausgabe der Fahrplanmesswerte in die .CSV-Datei muss im Einstelldialog **Meldungen** wie nachfolgend gezeigt aktiviert werden.

- Hauptmenü **Netzwerk**
- Menüpunkt **Netzkonfiguration**

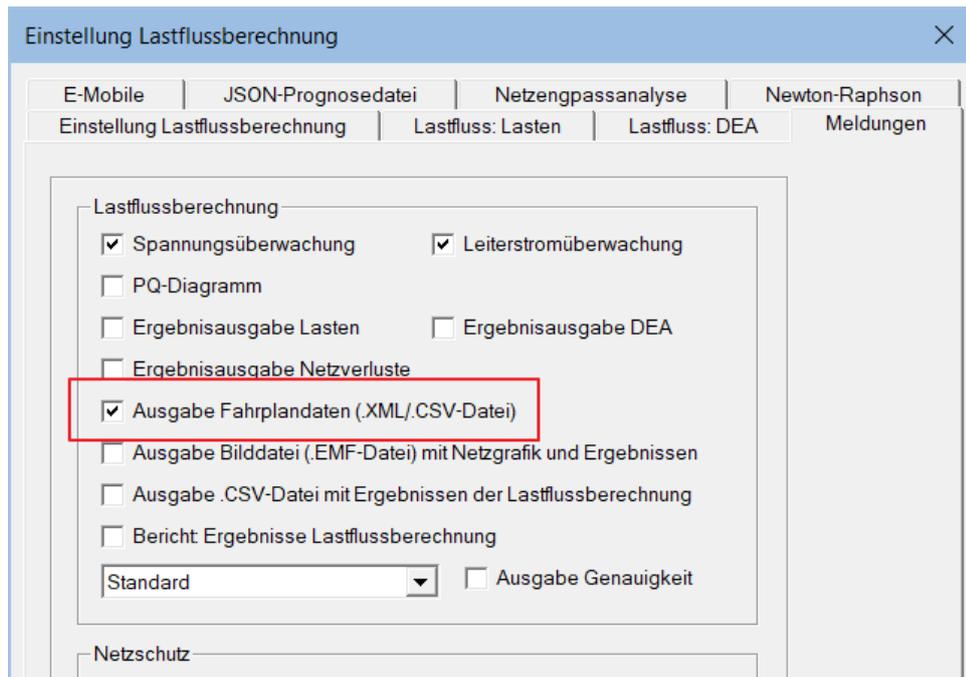


Abbildung 137: Ausgabe der Fahrplanmesswerte in eine .CSV-Datei

Die .CSV-Datei kann z.B. mit dem Dialog **Öffnen ..** im Hauptmenü **Datei** eingelesen und in einem Diagramm dargestellt werden [Bd. 3].

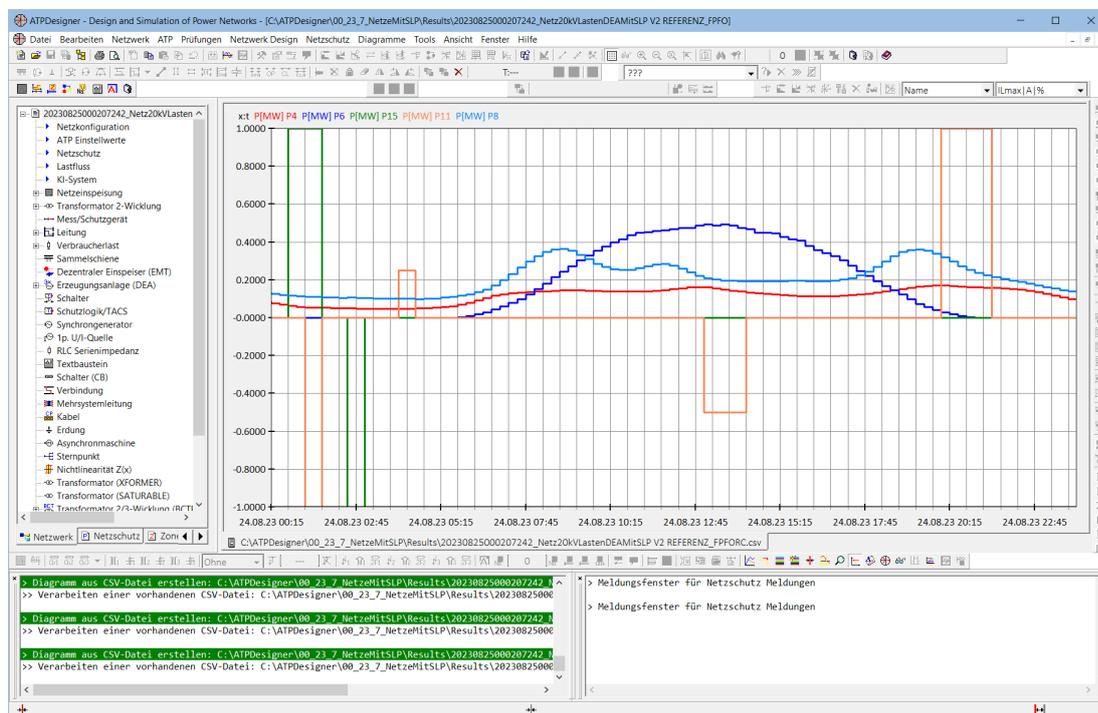


Abbildung 138: Darstellung von Fahrplanmesswerten als Diagramm [Bd. 3]

5.6.14.8 Beispiel: E-Mobile: Fahrplanberechnung und Eine definierte Uhrzeit

Wird die Betriebsart **Eine definierte Uhrzeit** für die Berechnungsmethode **E-Mobile: Fahrplanberechnung** verwendet, um eine Lastflussberechnung für ein einziges definiertes 15min-Intervall auszuführen, muss die Definition des Zeitstempels des 15min-Intervalls nach VDEW [23] beachtet werden.

- ⇒ Nach VDEW [23] wird der Zeitstempel des Endes des 15min-Intervalls zur Kennzeichnung des 15min-Intervalls verwendet. So definiert der Zeitstempel 07:00 Uhr das 15min-Intervall]06:45 Uhr, 07:00 Uhr].

Wie im nachfolgenden Kapitel im Einstelldialog der Registerkarte dargestellt, wird als Beispiel eine Ladestation für E-Mobile in der Betriebsart **Elektromobil** im Zeitbereich [07:00 Uhr, 08:00 Uhr] mit Hilfe der [Tabelle der Schaltzeiten](#) um 07:00 Uhr EIN- und um 08:00 Uhr AUS-geschaltet.

- ⇒ Wird mit der Betriebsart **Eine definierte Uhrzeit** eine Lastflussberechnung für das 15min-Intervall 07:00 Uhr ausgeführt, so wird die Ladestation nicht eingeschaltet.

Ursache ist hier die oben beschriebene Definition des Zeitstempels eines 15min-Intervalls nach VDEW [23]. Der Zeitpunkt EIN-Schaltens der Ladestation um 07:00 Uhr erfolgt im letzten Augenblick des 15min-Intervalls]06:45 Uhr, 07:00 Uhr]. Die interne Verarbeitung der Zeitreihenberechnung schaltet daher die Ladestation nicht ein.

Die nachfolgende Tabelle zeigt einen Ausschnitt aus den Leistungswerten, die mit einem Fahrplanmessgerät am Netzanschlusspunkt (NAP) der Ladestation gemessen wurde. Die Spalte **Uhrzeit[hh:mm]** beinhaltet den Zeitstempel des 15min-Intervalls nach VDEW.

Die Ladestation wurde im Zeitbereich [07:00 Uhr, 08:00 Uhr] mit Hilfe der [Tabelle der Schaltzeiten](#) um 07:00 Uhr EIN- und um 08:00 Uhr AUS-geschaltet. Die interne Verarbeitung des Zeitpunktes 07:00 Uhr ist zu erkennen. Die Leistungen im 15min-Intervall mit dem VDEW-Zeitstempel 07:00 Uhr ist näherungsweise Null. Erst im darauffolgenden 15min-Intervall mit dem VDEW-Zeitstempel 07:15 Uhr sind die Leistungen ungleich Null.

Uhrzeit[hh:mm]	Prb 6	P[MW] P6	Q[Mvar] P6	S[MVA] P6
6:30	6	9,67641E-08	6,31686E-09	9,69701E-08
6:45	6	1,00608E-07	-3,99966E-10	1,00609E-07
7:0	6	1,006E-07	-4,651E-10	1,00601E-07
7:15	6	1,00001	-4,92709E-06	1,00001
7:30	6	1,00001	-4,70195E-06	1,00001
7:45	6	1,00001	-4,92653E-06	1,00001
8:0	6	1,00001	-5,06674E-06	1,00001
8:15	6	1,00582E-07	-5,96908E-10	1,00584E-07
8:30	6	1,0058E-07	-6,14294E-10	1,00582E-07

5.6.14.9 Beispiel: E-Mobile: Fahrplanberechnung und Tabelle der Schaltzeiten

Es wird die Berechnungsmethode **E-Mobile: Fahrplanberechnung** verwendet. In den nachfolgend dargestellten Einstelldialogen ist in der Registerkarte **Allgemeine Daten** die Nennwirkleistung P_n eingestellt. Die **EIN/AUS**-Schaltzeiten sind in der Registerkarte **Lastprofil** eingestellt. Der Einstellwert **Energie** wird für diese Betriebsarten nicht verwendet. Es muss darauf geachtet werden, dass die Schaltzeiten zeitlich aufsteigend sortiert in der Tabelle definiert werden.

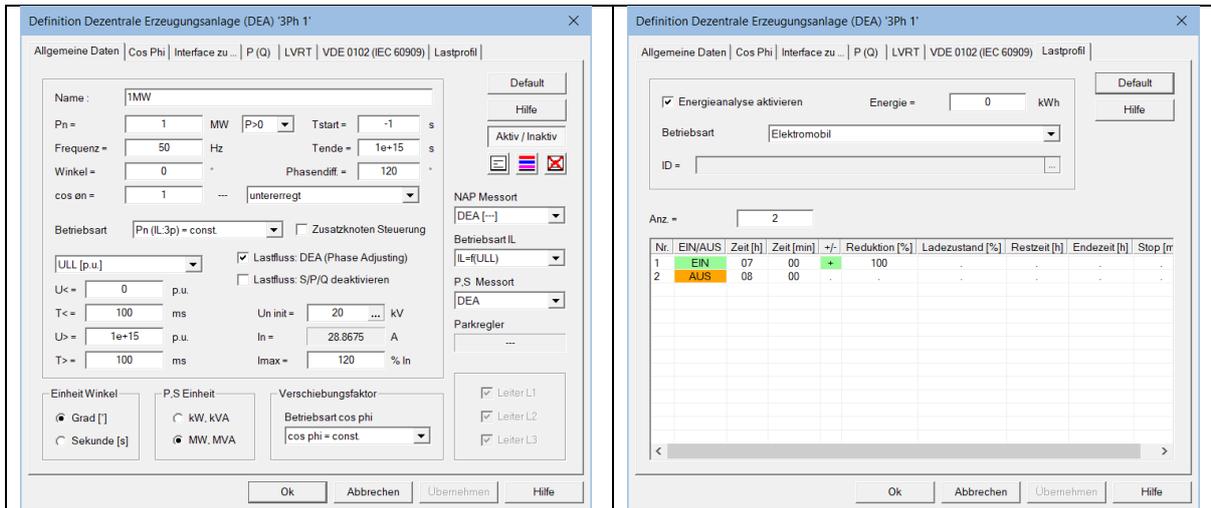


Abbildung 139: Einstelldialoge der Registerkarten **Allgemeine Daten** und **Lastprofil**

In dem nachfolgenden Diagramm ist die EIN/AUS-Schaltzeit des Ladeverhaltens des Elektromobils zu erkennen. Die Nennwirkleistung wird in dem eingestellten Zeitbereich in das Stromnetz eingespeist. Der zeitliche Verlauf erstreckt sich über einen Tag, d.h. umfasst 96 15min-Intervalle und wurde mit der Betriebsart **Ein definierter Tag** des Einstelldialogs für den **17.07.2024** berechnet.

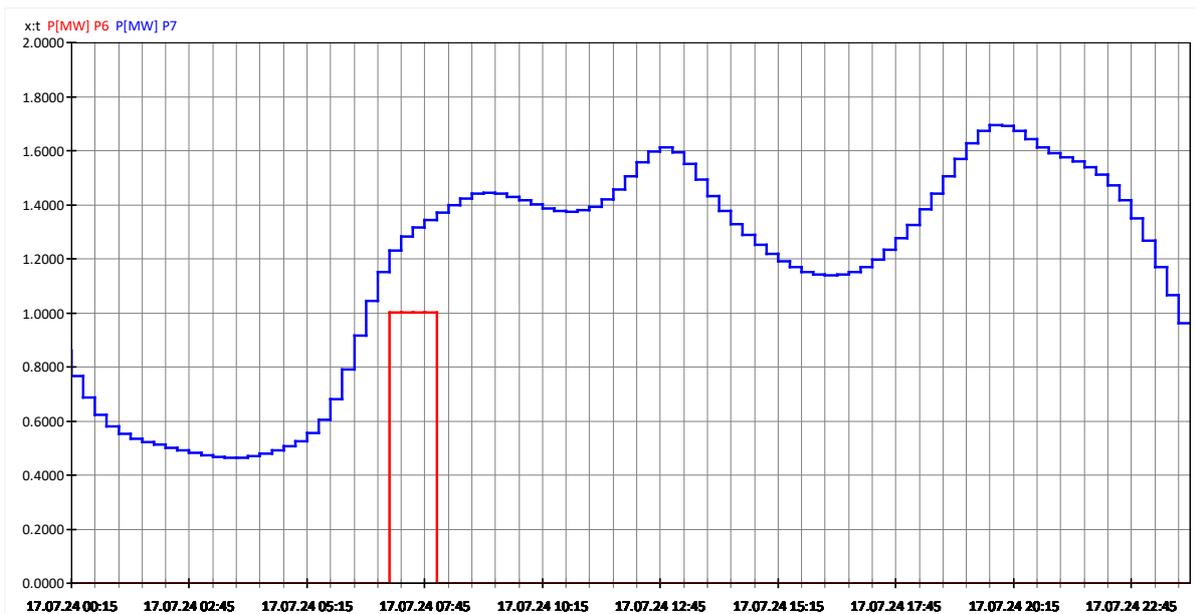
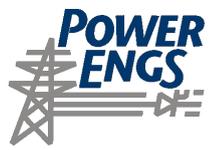


Abbildung 140: Berechnungsmethode **E-Mobile: Fahrplanberechnung** - Fahrplanmesswerte

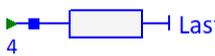


5.7 Verbraucherlast Load Impedance

Das Netzwerkelement **Verbraucherlast** (auch **Lastimpedanz** genannt) ermöglicht es, 1-phasige, 2-phasige und 3-phasige Verbraucherlasten in Parallel- oder Serienschaltung bzw. in Stern- oder Dreieckschaltung zu verwenden. Die Verbraucherlast kann als symmetrische oder unsymmetrische wirkende Last eingestellt werden. Der Sternpunkt kann für eine Sternschaltung starr geerdet werden. Das Netzwerkelement kann sowohl für die **Berechnung stationärer Netzzustände**, für **Lastflussberechnungen** als auch für die **Berechnung der dynamischen Netzvorgänge** [Bd. 3] verwendet werden.

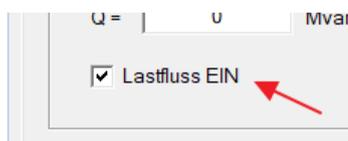
Die Verbraucherlast kann in der Netzgrafik durch zwei verschiedene Symbole dargestellt werden, die umschaltbar sind.

- Toolbar Button 
- Hauptmenü **Netzwerk Design**, Menüpunkt **Einstellwerte Verbraucherlast, Verbraucherlast Symbol ändern**

	Symbol	Bedeutung
1		Verbraucherlast für alle Betriebsarten außer 2, 3
2		Verbraucherlast für die Betriebsart mit Anlagenliste
3		Verbraucherlast für die Betriebsarten Lastprofil (Y) und Lastprofil (D)
4		Verbraucherlast für alle Betriebsarten

Die Impedanz der Verbraucherlast kann mit verschiedenen Vorgehensweisen eingestellt werden. Die einfachste Vorgehensweise ist die Einstellung der Leistungen etc. in der Registerkarte **Allgemeine Daten**. ATPDesigner berechnet aus den Leistungen die intern verwendete Impedanz. Als Alternative kann das interne Modell aus den Einstellwerten der [Lastprofile](#) in der Registerkarte **Lastprofil** z.B. einem H0-Lastprofil [23] oder aus den Einstellwerten der [Anlagenliste](#) berechnet werden.

- ⇒ Das Netzwerkelement **Verbraucherlast** wird in der Iteration der **Lastflussberechnung** berücksichtigt, wenn der Einstellwert **Lastfluss EIN** aktiviert ist.



- ⇒ Eine **Verbraucherlast** mit Option **Lastfluss EIN** deaktiviert kann z.B. als Erdschlusslöschspule an extern beschaltbaren Knoten von Transformatoren verwendet werden.

Es wird hier darauf hingewiesen, dass die Einstellwerte zur Definition der Verbraucherlast immer im Zusammenhang mit den Netzberechnungsverfahren **Berechnung stationärer Netzzustände**, **Lastflussberechnung** und **Berechnung der dynamischen Netzvorgänge** [Bd. 3] gesehen werden muss.

- Die Leistungen etc. aus der Registerkarte [Allgemeine Daten](#) oder alternativ aus der Registerkarte [Anlagenliste](#) werden zur Berechnung des internen Impedanzmodells für die **Berechnung stationärer Netzzustände**, für die **Lastflussberechnung** und für **Berechnung der dynamischen Netzvorgänge** verwendet.
- Die Lastprofile aus der Registerkarte [Lastprofil](#) werden nur für Lastflussberechnungen mit Zeitreihen im Sinne von 15min-Leistungswerten z.B. **Lastfluss: Lastprofil** [Bd. 3] verwendet.
- Für die **Berechnung dynamischer Netzvorgänge** kann alternativ eine Last mit zeitlich konstanter Leistung, ein zeitabhängiges Leistungsprofil oder ein **Batteriespeicher für einen Windpark** in der Registerkarte [Z\(t\) - MODELS](#) definiert werden. Das Zeitprofil wird mit Hilfe der ATP-Programmiersprache [MODELS](#) direkt in die .ATP-Datei eingefügt.

5.7.1 Internes Modell der Verbraucherlast

Das interne Modell der Verbraucherlast ist abhängig von den Einstellwerten. Im Folgenden wird beispielhaft das interne Modell für eine symmetrische, 3-phasige Verbraucherlast mit Längsimpedanzen in Sternschaltung vorgestellt. Ausgehend von den Einstellwerten der Registerkarte [Allgemeine Daten](#) wird aus der Wirkleistung P und der Blindleistung Q unter Berücksichtigung des Verbraucherzählpfeilsystems (VZS) und der untererregten oder übererregten Betriebsweise die Impedanz je Leiter L1, L2 und L3 wie folgt berechnet.

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

$$\underline{Z} = R + jX = \frac{U_{LL}^2}{\underline{S}^*} = \frac{U_{LL}^2}{P - jQ} = \frac{U_n^2}{P - jQ}$$

Die Kapazität C wird gleich null gesetzt. Im Einstelldialog wird der Einstellwert der Nennspannung U_n als erste Näherung für den Betrag der Leiter-Leiter-Spannung U_{LL} verwendet. Die berechneten Impedanzwerte R, X und C werden im Einstelldialog angezeigt.

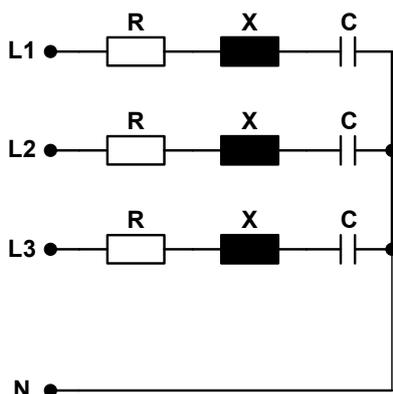


Abbildung 141: Internes Impedanzmodell der Verbraucherlast in Sternschaltung

5.7.2 Verwendung des Verbraucherzählpfeilsystems (VZS)

Das Netzwerkelement **Verbraucherlast** verwendet in jeder Betriebsart das **Verbraucherzählpfeilsystem** (VZS), um positive Leistungswerte zu definieren:

- ⇒ Die zur Verbraucherlast fließenden Leistungen werden mit einem positiven Wert definiert.

Durch das Vorzeichen der Wirkleistung P und der Blindleistung Q kann unter Berücksichtigung des Zählpfeilsystems die Leistungsflussrichtung festgelegt werden. Es können sowohl Bezugs- als auch Einspeiseanlagen nachgebildet werden.

- ⇒ Die Verbraucherlast kann unter Berücksichtigung des Verbraucherzählpfeilsystems (VZS) in allen vier Quadranten der komplexen P/Q -Leistungsebene verwendet werden.

5.7.3 Registerkarte Allgemeine Daten

In der Registerkarte sind die Einstellwerte zur Definition einer Lastimpedanz enthalten, die aus Leistungen, Verschiebungsfaktor und Nennspannung berechnet werden kann. Alternativ kann die Impedanz direkt mit den Einstellwerten R , X und C eingestellt werden. Die Betriebsart der Dateneingabe kann mit den beiden Optionen in der Gruppe **Eingabe** ausgewählt werden.

Eingabe	Bedeutung
R/X/C	Die Einstellwerte R , X und C können definiert werden. ATPDesigner berechnet die Einstellwerte S , P , Q , $\cos \phi$ unter Verwendung der Einstellwerte U_n und s .
S/P/Q	Die Einstellwerte S , P , Q , U_n , $\cos \phi$ und s können definiert werden. ATPDesigner berechnet die Einstellwerte R , X und C .

Darüber hinaus kann die 10er-Potenz der Einheiten von Wirkleistung P , Blindleistung Q und Scheinleistung S in der Gruppe **Einheit** eingestellt werden.

Betriebsart	Bedeutung
kW	Die Einheiten der Eingabefelder von Wirkleistung P , Blindleistung Q und Scheinleistung S sind kW, kvar und kVA.
MW	Die Einheiten der Eingabefelder von Wirkleistung P , Blindleistung Q und Scheinleistung S sind MW, Mvar und MVA.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Einstellwerte erläutert.

Einstellwert	Bedeutung
R	Resistanz in Ohm
X	Reaktanz X in Ohm
C	Kapazität C in μF

starr geerdet	Sternpunkt starr geerdet oder isoliert
S	Scheinleistung der Verbraucherlast
P	Wirkleistung der Verbraucherlast
Q	Blindleistung der Verbraucherlast
Un	Nennspannung für die Leistungsberechnung
cos phi	<p>Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ Der Verschiebungsfaktor wird abweichend von der normativen Definition aus dem Betrag der Wirkleistung berechnet, da die Wirkleistung positiv oder negativ, d.h. als Bezugsleistung oder Einspeiseleistung eingestellt sein kann.</p> $\cos \varphi = \frac{ P }{S}$
übererregt untererregt	In der Auswahlliste kann die Betriebsart der Blindleistungsbereitstellung übererregt oder untererregt eingestellt werden. Durch die Auswahl wird das Vorzeichen des Einstellwertes der Blindleistung Q entsprechend verändert.
Lastfluss EIN	Falls aktiviert wird die Lastimpedanz in der Lastflussberechnung berücksichtigt, sonst als Lastimpedanz mit konstanten Werten.
s	Betriebsmittelspezifischer Teillastfaktor des Betriebsmittels Mit Hilfe des betriebsmittelspezifischen Teillastfaktors und der Scheinleistungen S wird die in der Netzberechnung tatsächlich verwendet d.h. elektrisch wirksame Scheinleistung S_{res} und daraus folgend die Impedanz der Last berechnet.
Anlagenliste verwenden	Alternativ zu den in der Registerkarte einstellbaren Leistungen P, Q und S sowie dem Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ zusammen mit der untererregten und übererregten Betriebsweise kann das interne Impedanzmodell der mit den Einstellwerten der Anlagenliste der Registerkarte Anlagenliste eingestellt werden.

Der Einstelldialog ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

Definition Verbraucherlast 'Load 1' X

Allgemeine Daten | Anlagensliste | Lastprofil | Z(t) - MODELS

Impedanz

Name: Load 1

R = 242 Ohm

X = 0 Ohm

C = 0 uF

Betriebsart: Serienimpedanz (Y)

starr geerdet

Buttons: Default, Hilfe, Aktiv / Inaktiv, [List], [Flag], [Close]

1-phasig Leiter L1 Knoten A

Leiter L2 Knoten B

Leiter L3 Knoten C

Anwendervorlage: Anwenden, Definieren

Eingabe: R/X/C S/P/Q

Zusätzlicher Serienwiderstand: R = 0 Ohm

Einheit: kW MW

S = 50000 kVA s = 100 % Anlagensliste verwenden

P = 50000 kW Un = 110 kV

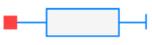
Q = 0 kvar cos phi = 1 untererregt

Lastfluss EIN -50.000MVA = -100.0%

Buttons: Ok, Abbrechen, Übernehmen, Hilfe

Abbildung 142: Einstelldialog einer symmetrischen Verbraucherlast

Die Verbraucherlast kann wahlweise durch die Parameter R, X und C oder durch die Angabe der Nennspannung U_n und den Leistungen S, P und Q bzw. dem Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ definiert werden. Abhängig von der Einstellung werden folgende Symbole in der Netzgrafik verwendet:

Symbol	Bedeutung
	$\underline{Z} = R + jX + j/(\omega C)$
	$\underline{Z} = R$
	$\underline{Z} = jX = j\omega L$
	$\underline{Z} = j/(\omega C)$

Es ist möglich, die Wirkleistung P und die Blindleistung Q in den vier Quadranten I-IV der komplexen Scheinleistungsebene einzustellen. Bezogen auf das Verbraucherzählpfeilsystem (VZS) gilt:

Einstellwert	Bedeutung
P > 0 oder Q > 0	Bezug von Wirkleistung und Blindleistung
P < 0 oder Q < 0	Einspeisung von Wirkleistung und Blindleistung

Aus den Einstellwerten wird der Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ berechnet.

Einstellwert	Bedeutung
1-phasig	Auswahl für ein leiterselektives Modell aktivieren / deaktivieren
Leiter L1, L2, L3	Modell für die Leiter L1, L2, L3 als 3-phasiges Modell aktivieren / deaktivieren

Wird die Option **1-phasig** aktiviert, so wird die Impedanz für **Leiter L1** automatisch aktiviert. Der Wert der Impedanz wird aus den Leistungen S, P und Q bzw. dem Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ je nach Anzahl der aktivierten Phasen berechnet. Die Leistungswerte und der Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ bleiben dabei unverändert.

5.7.4 Anwenderspezifische Knotennamen

Der Anwender kann für das Netzwerkelement optional für jeden Leiter L1, L2 und L3 einen anwenderspezifischen Knotennamen definieren. Der anwenderspezifische Knotenname ist maximal 5 Zeichen lang. ATPDesigner stellt automatisch den Leiterbezeichner A, B oder C voran.

Einstellwert	Bedeutung
Knoten A, B, C	Anwenderspezifische Knotennamen, max. 5 Zeichen

5.7.5 Betriebsarten der Verbraucherlast

Das Netzwerkelement **Verbraucherlast** kann als symmetrische oder unsymmetrische Serien- und Parallelimpedanz mit und ohne Sternpunktterdung verwendet werden.

Betriebsart	Bedeutung
Serienimpedanz (Y)	Modell der Serienimpedanz RLC in Sternschaltung, die Einstellwerte für R, L und C gelten für die drei Impedanzen ⇒ Das Modell kann nur dazu verwendet werden, symmetrischen Verbraucherlasten nachzubilden. ⇒ Die Einstellung kann auch mit der Anlagenliste erfolgen.
Serienimpedanz (D)	Modell der Serienimpedanz RLC in Dreieckschaltung, die Einstellwerte für R, L und C gelten für die drei Impedanzen ⇒ Das Modell kann nur dazu verwendet werden, symmetrischen Verbraucherlasten nachzubilden. ⇒ Die Einstellung kann auch mit der Anlagenliste erfolgen.
Serienimpedanz (1-phasig Y)	Modell der Serienimpedanz RLC in Sternschaltung, die Einstellwerte für R, L und C können für die drei Impedanzen getrennt eingestellt werden. Das Modell kann dazu verwendet werden, symmetrischen und unsymmetrische Verbraucherlasten nachzubilden.

	Um den Einstelldialog zur leiter-spezifischen Einstellung von R, L und C zu öffnen, muss die Betriebsart ausgewählt und danach der Dialog mit dem Button OK geschlossen werden. Der neue Einstell-dialog für eine unsymmetrische Verbraucherlast wird automatisch geöffnet.
Parallelimpedanz (Y)	Modell der Parallelimpedanz RLC in Sternschaltung, die Einstellwerte für R, L und C gelten für die drei Impedanzen ⇒ Das Modell kann nur dazu verwendet werden, symmetrischen Verbraucherlasten nachzubilden. ⇒ Die Einstellung kann auch mit der Anlagenliste erfolgen.
Lastprofil (Y)	Modell der Serienimpedanz RLC in Sternschaltung basierend auf einem anwenderspezifischen oder anlagenspezifischen Lastprofil [Bd. 3] ⇒ Das Modell kann nur dazu verwendet werden, symmetrischen Verbraucherlasten nachzubilden. ⇒ Die Einstellung erfolgt in der Registerkarte Lastprofil .
Lastprofil (D)	Modell der Serienimpedanz RLC in Dreieckschaltung basierend auf einem anwenderspezifischen oder anlagenspezifischen Lastprofil [Bd. 3] ⇒ Das Modell kann nur dazu verwendet werden, symmetrischen Verbraucherlasten nachzubilden. ⇒ Die Einstellung erfolgt in der Registerkarte Lastprofil .
Z(t) = MODELS	In dieser Betriebsart werden die Lasten nicht durch Impedanzen, sondern mit Hilfe von Software-Modellen unter Verwendung der ATP-Programmiersprache MODELS implementiert.

5.7.6 Unsymmetrische Verbraucherlast Serienimpedanz (1-phasig Y)

Der Einstelldialog zur Definition einer 3-phasigen unsymmetrischen Lastimpedanz ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Je Leiter werden die Werte R, X und C der leiter-spezifischen Impedanzen eingestellt und die zugehörigen Leistungen berechnet.

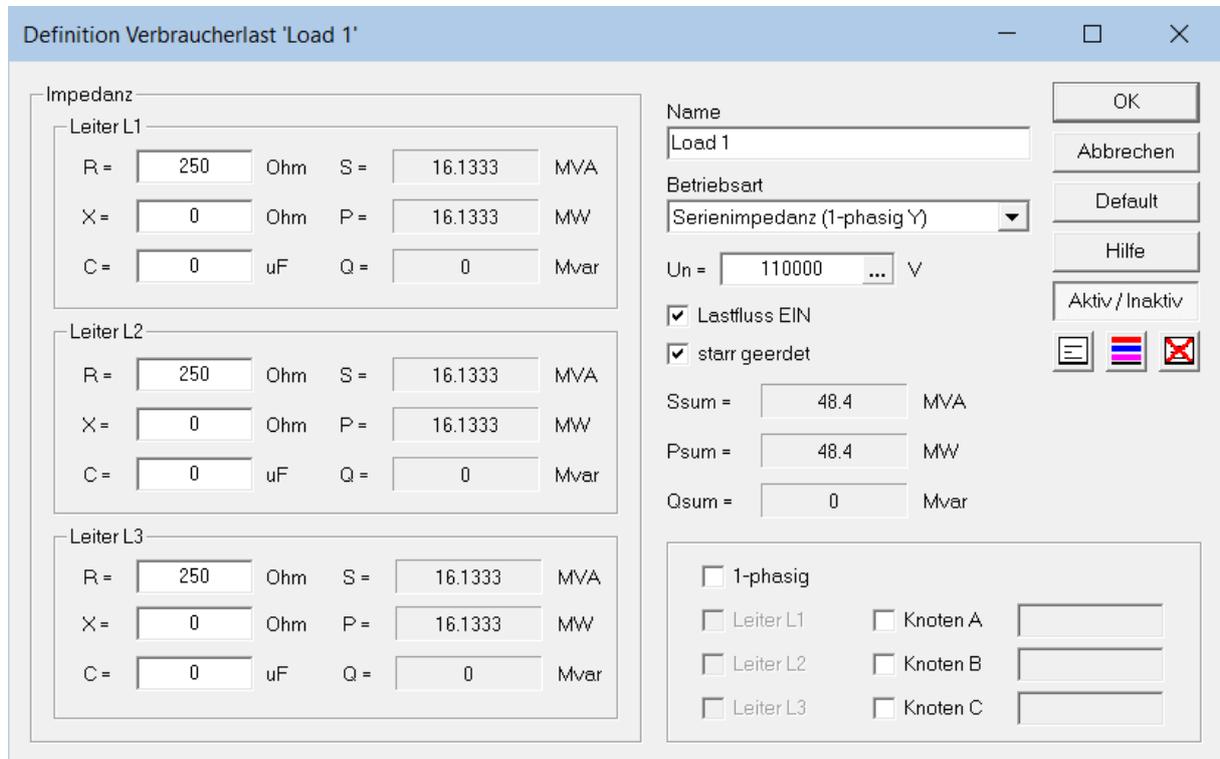


Abbildung 143: Einstelldialog einer 1-phasig einstellbaren Verbraucherlast

Einstellwert	Bedeutung
R	Resistanz in Ohm
X	Reaktanz X in Ohm
C	Kapazität C in μF
starr geerdet	Sternpunkt starr geerdet / Sternpunkt isoliert
Un	Nennspannung für die Leistungsberechnung in V
Lastfluss EIN	Falls aktiviert wird die Verbraucherlast in der Lastflussberechnung berücksichtigt, sonst als Verbraucherlast mit konstanten Impedanzwerten.

Die resultierende 3-phasige Scheinleistung \underline{S}_{sum} wird durch Addition der komplexen Scheinleistungen der drei Leiter \underline{S}_{L1} , \underline{S}_{L2} und \underline{S}_{L3} berechnet.

$$\underline{S}_{L1} = P_{L1} + j \cdot Q_{L1} = \underline{U}_{L1} \cdot \underline{I}_{L1}^*$$

$$\underline{S}_{L2} = P_{L2} + j \cdot Q_{L2} = \underline{U}_{L2} \cdot \underline{I}_{L2}^*$$

$$\underline{S}_{L3} = P_{L3} + j \cdot Q_{L3} = \underline{U}_{L3} \cdot \underline{I}_{L3}^*$$

$$\underline{S}_{sum} = P_{sum} + j \cdot Q_{sum}$$

$$P_{sum} = P_{L1} + P_{L2} + P_{L3}$$

$$Q_{sum} = Q_{L1} + Q_{L2} + Q_{L3}$$

5.7.7 Lastflussberechnung: Lastfluss EIN

Wenn die Funktion aktiv ist, wird die Impedanz der Verbraucherlast während der Lastflussberechnung iterativ so verändert, damit bei sich verändernder Knotenspannung die vom Anwender eingestellte Wirk- und Blindleistung erreicht wird. Damit wird ein **PQ-Knoten** der Lastflussberechnung realisiert. In dem Anzeigefeld in der nachfolgenden Abbildung wird die Abweichung der berechneten Scheinleistung zu der vom Anwender im Einstelldialog definierten Scheinleistung angezeigt. Wurde das Lastkorrekturverfahren nicht verwendet, so wird hier die vom Anwender definierte Leistung S als negativer Wert angezeigt. In der nachfolgenden Abbildung beträgt die Abweichung 0%.

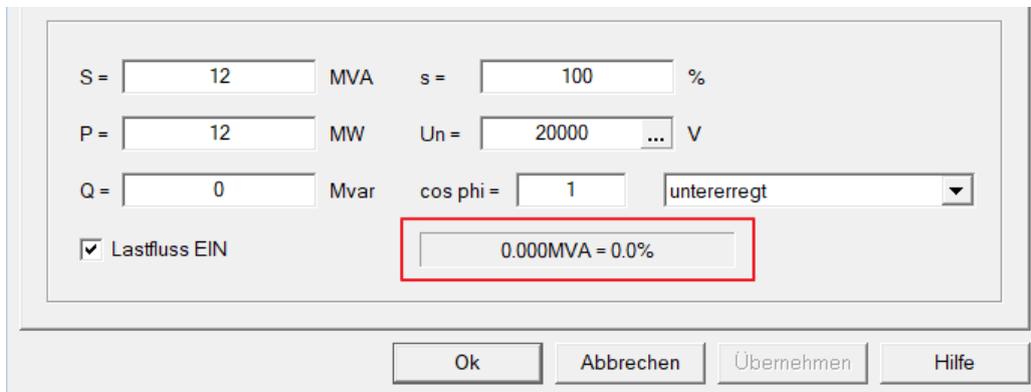


Abbildung 144: Abweichung SOLL – IST Wert der Scheinleistung

5.7.8 Betriebsmittelspezifischer Teillastfaktor s

Mit Hilfe des betriebsmittelspezifischen Teillastfaktors kann bei sonst gleichbleibenden Einstellwerten ein Teillastbetrieb mit einem **elektrisch wirksamen Teillastfaktor** eingestellt werden.

$$S_{res} = S \cdot s$$

Es muss hier beachtet werden, dass in der Berechnung des elektrisch wirksamen Teillastfaktors noch **globale Teillastfaktoren** und **zonenspezifische Teillastfaktoren** berücksichtigt werden.

5.7.9 Globaler Teillastfaktor

Der **globale Teillastfaktor s** für das Netzwerkelement **Lastimpedanz** wird im Einstelldialog **ATP Einstellwerte**, Registerkarte **Lastfluss: Lasten** eingestellt.

5.7.10 Grafische Symbole zur Anzeige der Verbraucherlast in der Netzgrafik

Die **Verbraucherlast** kann alternativ mit zwei verschiedenen grafischen Symbolen im elektrischen Netz angezeigt werden. Die Umschaltung zwischen den beiden Symbolen erfolgt für alle Lasten gleichzeitig.

- Hauptmenü **Netzwerk Design**
- Menüpunkt **Einstellwerte Lastimpedanz**
- Menüpunkt **Lastimpedanz Symbol ändern**

Alternativ kann die Umschaltung mit einem **Left Mouse Button Click** auf den Toolbar-Button  erfolgen.



5.7.11 Registerkarte *Lastprofil* – Standardlastprofile in Anlehnung an VDEW

Ist in der Registerkarte **Allgemeine Daten** die Betriebsart **Lastprofil (Y)** oder **Lastprofil (D)** eingestellt, so wird das zeitliche Verhalten der Bezugsleistung der Verbraucherlast mit Hilfe von Lastprofilen im Sinne von Zeitreihen bestehend aus 15min-Intervallen konstanter Leistung nachgebildet.

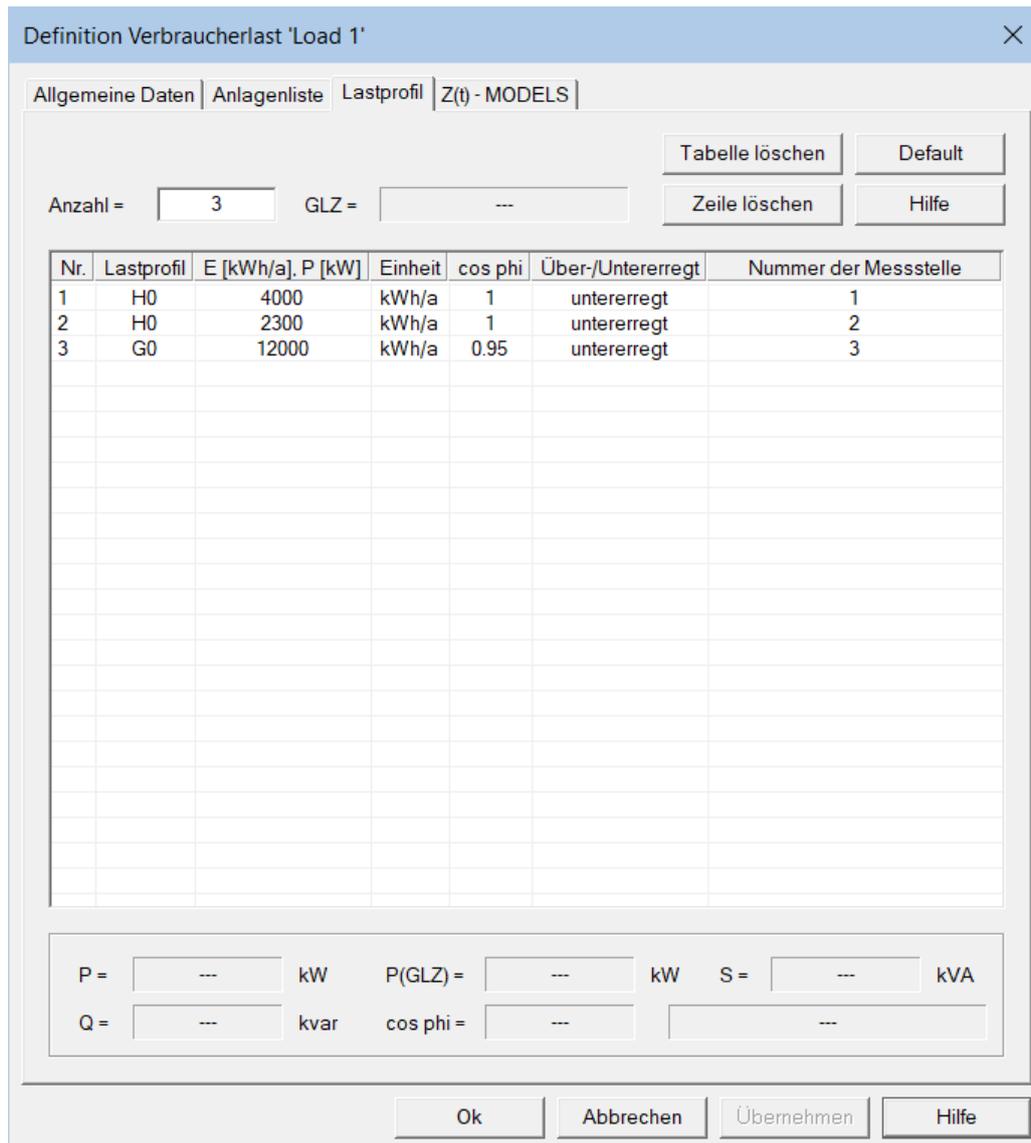
- Unter einem **Lastprofil** wird eine **Zeitreihe von Wirkleistungswerten P** mit einer zeitlichen Auflösung von 15min verstanden. Es wird angenommen, dass innerhalb des 15min-Intervalls die Werte von Wirkleistung P und Blindleistung Q konstant sind.
- Eine Lastflussberechnung mit Lastprofilen wird im Folgenden auch als **Zeitreihenberechnung** bezeichnet.
- Lastprofile können als [allgemeine oder anwenderspezifische Lastprofile](#) entsprechend den Spezifikationen als VDEW-Standardlastprofilen [23] oder als [anlagen-spezifische Lastprofile](#) verwendet werden.
- Zur Durchführung der Lastflussberechnung mit Lastprofilen werden .CSV- oder .JSON-Dateien benötigt, in denen Leistungs- oder Energiewerte als Zeitreihe gespeichert sind.
- Die Registerkarte **Lastprofil** wird nur von Lastflussberechnungsverfahren verwendet, die Zeitreihen von 15min-Intervallen wie z.B. **Lastfluss: Lastprofile** [Bd. 3] verwenden.
- Wird eine **Lastflussberechnung ohne Zeitreihen** durchgeführt, werden entweder die Leistungen aus der Registerkarte [Allgemeine Daten](#) oder der Registerkarte [Anlagenliste](#) verwendet.
 - ⇒ Die zu den Lastprofilen gehörenden Lastflussberechnungen sowie die Spezifikation der Lastprofildateien, d.h. die Formate der CSV-Dateien werden im Kapitel **Lastfluss: Lastprofile** [Bd. 3] näher erläutert.

Es können mehrere Bezugsanlagen mit unterschiedlichen Lastprofilen und Energien dem Netzwerkelement **Verbraucherlast** zugeordnet werden. Damit ist es möglich, einen Netzanschlusspunkt (NAP) mit mehreren Bezugsanlagen z.B. ein Mehrfamilienhaus

oder ein Gebäude mit Wohnungen und Gewerberäumen oder auch mehreren Laststationen für Elektromobile nachzubilden.

ATPDesigner berechnet für jede Bezugsanlage entsprechend dem eingestellten Lastprofil die Wirkleistung für das betrachtete 15min-Intervall und addiert diese zur summarischen Wirkleistung. Die summarische Wirkleistung wird intern durch eine einzige resultierende Lastimpedanz nachgebildet.

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Einstelldialog, um eine oder mehrere Bezugsanlagen mit Hilfe von Lastprofilen nachzubilden.



Definition Verbraucherlast 'Load 1'

Allgemeine Daten | Anlagenliste | Lastprofil | Z(t) - MODELS

Anzahl = GLZ =

Tabelle löschen | Default

Zeile löschen | Hilfe

Nr.	Lastprofil	E [kWh/a]	P [kW]	Einheit	cos phi	Über-/Unterregt	Nummer der Messstelle
1	H0	4000		kWh/a	1	untererregt	1
2	H0	2300		kWh/a	1	untererregt	2
3	G0	12000		kWh/a	0.95	untererregt	3

P = kW P(GLZ) = kW S = kVA

Q = kvar cos phi =

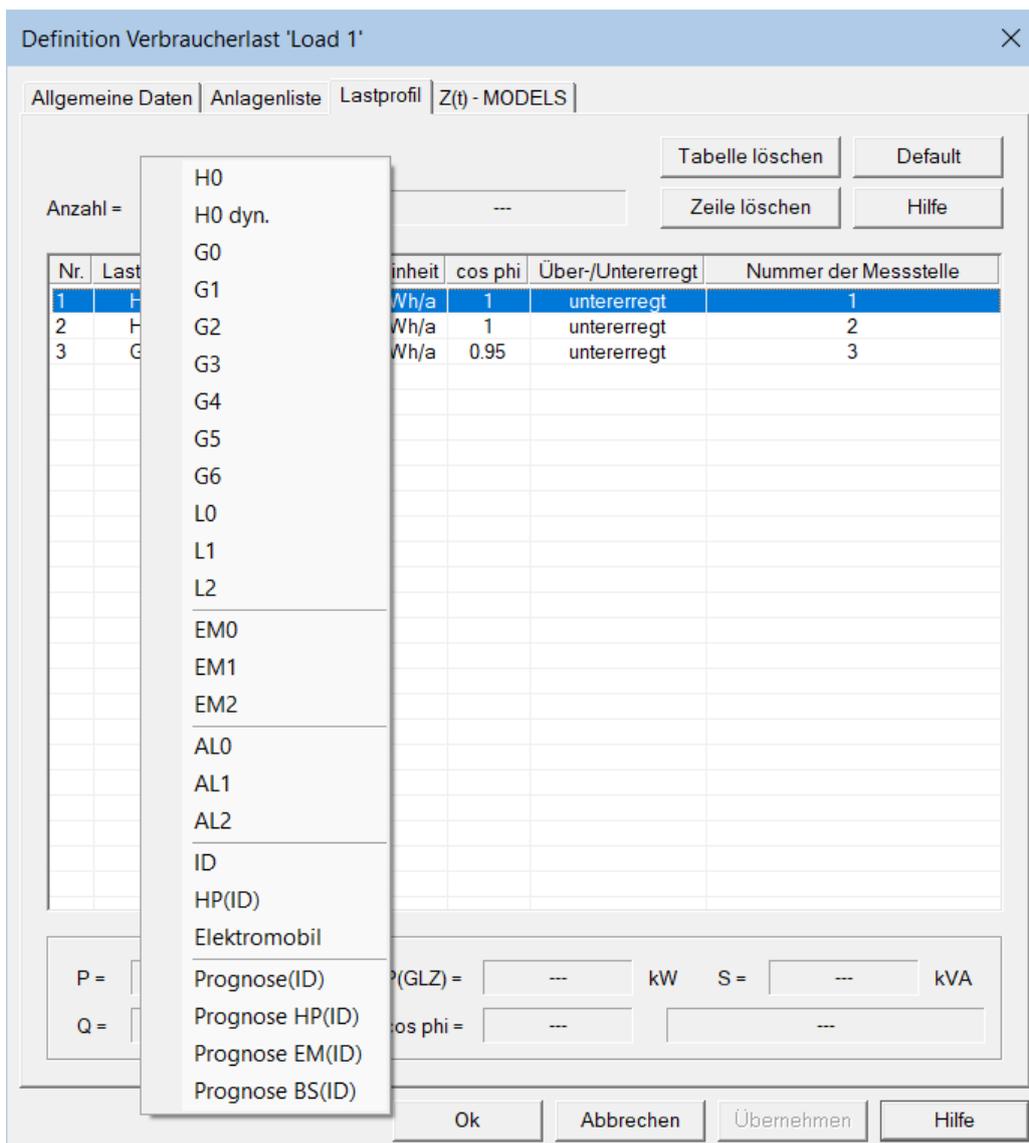
Ok | Abbrechen | Übernehmen | Hilfe

Abbildung 145: Einstelldialog Lastprofil - Verwendung von Lastprofilen nach VDEW [23]

Einstellwert	Bedeutung
Anzahl	Anzahl der parallel geschalteten Bezugsanlagen am elektrischen Lastknoten
Nr.	Nummer der Bezugsanlage am elektrischen Lastknoten
Lastprofil	Typ des Lastprofils in Anlehnung an VDEW [23], z.B. H0 oder G0 oder ein Lastprofil mit Anlagen-Identifizier ID

E [kWh/a], P [kW]	Jahresenergieverbrauch oder Wirkleistung
cos phi	Verschiebungsfaktor $\cos \varphi = \frac{P}{S}$
Über-/Unterregt	Betriebsweise überregt oder unterregt der Anlage Es wird das Verbraucherzählpeilsystem (VZS) verwendet.
Nummer der Messstelle	Eindeutiger Identifier der Messstelle Die Nummer der Messstelle wird als eindeutiger Anlagen-Identifier ID verwendet. Abhängig von der Verwendung allgemeiner oder anwenderspezifischer Lastprofile bzw. anlagenspezifischer Lastprofile wird der Anlagen-Identifier ID zur eindeutigen Zuordnung von Leistungs- oder Energiewerten aus den .CSV- oder .JSON-Datei verwendet.

Nach der Eingabe der Anzahl Bezugsanlagen für den Lastknoten kann für jede Bezugsanlage das Lastprofil durch einen **Left Mouse Button Click** auf die entsprechende Zelle der Tabelle in der Spalte Lastprofil mit Hilfe eines Right Mouse Button Menu ausgewählt werden. Die Eingabe der anderen Werte erfolgt durch einen **Left Mouse Button Double Click** auf die entsprechende Zelle und Eingabe per Tastatur.



Definition Verbraucherlast 'Load 1'

Allgemeine Daten | Anlagenliste | Lastprofil | Z(t) - MODELS

Anzahl =

Tabelle löschen | Default

Zeile löschen | Hilfe

Nr.	Last	Einheit	cos phi	Über-/Unterregt	Nummer der Messstelle
1	H	Wh/a	1	unterregt	1
2	H	Wh/a	1	unterregt	2
3	G	Wh/a	0.95	unterregt	3

P =

Q =

P(GLZ) = kW S = kVA

cos phi =

Ok | Abbrechen | Übernehmen | Hilfe

Abbildung 146: Auswahl eines Lastprofils durch einen Left Mouse Button Click

Es wird zwischen allgemeinen und anwenderspezifischen sowie anlagenspezifischen Lastprofilen unterschieden. Die [Kurzbezeichner der Lastprofile](#) werden nachfolgend näher erläutert.

5.7.11.1 Allgemeine oder anwenderspezifische und anlagenspezifische Lastprofile

In der nachfolgenden Tabelle sind die Kurzbezeichner zu den Lastprofilen angegeben und näher erläutert. Es wird zwischen

- [allgemeinen oder anwenderspezifischen Lastprofilen](#) und
- [anlagenspezifischen Lastprofilen mit Anlagen-Identifizier ID](#)

unterschieden.

5.7.11.1.1 Allgemeine oder anwenderspezifische Lastprofile

Die zugehörigen Lastprofildateien werden als .CSV-Dateien im Verzeichnis **C:\ATPDesigner\Exe\LoadProfiles** gespeichert. Der Aufbau der .CSV-Dateien entspricht der Spezifikation von Standardlastprofilen (SLP) nach VDEW [23].

- ⇒ Näheres zum **Dateiformat der .CSV-Dateien** kann in Kapitel [Lastflussberechnung mit Flexibilitäten](#) [Bd. 3] nachgelesen werden.

Lastprofil	Allgemeinen und anwenderspezifische Lastprofile
H0	Haushaltskunden [23]
H0 dyn.	Haushaltskunden (Dynamisierung) [23]
G0	Gewerbe allgemein [23]
G1	Gewerbe werktags 8-18Uhr [23]
G2	Gewerbe mit starkem bis überwiegendem Verbrauch in den Abendstunden [23]
G3	Gewerbe durchlaufend [23]
G4	Laden/Friseur [23]
G5	Bäckerei mit Backstube [23]
G6	Wochenendbetrieb [23]
L0	Landwirtschaftsbetrieb [23]
L1	Landwirtschaftsbetriebe mit Milchwirtschaft/Nebenerwerbs-Tierzucht [23]
L2	Übrige Landwirtschaftsbetriebe [23]
EM0	Elektromobilität Szenario Heim [24]
EM1	Elektromobilität Szenario Heim und Arbeit [24]
EM2	Elektromobilität Szenario Flächendeckend [24]
AL0	Anwenderspezifisches Lastprofil für beliebige Bezugsanlagen
AL1	Anwenderspezifisches Lastprofil für beliebige Bezugsanlagen
AL2	Anwenderspezifisches Lastprofil für beliebige Bezugsanlagen

Ein allgemeines oder anwenderspezifisches Lastprofil verwendet immer den gleichen normierten Zeitverlauf als Zeitreihe von Wirkleistungen je 15min-Intervall.

- ⇒ Der Einstellwert **Nummer der Messstelle** als **Anlagen-Identifizier ID** kann optional zu dokumentarischen Zwecken verwendet werden.
- ⇒ Eine Individualisierung kann erfolgen, in dem der Anwender die Jahresenergiemenge **Energie [kWh/a]** nach VDEW [23] anlagenspezifisch definiert.

Die Wirkleistung $P_{15\min}(t)$ der Bezugs- oder Einspeiseanlage berechnet sich für ein 15min-Intervall nach VDEW [23] wie nachfolgend dargestellt.

$$P_{15\min}(t) = \frac{E}{1000kWh} \cdot P_{15\min LP}(t)$$

- E : Jahresenergiemenge in kWh
- $P_{15\min LP}(t)$: Wirkleistung für das 15min-Intervall des Lastprofils in kW

Die Dateien der Lastprofile **AL0**, **AL1** und **AL2** sind nicht im Installationsprogramm von **ATPDesigner** enthalten und müssen vom Anwender erstellt und in dem Systemverzeichnis **C:\ATPDesigner\Exe\LoadProfiles** gespeichert werden. Es wird empfohlen die die Lastprofile mit gemittelten Leistungen analog zu den VDEW-Standardlastprofilen zu erstellen.

5.7.11.1.2 Anlagenspezifisches Lastprofil mit Anlagen-Identifizier ID

Mit Hilfe der anlagenspezifischen Lastprofile kann der Anwender für jede einzelne Bezugsanlage ein spezifisches Lastprofil definieren. Das anlagenspezifische Lastprofil besteht aus einer Zeitreihe von 15min-Intervallen, denen eine jeweils konstante Wirkleistung zugeordnet wird. Der Bezug zwischen dem aus einer Datei eingelesenen Lastprofil und dem Listeneintrag in der Tabelle in der Registerkarte Lastprofile wird durch einen **Anlagen-Identifizier ID** hergestellt.

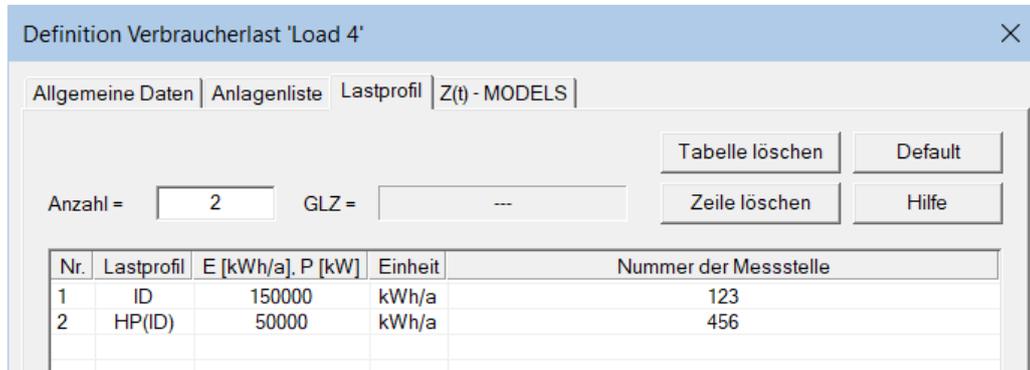
- ⇒ Der Einstellwert **Nummer der Messstelle** als **Anlagen-Identifizier ID** muss zur eindeutigen Zuordnung der Anlagenkomponente zu einem Lastprofil, das aus einer .CSV- oder .JSON-Datei eingelesen wird, verwendet werden. Die Verwendung des **Anlagen-Identifizier ID** kann bei der Definition der .CSV- und .JSON-Dateien in [Bd. 3] nachgelesen werden.
- ⇒ Der Anwender muss die Eindeutigkeit dieser Beziehung sicherstellen. ATPDesigner prüft die Eindeutigkeit dieser Beziehung nicht nach.
- ⇒ Eine Individualisierung der Lastprofile erfolgt, in dem der Anwender den Zeitverlauf und/oder die Jahresenergiemenge bzw. Nenn-Wirkleistung anlagenspezifisch definiert.

5.7.11.1.2.1 Lastprofil ID

Das Lastprofil kann so im Zeitverlauf der 15min-Intervalle und den Leistungswerten je 15min-Intervall eingestellt werden, dass es anlagenspezifisch durch die Jahresenergiemenge **Energie [kWh/a]** definiert wird. Die Wirkleistung $P_{15\min}(t)$ der Bezugsanlage berechnet sich für ein 15min-Intervall nach VDEW [23].

$$P_{15\min}(t) = \frac{E}{1000kWh} \cdot P_{15\min LP}(t)$$

- E : Jahresenergiemenge in kWh/a
- $P_{15\min LP}(t)$: Wirkleistung für das 15min-Intervall des Lastprofils in kW aus der .CSV-Datei des Lastprofils



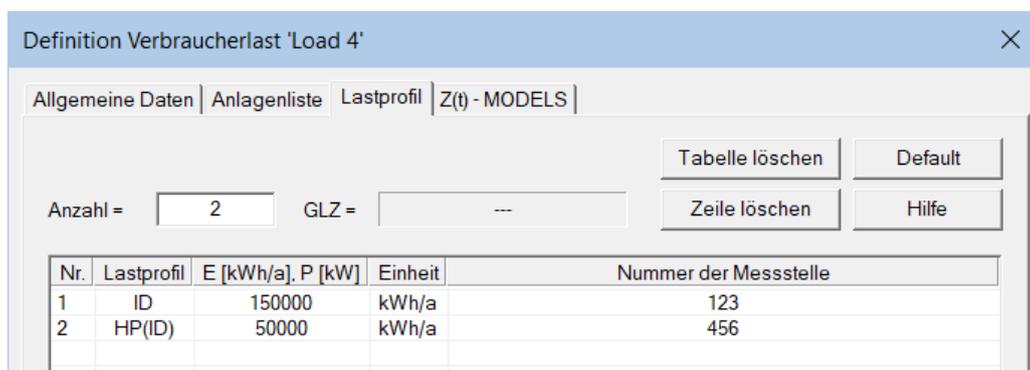
Nr.	Lastprofil	E [kWh/a]	P [kW]	Einheit	Nummer der Messstelle
1	ID	150000		kWh/a	123
2	HP(ID)	50000		kWh/a	456

5.7.11.1.2.2 Lastprofil HP(ID)

Das Lastprofil der Wärmepumpe kann im Zeitverlauf der 15min-Intervalle und den Leistungswerten je 15min-Intervall anlagenspezifisch durch die Jahresenergiemenge **Energie [kWh/a]** und die **Summe der Temperaturmesszahlen TMZ** eingestellt werden. Die Wirkleistung $P_{15\min}(t)$ der Bezugsanlage berechnet sich für ein 15min-Intervall wie nachfolgend beschrieben.

$$P_{15\min}(t) = \frac{E[kWh]}{\text{Summe}(TMZ)[K]} \cdot P_{15\min LP}(t) \left[\frac{K}{h} \right]$$

- E [kWh] : Jahresenergiemenge in kWh
- Summe (TMZ) : Summe der Temperaturmesszahlen des Jahres in K
- $P_{15\min LP}(t)$: spezifische Wirkleistungsfaktor für das 15min-Intervall des Lastprofils in K/h aus der .CSV-Datei des Lastprofils



Nr.	Lastprofil	E [kWh/a]	P [kW]	Einheit	Nummer der Messstelle
1	ID	150000		kWh/a	123
2	HP(ID)	50000		kWh/a	456

Die Temperaturmesszahl **Summe (TMZ)** ist im Einstelldialog **Einstellung Lastflussberechnung**, Registerkarte **Einstellung Lastflussberechnung** in der Gruppe **Lastprofile: Wärmepumpe** einstellbar.

✕
Einstellung Lastflussberechnung

E-Mobile
JSON-Prognosedatei
Netzengpassanalyse
Newton-Raphson

Einstellung Lastflussberechnung
Lastfluss: Lasten
Lastfluss: DEA
Meldungen

Balkenanzeige aktivieren ...

Default

 Leitungen
 Erzeugungsanlage (DEA)
 Sammelschiene

Automatische Lastflussberechnung durch ...

Ohne ▾

 Messwertskalierte Lastflussberechnung

Genauigkeit = %
 Iteration: P
 Max. Faktor =

Max. Steps =
 Iteration: Q
 Min. Faktor =

Lastflussberechnung Lastfluss: PQ, PU Knoten
 Lastfluss: DEA

Ausgabe Bilddatei (.EMF-Datei) mit Netzgrafik und Ergebnissen

Ausgabe .CSV-Datei mit Ergebnissen der Lastflussberechnung

Bericht: Ergebnisse Lastflussberechnung

N-1 Netzzustandsanalyse

U1> p.u.
 Alle Ergebnisse

Lastprofile: Wärmepumpe

Tsommer = °C
 Tübergang = °C

Twinter = °C
 Summe (TMZ) = K

5.7.11.1.2.3 Lastprofil Elektromobil EMOB(ID)

Lastprofile können sich so im Zeitverlauf der 15min-Intervalle und in den Leistungswerten je 15min-Intervall eingestellt durch die Nenn-Ladeleistung **P [kW]** unterscheiden. Die Wirkleistung $P_{15\text{min}}(t)$ der E-Mobil-Ladestation berechnet sich für ein 15min-Intervall wie nachfolgend dargestellt.

$$P_{15\text{min}}(t) = P[\text{kW}] \cdot P_{15\text{minLP}}(t)$$

- P [kW] : Nenn-Ladeleistung des Elektromobils in kW
- $P_{15\text{minLP}}(t)$: bezogene Wirkleistung für das 15min-Intervall des Lastprofils in p.u. aus der **.CSV-Datei** des Lastprofils

Definition Verbraucherlast 'Load 4'

Allgemeine Daten | Anlagenliste | **Lastprofil** | Z(t) - MODELS

Anzahl = GLZ =

Tabelle löschen | Default
Zeile löschen | Hilfe

Nr.	Lastprofil	E [kWh/a], P [kW]	Einheit	Nummer der Messstelle
1	G3	150000	kWh/a	0
2	EMOB(ID)	11	kW	123

5.7.11.1.2.4 Lastprofile *Prognose(ID)*, *Prognose EM(ID)* und *Prognose HP(ID)*, *Prognose BS(ID)*

Lastprofile können sich im Zeitverlauf und den Leistungswerten der 15min-Intervalle unterscheiden. Die Wirkleistung $P_{15\min}(t)$ der Bezugsanlage wird für ein 15min-Intervall direkt aus der aus der **JSON**-Prognosedatei [Bd. 3] ausgelesen wie nachfolgend dargestellt. Die Eingabe eines Energie- oder Leistungswertes in der Tabelle entfällt wie nachfolgend dargestellt.

$$P_{15\min}(t) = P_{15\min LP}(t)$$

- $P_{15\min LP}(t)$: Wirkleistung für das 15min-Intervall des Lastprofils in kW

Definition Verbraucherlast 'Load 4'

Allgemeine Daten | Anlagenliste | **Lastprofil** | Z(t) - MODELS

Anzahl = GLZ =

Tabelle löschen | Default
Zeile löschen | Hilfe

Nr.	Lastprofil	E [kWh/a], P [kW]	Einheit	Nummer der Messstelle
1	FC(ID)	---	kW	123
2	FCHP(ID)	---	kW	456
3	FCEM(ID)	---	kW	789

5.7.11.1.2.5 Liste die anlagenspezifischen Lastprofile mit Anlagen-Identifizier ID

Die nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht über die verfügbaren anlagenspezifischen Lastprofile mit Anlagen-Identifizier ID. Es muss beachtet werden, dass aus Platzgründen teilweise unterschiedliche Bezeichner in dem **Left Mouse Button Click Menu** und der Spalte **Lastprofil** der Tabelle verwendet werden.

Lastprofil	Bezeichner	Anlagenspezifischen Lastprofile mit ID
ID	ID	Anlagenspezifisches Lastprofil für die Nachbildung einer spezifischen Bezugsanlage. ⇒ Es muss die Nummer der Messstelle als eindeutiger Anlagen-Identifizier ID verwendet werden.

HP(ID)	HP(ID)	Anlagenspezifisches Lastprofil für die Nachbildung einer spezifischen Wärmepumpe bzw. Nachspeicherheizung (Heat Pump). ⇒ Es muss die Nummer der Messstelle als eindeutiger Anlagen-Identifizier ID verwendet werden. Die Werte aus der .CSV-Datei sind abweichend von den VDEW-Profilen als spezifischer Wirkleistungsfaktor in K/h definiert.
Elektromobil	EMOB(ID)	Anlagenspezifisches Lastprofil für die Nachbildung einer spezifischen E-Mobil-Ladestation. ⇒ Es muss die Nummer der Messstelle als eindeutiger Anlagen-Identifizier ID verwendet werden. Die Leistungswerte des Lastprofils werden abweichend von den VDEW-Profilen nicht in kW normiert auf einen Jahresenergieverbrauch von 1000 kWh, sondern in p.u. angegeben und müssen mit der angegebenen Nenn-Ladeleistung P [kW] aus der Tabelle multipliziert werden.
Prognose(ID)	FC(ID)	Anlagenspezifisches Lastprofil für die Nachbildung einer spezifischen Bezugsanlage. Das Lastprofil wird aus der JSON -Prognosedatei [Bd. 3] eingelesen und mit der Berechnungsmethode Lastfluss: Prognose [Bd. 3] verarbeitet. ⇒ Es muss die Nummer der Messstelle als eindeutiger Anlagen-Identifizier ID verwendet werden.
Prognose HP(ID)	FCHP(ID)	Wie Prognose(ID) , Kennzeichnung der Bezugsanlage als Wärmepumpe
Prognose EM(ID)	FCEM(ID)	Wie Prognose(ID) , Kennzeichnung der Bezugsanlage als E-Mobil-Ladestation
Prognose BS(ID)	FCBS(ID)	Wie Prognose(ID) , Kennzeichnung der (Bezugs-)Anlage als Batteriespeicher

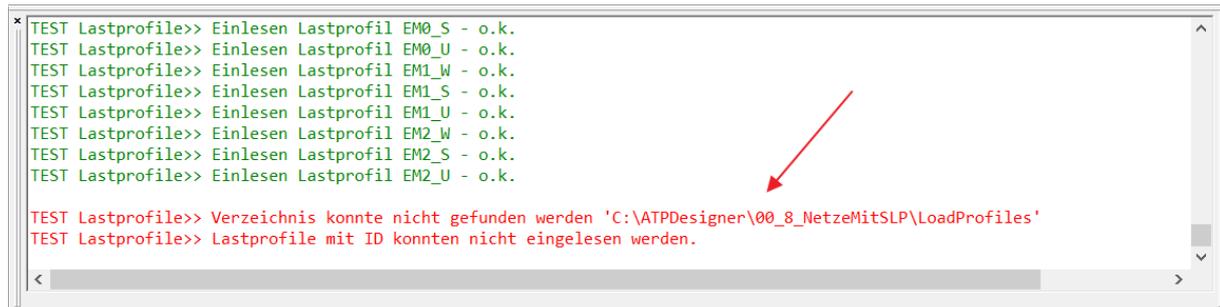
5.7.11.1.2.6 Verzeichnis zum Speichern der .CSV-Dateien

Die Lastprofile **ID**, **HP(ID)** und **Elektromobil EMOB(ID)** sind im Installationsprogramm von ATPDesigner nicht enthalten und müssen vom Anwender erstellt und im **Projektverzeichnis** der .NET-Datei im Unterverzeichnis **..\LoadProfiles** gespeichert werden. Der Name der zugehörigen .CSV-Datei des Lastprofils muss die Nummer der Messstelle beinhalten.

Struktur des Dateinamens: **XXX_Text.CSV**

mit **XXX = Anlagen-Identifizier ID**, d.h. der Einstellwert **Nummer der Messstelle**
Text = beliebiger Text

Zwischen der **Nummer der Messstelle** und dem restlichen Dateinamen muss das Trennzeichen „_“ stehen. Werden Lastprofildateien oder das Unterverzeichnis nicht gefunden, erfolgt eine Fehlermeldung im Meldungsfenster.



```
TEST Lastprofile>> Einlesen Lastprofil EM0_S - o.k.  
TEST Lastprofile>> Einlesen Lastprofil EM0_U - o.k.  
TEST Lastprofile>> Einlesen Lastprofil EM1_W - o.k.  
TEST Lastprofile>> Einlesen Lastprofil EM1_S - o.k.  
TEST Lastprofile>> Einlesen Lastprofil EM1_U - o.k.  
TEST Lastprofile>> Einlesen Lastprofil EM2_W - o.k.  
TEST Lastprofile>> Einlesen Lastprofil EM2_S - o.k.  
TEST Lastprofile>> Einlesen Lastprofil EM2_U - o.k.  
  
TEST Lastprofile>> Verzeichnis konnte nicht gefunden werden 'C:\ATPDesigner\00_8_NetzeMitSLP\LoadProfiles'  
TEST Lastprofile>> Lastprofile mit ID konnten nicht eingelesen werden.
```

Abbildung 147: Fehlermeldung bei fehlendem Unterverzeichnis „... \LoadProfiles“

5.7.11.1.3 Definition der Formate der .CSV-Dateien für Lastprofile

Die Spezifikation der Lastprofildateien, d.h. die Formate der .CSV-Dateien werden im Kapitel [Lastfluss: Lastprofile](#) [Bd. 3] bzw. in darin enthaltenen Unterkapiteln näher erläutert.

5.7.12 Registerkarte Anlagenliste

Alternativ zur Einstellung der Leistungen etc. in der Registerkarte [Allgemeine Daten](#) kann die **Verbraucherlast** aus den Einstellwerten der Anlagenliste berechnet werden. Mit Hilfe der Anlagenliste ist es möglich, verschiedene Bezugs- und Einspeiseanlagen, die an einem Netzanschlusspunkt (NAP) angeschaltet sind, mit einem einzigen Netzwerkelement **Verbraucherlast** im Sinn einer summarischen Bezugs- bzw. Einspeiseanlage nachzubilden. ATPDesigner führt mit einer Tabellenkalkulation die Berechnung der summarischen Wirk- und Blindleistung aus.

- ⇒ Die Anlagenliste kann nicht für eine Lastflussberechnung mit Lastprofilen (Zeitreihenberechnung) verwendet werden. Für Lastflussberechnung mit Lastprofilen (Zeitreihenberechnung) werden die Einstellungen der Registerkarte [Lastprofil](#) verwendet.
- ⇒ Um die Anlagenliste für eine Lastflussberechnung zu verwenden ist es erforderlich, den Einstellwert **Anlagenliste verwenden** in der Registerkarte **Allgemeine Daten** zu aktivieren. Der Einstelldialog ist nachfolgend dargestellt.

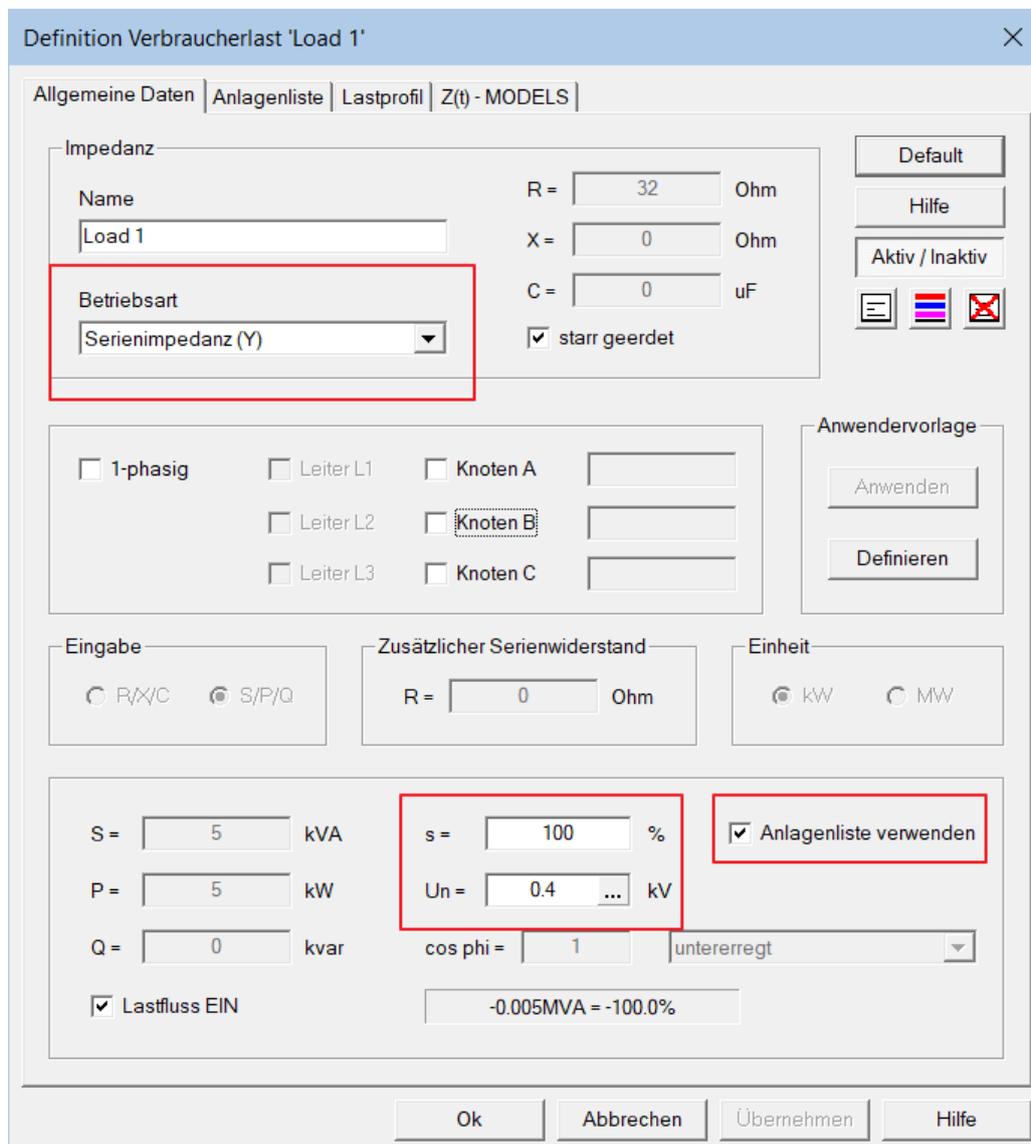


Abbildung 148: Registerkarte Allgemeine Daten – Anlagenliste verwenden

Zeile löschen	Nachdem eine Zeile mit einem Left Mouse Button Click markiert wurde, kann die markierte Zeile gelöscht werden.
----------------------	---

Nachfolgend werden die Bezeichner der Kopfzeile und deren Bedeutung erläutert.

Einstellwert	Bedeutung
Anlagen	Durch eine Left Mouse Button Click wird wie für die Auswahl der Lastprofile ein Menü geöffnet, um den Anlagentyp auszuwählen. Es werden u.a. die Kurzbezeichner der VDEW-Standardlastprofile verwendet, um eine hohe Kompatibilität zu erreichen.
P [kW]	Nennwirkleistung der Anlage Die Nennwirkleistung kann negativ eingestellt werden. Damit ist bezogen auf das für die Verbraucherlast verwendete Verbraucherzählpeilsystem (VZS) eine Einspeisung von Wirkleistung (Rückspeisung) ins Stromnetz möglich.
P(GLZ) [kW]	Nennwirkleistung der Anlage unter Berücksichtigung des Gleichzeitigkeitsfaktors GLZ
cos phi	Verschiebungsfaktor $\cos \varphi = \frac{P}{S}$
Über-/Unterregt	Betriebsweise übererregt oder untererregt der Anlage Es wird das Verbraucherzählpeilsystem (VZS) verwendet.
Nummer der Messstelle	Eindeutiger Identifier der Messstelle Die Nummer der Messstelle kann optional als eindeutiger Anlagen-Identifizier ID zu dokumentarischen Zwecken verwendet werden.

Die resultierenden Leistungen werden im unteren Bereich der Registerkarte ausgegeben. Ist in der Registerkarte [Allgemeine Daten](#) die Option **Anlagenliste verwenden** aktiviert, so werden die resultierenden Leistungen in die korrespondierenden Einstellwerte der Registerkarte kopiert und die Impedanzwerte des internen Modells berechnet.

$$P = \sum_{k=1}^{\text{Anzahl}} P_k \qquad P(\text{GLZ}) = \sum_{k=1}^{\text{Anzahl}} \text{GLZ} \cdot P_k$$

$$S = \sum_{k=1}^{\text{Anzahl}} \frac{P(\text{GLZ})_k}{\cos \varphi_k} \qquad Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

5.7.12.1 Anwendung der Anlagenliste: Bezugs- und Einspeiseanlage

Die nachfolgende Abbildung zeigt ein einfaches Niederspannungsnetz mit zwei Leitungsabgängen. Am Ende jedes Leitungsabgangs ist eine Verbraucherlast mit Anlagenliste angeschaltet.

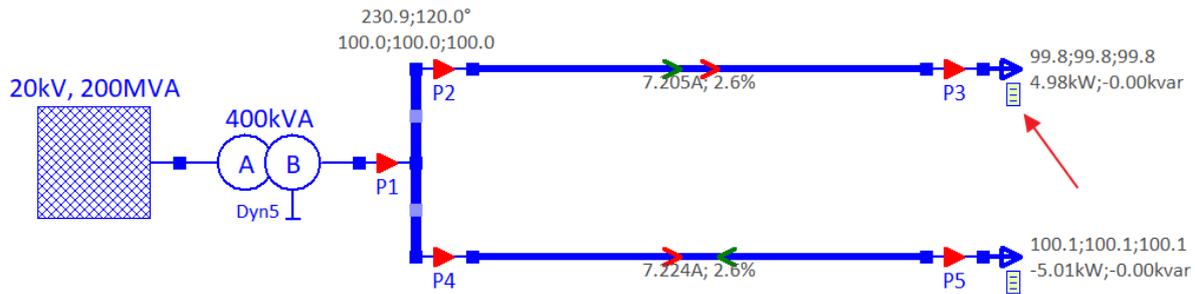


Abbildung 150: Niederspannungsnetz - Verbraucherlasten mit Anlagenliste

ATPDesigner zeigt die Aktivierung der Anlagenliste durch das **grün eingefärbte Dokumentensymbol** an. Wird das alternative Impedanzsymbol für die **Verbraucherlast** verwendet, wird das Dokumentensymbol nicht angezeigt. In dem Beispiel ist zu erkennen, dass eine der Anlagen Wirkleistung bezieht ($P > 0$), die andere Wirkleistung rückspeist ($P < 0$). Damit ist es möglich, z.B. Batterieanlagen oder E-Mobile als Bezugs- und Einspeiseanlagen nachzubilden.

- ⇒ Es muss darauf geachtet werden, dass die Summe von Wirk- und Blindleistung der Anlagenliste gleichzeitig gleich Null sein kann.

$$P = \sum_{k=1}^{\text{Anzahl}} P_k \stackrel{!}{=} 0 \quad \text{und} \quad Q \stackrel{!}{=} 0$$

In diesem Fall wird die Verbraucherlast durch ATPDesigner bei der nächsten Lastflussberechnung automatisch deaktiviert, um numerische Probleme während der Lastflussberechnung zu verhindern. Die Deaktivierung muss vom Anwender zurückgenommen werden.

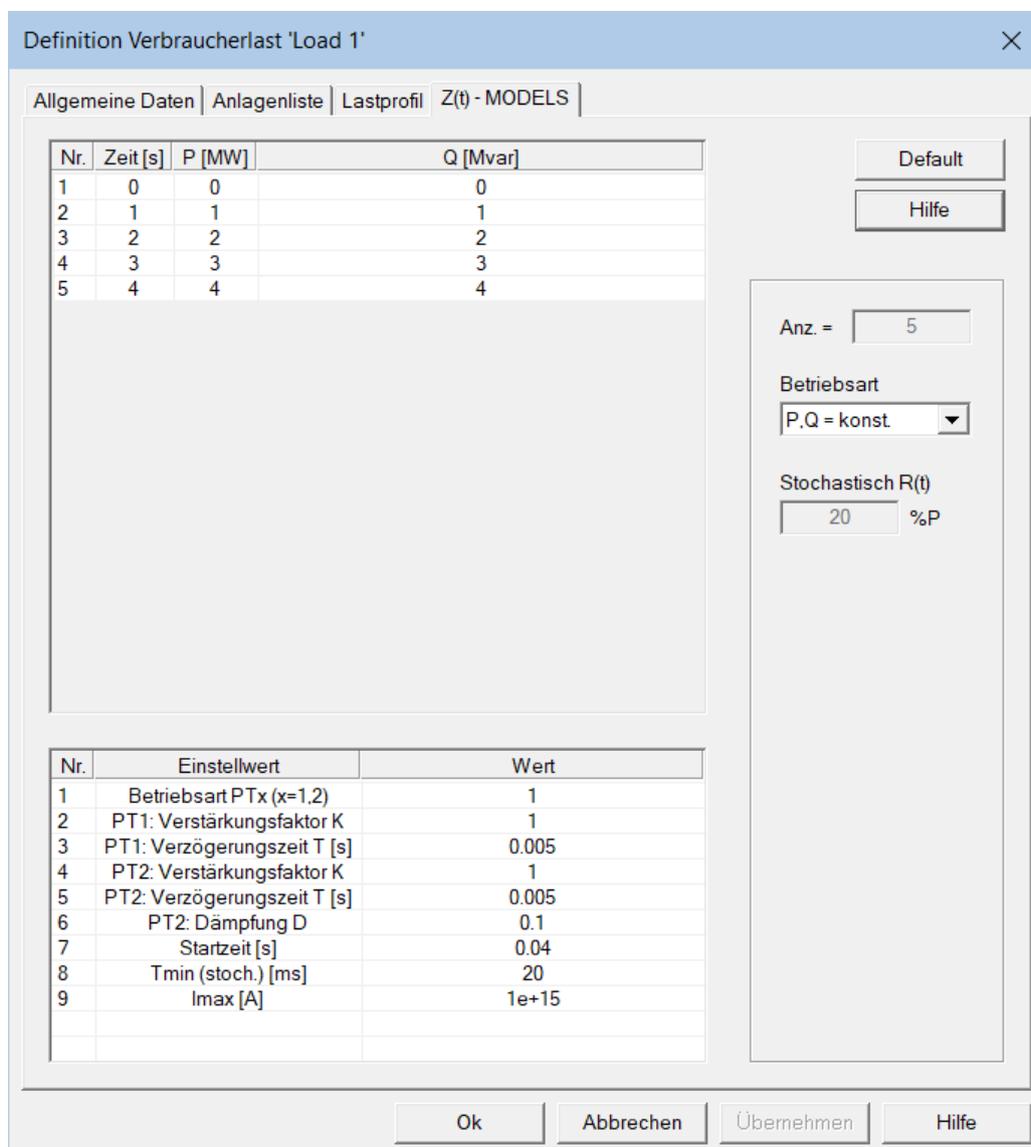
Die nachfolgende Abbildung zeigt eine Anlagenliste mit summarischer Wirkleistung $P=0$, allerdings mit einem Blindleistungsbezug $Q > 0$.

5.7.13 Registerkarte Z(t)-MODELS - MODELS basierte Last, Batterie für einen Parkregler

Mit Hilfe des nachfolgend dargestellten Einstelldialogs kann eine **MODELS**-basierte Last mit ihrem zeitlichen Verhalten definiert werden. Diese Last kann nur für die **Berechnung der dynamischen Netzvorgänge** verwendet werden. Diese Lastmodelle können nur in Sternschaltung 3-phasig oder 1/2/3-phasig verwendet werden.

Für das Netzwerkelement **Verbraucherlast** wird für jede Betriebsart das **Verbraucherzählpeilsystem** (VZS) verwendet, um Leistungen zu definieren. Die zur Last fließenden Leistungen werden mit einem positiven Wert definiert.

Einstellwert	Bedeutung
Anz	Anzahl der Stützstellen in der Liste
Default	Es werden die Werte der Grundeinstellung (Default) der Einstellwerte der Registerkarte geladen. Alle übrigen Einstellwerte der anderen Registerkarten bleiben unverändert.



Nr.	Zeit [s]	P [MW]	Q [Mvar]
1	0	0	0
2	1	1	1
3	2	2	2
4	3	3	3
5	4	4	4

Nr.	Einstellwert	Wert
1	Betriebsart PTx (x=1,2)	1
2	PT1: Verstärkungsfaktor K	1
3	PT1: Verzögerungszeit T [s]	0.005
4	PT2: Verstärkungsfaktor K	1
5	PT2: Verzögerungszeit T [s]	0.005
6	PT2: Dämpfung D	0.1
7	Startzeit [s]	0.04
8	Tmin (stoch.) [ms]	20
9	Imax [A]	1e+15

Abbildung 152: Einstelldialog für eine MODELS basierte Last

5.7.13.1 Z(t)–MODELS: Betriebsarten

Die [MODELS](#)-basierte Last kann in mehreren Betriebsarten verwendet werden.

5.7.13.1.1 Z(t)–MODELS Betriebsart: P, Q = const.

Es wird eine Verbraucherlast mit konstanter Wirk- und Blindleistung nachgebildet. Das Modell verwendet eine geregelte Stromquelle. Der Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ wird am Netzanschlusspunkt der Last über einen PLL (Phase-Locked Loop) eingeregelt. Im Sinne der Lastflussberechnung wird ein "dynamischer" PQ-Knoten nachgebildet.

Einstellwert	Bedeutung
I_{max} [A]	Der Betrag der Leiterströme wird auf den maximal zulässigen Betrag I_{\max} begrenzt. Die Begrenzung kann z.B. im Falle einer geringen Versorgungsspannung z.B. im Kurzschlussfall wirksam werden.
Nur mit geerdetem Sternpunkt	Da das Lastmodell eine geregelte Stromquelle (ATP-Rule Book: Type 60 Connection to TACS Variable) verwendet, kann die Verbraucherlast nur mit geerdetem Sternpunkt nachgebildet werden.

5.7.13.1.1.1 Z(t)–MODELS: 3-phasige symmetrische Last

Der Betrag der Stromquelle I_L je Leiter (hier Stromsenke) wird aus dem Betrag der Scheinleistung $S = |P + jQ|$ und dem Betrag des Grundschwingungsmittelwertes U_{LEM} der drei Leiter-Erd-Spannungen U_{L1} , U_{L2} und U_{L3} , die am Netzanschlusspunkt mit Hilfe eines DFT-Filters (Diskrete Fourier Transformation) ermittelt werden, in Echtzeit berechnet. Der DFT-Filter verwendet eine Netzperiode als Messintervall.

$$U_{LEM} = \frac{U_{L1} + U_{L2} + U_{L3}}{3}$$

$$I_L = \frac{S}{3 \cdot U_{LEM}}$$

5.7.13.1.1.2 Z(t)–MODELS: 1/2/3-phasige Last

Zunächst wird die Anzahl aktivierter Phasen $N = 1 \dots 3$ der Verbraucherlast ermittelt. Die Scheinleistung S wird auf diese aktivierten Phasen der Last gleichmäßig verteilt. Der Betrag der mittleren Leiter-Erd-Spannung U_{LEM} wird nur aus den Leiter-Erd-Spannungen der aktivierten Phasen berechnet.

$$U_{LEM} = \frac{b_{L1} \cdot U_{L1} + b_{L2} \cdot U_{L2} + b_{L3} \cdot U_{L3}}{N}$$

mit $b_{Lx} = 1$ falls Phase Lx aktiviert, sonst = 0 ($x = 123$)

$$I_L = \frac{S}{N \cdot U_{LEM}}$$

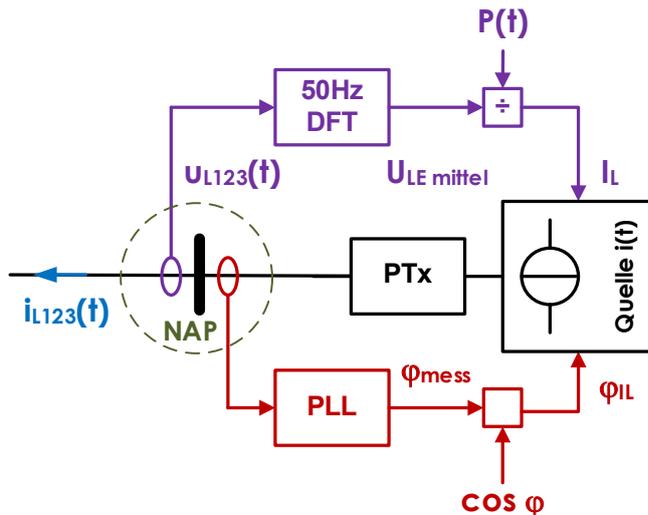


Abbildung 153: Interne Struktur der Lastmodelle $P, Q = \text{const.}$ und *Batterie*

5.7.13.1.2Z(t)–MODELS: Stochastic R(t)

Die Last wird als zeitgesteuerter Wirkwiderstand $R(t)$ nachgebildet (ATP-Rule Book: Type 91 TACS/MODELS-Controled $R(t)$). Daher ist die Nachbildung eines Blindleistungsanteils nicht möglich. Die Resistanz R je Leiter wird aus Nennspannung V_n und Nennwirkleistung P der Last sowie der Anzahl der aktiven Leiter $N = 1,2,3$ (siehe Abbildung 173) wie folgt berechnet:

$$R = N \cdot \frac{U_n^2}{3 \cdot P} \text{ mit } N = 1,2,3$$

Einstellwert	Bedeutung
Mit/ohne geerdetem Sternpunkt	Das Lastmodell kann mit und ohne geerdeten Sternpunkt verwendet werden.
Stochastic R(t) in %P	Anteil der stochastisch gesteuerten Last an der Gesamlast Zusätzlich kann ein stochastisch schwankender Wirkleistungsanteil in %P definiert werden. Die durch eine Resistanz nachgebildete Last schwankt in der Wirkleistungsaufnahme um $\pm\%P$ um den Betrag der Nennwirkleistung P . Die stochastische Schwankung wird durch einen Zufallsgenerator realisiert, der näherungsweise einem weißen Rauschen entspricht. Ist der Einstellwert zu 0%P eingestellt, so implementiert die Last eine konstante Wirkleistungsquelle nach.
Tmin (stoch.)	Mindestzeit zwischen zwei stochastischen Wirkleistungsänderungen

Darüber hinaus kann festgelegt werden, welche Mindestzeit zwischen zwei stochastischen Laständerungen vergehen muss.

- Bei der Berechnung der Grundsicherungsleistung mit Hilfe eines [Mess/Schutzgerätes](#) muss beachtet werden, dass der dafür verwendete DFT-Filter die stochastischen Lastschwankungen, die auf weißem Rauschen basieren, bei kurzen Zeiten **Tmin (stoch.)** kleiner einer Netzperiode fast vollständig ausfiltern.

- Dieses Lastmodell ist keine Last konstanter Wirkleistung, da die Last durch einen Wirkwiderstand nachgebildet wird. Die Zeitsteuerung ist nicht als Leistungsregelung zu verstehen.

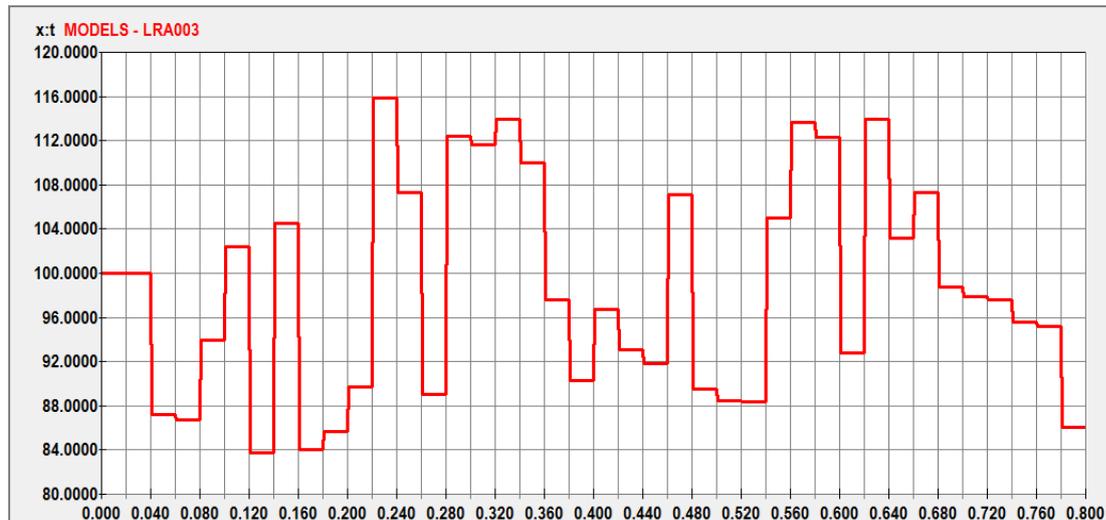


Abbildung 154: Verlauf der stochastischen Last $R(t)$: 4MW, 20%P, 20kV, $T_{min}=20ms$

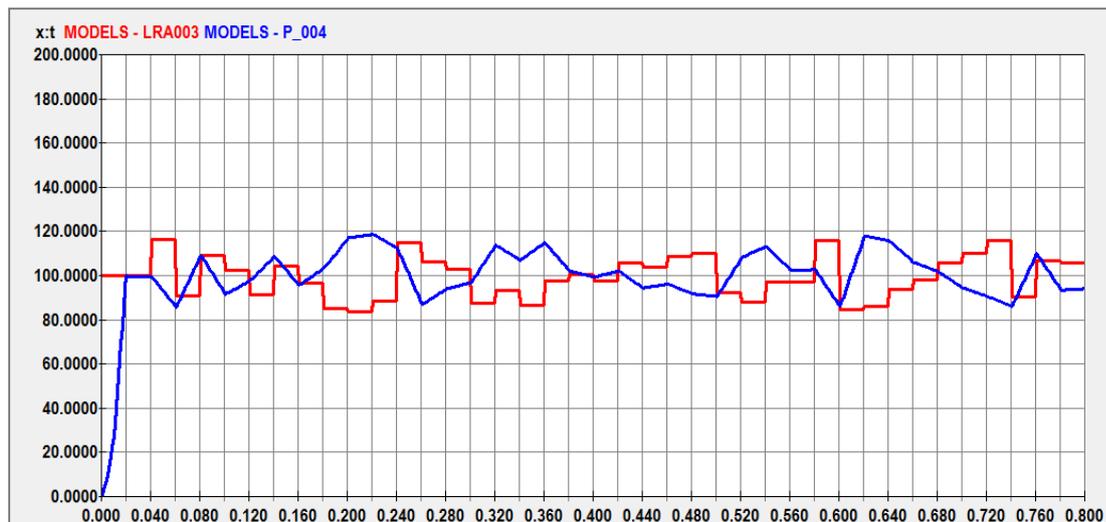


Abbildung 155: Verlauf der Wirkleistung (blau, skaliert $\cdot 25$) berechnet mit einer Probe

5.7.13.1.3Z(t)-MODELS: Batterie

In Kombination mit einem Parkregler für eine dezentrale Erzeugungsanlage (EZA) kann ein Batteriespeicher nachgebildet werden, der vom Parkregler gesteuert wird.

Die im Einstelldialog [Lastimpedanz](#) enthaltenen Einstellwerte werden in der Betriebsart **Batterie** nicht verwendet, sondern von den Einstellwerten des Parkreglers bzw. durch dessen Ausgangssignale ersetzt.

In der Betriebsart **Batterie** wird das Netzwerkelement [Lastimpedanz](#) als Leistungsenke oder Leistungsquelle mit Hilfe eines stromquellenbasierten Modells wie für die Betriebsart **P, Q = konst.** implementiert. Wirk- und Blindleistung werden als zeitabhängige Grö-

Ben $P(t)$ und $Q(t)$ vom Parkregler kontinuierlich berechnet und dem stromquellenbasierten Modell der **Lastimpedanz** vorgegeben. Der Betrieb ist in den vier Leistungsquadranten möglich.

Einstellwert	Bedeutung
Startzeit	Zeitpunkt der Aktivierung des MODELS -basierten Lastmodells. Vor diesem Zeitpunkt ist die Last netzphysikalisch nicht aktiv.

5.7.13.2 PTx - Übertragungsverhalten

Wird eine Last basierend auf einer geregelten Stromquelle verwendet, so kann das Zeitverhalten der Last durch ein PT1- oder PT2-Glied mit den nachfolgenden Parametern eingestellt werden.

Betriebsart PTx (x=1,2)

- 1: Es wird eine **PT1 Übertragungsfunktion** verwendet.

$$\frac{\hat{i}_{OUT}}{\hat{i}_{INP}} = \frac{K}{1 + T \cdot s}$$

- 2: Es wird eine **PT2 Übertragungsfunktion** verwendet.

$$\frac{\hat{i}_{OUT}}{\hat{i}_{INP}} = \frac{K}{1 + 2DT \cdot s + T^2 \cdot s^2} \quad \text{mit } \omega_0 = \frac{1}{T}$$

Einstellwert	Bedeutung
PT1: Verstärkungsfaktor	Verstärkungsfaktor (Proportionalbeiwert)
PT1: Verzögerungszeit T [s]	Zeitkonstante T
PT2: Verstärkungsfaktor	Verstärkungsfaktor (Proportionalbeiwert)
PT2: Verzögerungszeit T [s]	Zeitkonstante T
PT2: Dämpfung D	Dämpfungsfaktor D

In den nachfolgenden Tabellen sind die Bedeutungen der in der Diagrammdatei ausgegebenen Signale erläutert. Die Ausgabe in die **Diagrammdatei** erfolgt, wenn der Einstellwert **Ausgabesignale** auf den Wert **Output List 3 oder höher** eingestellt ist.

Signal	Bedeutung
LPHxxx	P, Q = const: Absolute Phasenlage der Leiter-Erd-Spannung $u_{L1}(t)$ [rad]
LDPxxx	P, Q = const: Abweichung der Phasenlage der Leiter-Erd-Spannung $u_{L1}(t)$ vom SOLL-Wert [rad]
LIAXxx	P, Q = const: Laststrom $i_{L1}(t)$ [A]
LIBxxx	P, Q = const: Laststrom $i_{L2}(t)$ [A]
LICxxx	P, Q = const: Laststrom $i_{L3}(t)$ [A]
LVAXxx	P, Q = const: Mittelwert der Leiter-Erd-Spannungen [p.u./ $\sqrt{3} = U_{LEn} = U_n/\sqrt{3}$] Es werden nur die Leiter-Erd-Spannungen der Leiter berücksichtigt, die im Einstelldialog aktiviert sind.
LRBxxx	Stochastic R(t): Zeitlicher Verlauf der Resistanz $R(t)$ Leiter L2
LRCxxx	Stochastic R(t): Zeitlicher Verlauf der Resistanz $R(t)$ Leiter L3

Die nachfolgenden Signale werden ab **Output List 1 oder höher** in der **Diagrammdatei** (.PL4-Datei) ausgegeben.

Signal	Bedeutung
LIPxxx	P, Q = const: Amplitude der Leiterströme (Ausgang des PT1-Gliedes)
LRAXxx	Stochastic R(t): Zeitlicher Verlauf der Resistanz R(t) Leiter L1

5.8 RLC Serienimpedanz ϕ

Das Netzwerkelement **RLC Serienimpedanz** ermöglicht es, eine Serienimpedanz in das Elektroenergieversorgungsnetz einzufügen. Die Serienimpedanz kann symmetrisch oder unsymmetrisch definiert werden.

⇒ Das Netzwerkelement **RLC Serienimpedanz** wird **nicht** im Iterationsverfahren der [Lastflussberechnung](#) berücksichtigt.

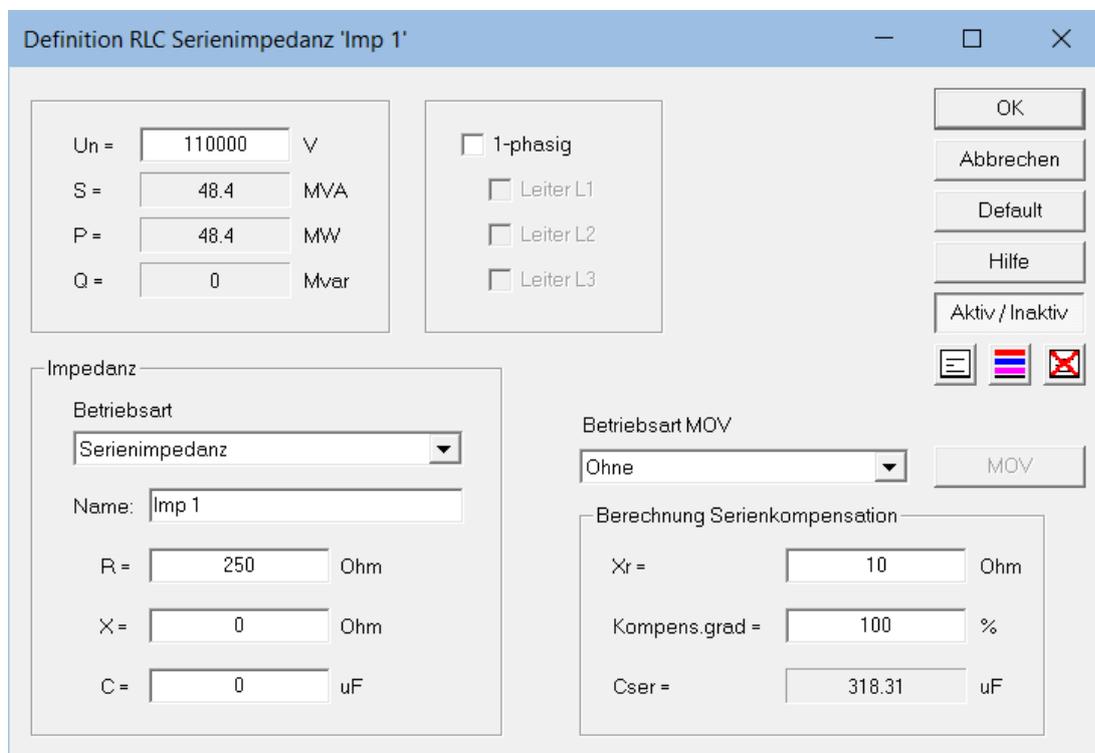


Abbildung 156: Einstelldialog symmetrische RLC Serienimpedanz

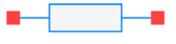
Einstellwert	Bedeutung
R	Resistanz in Ohm
X	Reaktanz in Ohm
C	Kapazität in μF

Die Lastimpedanz kann wahlweise durch die Parameter R, X und C oder durch die Angabe von Spannungsebene und Leistungen P und Q bzw. $\cos \phi$ definiert werden.

Einstellwert	Bedeutung
1-phasig	Auswahl für ein phasenselektives Modell aktivieren / deaktivieren
Leiter L1, L2, L3	Modell für Leiter L1, L2, L3 aktivieren / deaktivieren

MOV	Einstelldialog zur Definition der Kennlinie des Metal Oxid Varistors (MOV) öffnen
------------	---

Abhängig von der Einstellung werden folgende Symbole in der Netzgrafik verwendet:

Symbol	Bedeutung
	$\underline{Z} = R + jX + j/(\omega C)$
	$\underline{Z} = R$
	$\underline{Z} = jX$
	$\underline{Z} = j/(\omega C)$

5.8.1 Betriebsarten

Betriebsart	Bedeutung
Serienimpedanz	Modell der Serienimpedanz RLC in Sternschaltung, die Einstellwerte für R, L und C gelten für die drei Serienimpedanzen gemeinsam.
1-phasige Serienimpedanz	Modell der Serienimpedanz RLC in Sternschaltung, die Einstellwerte für R, L und C können getrennt eingestellt werden. Um den Einstelldialog zur phasenspezifischen Einstellung von R, L und C zu öffnen, muss die Betriebsart ausgewählt und danach mit OK bestätigt werden. Der neue Einstelldialog wird automatisch angezeigt.
Parallelimpedanz	Modell der Parallelimpedanz RLC in Sternschaltung, die Einstellwerte für R, L und C gelten für die drei Parallelimpedanzen gemeinsam.

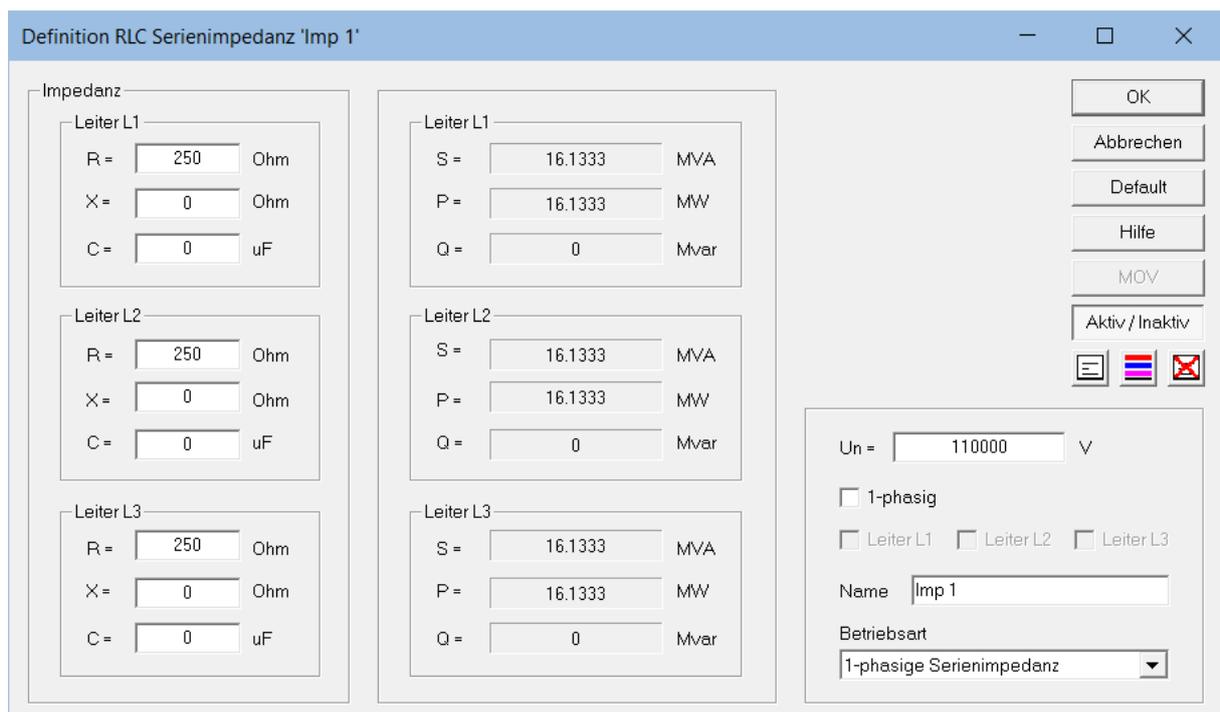
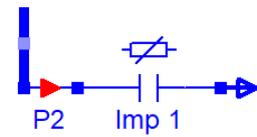


Abbildung 157: Einstelldialog 1-phasige unsymmetrische Serienimpedanz RLC Impedance

5.8.2 Metal Oxid Varistor – Betriebsart MOV

Optional kann parallel zur Serienimpedanz ein Metal Oxid Varistor (MOV) zur Spannungsbegrenzung geschaltet werden. Damit können z.B. Kapazitäten nachgebildet werden, die für serienkompensierte Leitungen benötigt werden und durch einen MOV gegen zu hohe Spannungen geschützt werden. Der Metal Oxid Varistor ist nur für die symmetrische Serienimpedanz verfügbar.



Einstellwert	Bedeutung
Ohne	Ohne MOV
MOV Modell 1	nicht-lineares Modell eines Metal Oxid Varistor
MOV Modell 2	nicht-lineares Modell eines Metal Oxid Varistor
ZNO Fitter	nicht-lineares Modell eines Metal Oxid Varistor, das mit Hilfe der ATP Supporting Routine ZNO Fitter berechnet wird.

5.8.3 Serienkompensation

Mit Hilfe der Berechnungsfunktionen kann aus dem Kompensationsgrad einer Serienkompensation die benötigte Kapazität berechnet werden.

Einstellwert	Bedeutung
Xr	Reaktanz, die durch eine Serienkapazität teilweise oder vollständig kompensiert werden soll
Kompens. grad	Kompensationsgrad in % Für einen Kompensationsgrad von 100% gilt: $X_r = X_c$
Cser	Kapazität der Serienkompensation in μF

Definition Metall Oxid Varistor (ZNO Fitter) 'Mov 1001'

Name:

Nr.	Strom [Ap]	Spannung [V]
1	1.000000	170000.000000
2	5.000000	175000.000000
3	10.000000	179000.000000
4	40.000000	188000.000000
5	200.000000	200000.000000
6	1000.000000	215000.000000
7	6000.000000	239000.000000
8	40000.000000	265000.000000

Anz. =

U ref = V

U flash = V

I min = A

L.Nr. =

Errlim =

Enable No.Exp

No.Exp =

U Divid = V

U Mult = V

U Scal =

I Mult =

Flag A5 =

1-phasig Leiter L1 Leiter L2 Leiter L3

OK
Abbrechen
Default
Hilfe
Liste löschen
Daten MOV1
Daten MOV2

Abbildung 158: Einstelldialog für die Kennlinie des Metal Oxid Varistor (MOV)

5.9 Leitung

Das Netzwerkelement **Leitung** stellt unterschiedliche Leitungsmodelle sowie Leitungstypen wie z.B. **NAYY 4x150mm²** zur Verfügung. Die Einstellwerte des Dialoges werden in Abhängigkeit vom gewählten Leitungsmodell aktiviert oder deaktiviert. Das grafische Symbol der **Leitung** ist eine Linienerbindung zwischen den Knoten. Zusätzlich zu den beiden Hauptknoten können in der Registerkarte **Leitungstyp** **Zusatzknoten** im Sinne einer integrierten Sammelschiene aktiviert werden.

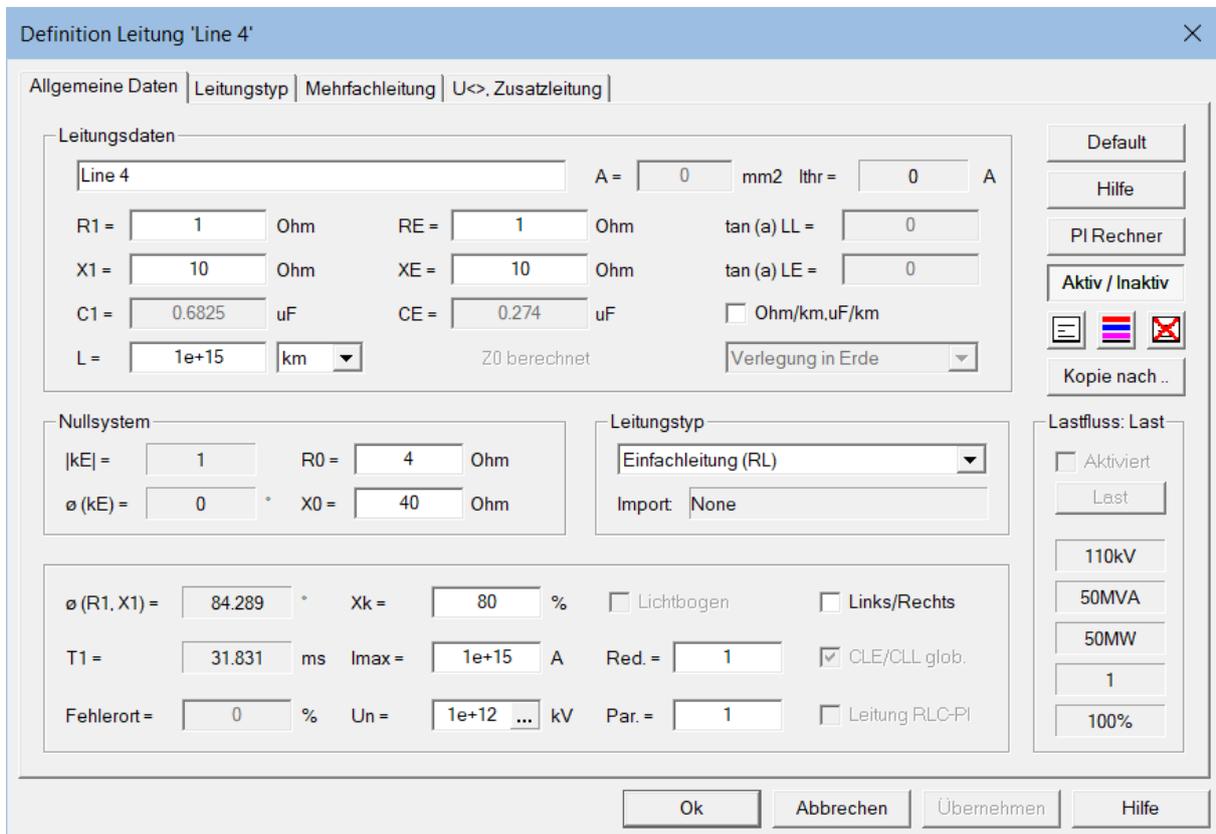
Die Linienerbindung zwischen den Hauptknoten kann in **fixierter** oder **flexibler Form** verwendet werden kann. Zwischen den Arten der Linienerbindungen kann umgeschaltet werden. Näheres dazu ist in Band 1 [Bd. 1] des Handbuches erläutert.

⇒ **Band 1 [Bd. 1]**
Kapitel **Netzwerkelemente mit flexibler Form: Leitung und Verbindung**

In der Gruppe **Lastfluss: Last** kann eine integrierte Verbraucherlast aktiviert werden, die identisch mit dem Netzwerkelement **Verbraucherlast** ist. Dadurch ist es möglich, Stromnetze z.B. Niederspannungsnetze mit einer großen Anzahl von Verbraucherlasten aber einer geringeren Anzahl von Netzwerkelementen zu erstellen.

5.9.1 Registerkarte **Allgemeine Daten**

Der Einstelldialog der Registerkarte **Allgemeine Daten** ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.



Definition Leitung 'Line 4'

Allgemeine Daten | Leitungstyp | Mehrfachleitung | U<>, Zusatzleitung

Leitungsdaten

Line 4 A = 0 mm2 lthr = 0 A

R1 = 1 Ohm RE = 1 Ohm tan (a) LL = 0

X1 = 10 Ohm XE = 10 Ohm tan (a) LE = 0

C1 = 0.6825 uF CE = 0.274 uF Ohm/km,uF/km

L = 1e+15 km Z0 berechnet Verlegung in Erde

Nullsystem

|kE| = 1 R0 = 4 Ohm

ø (kE) = 0 X0 = 40 Ohm

Leitungstyp

Einfachleitung (RL)

Import: None

ø (R1, X1) = 84.289 * Xk = 80 % Lichtbogen Links/Rechts

T1 = 31.831 ms lmax = 1e+15 A Red. = 1 CLE/CLL glob.

Fehlerort = 0 % Un = 1e+12 ... kV Par. = 1 Leitung RLC-PI

Lastfluss: Last

Aktiviert

Last

110kV

50MVA

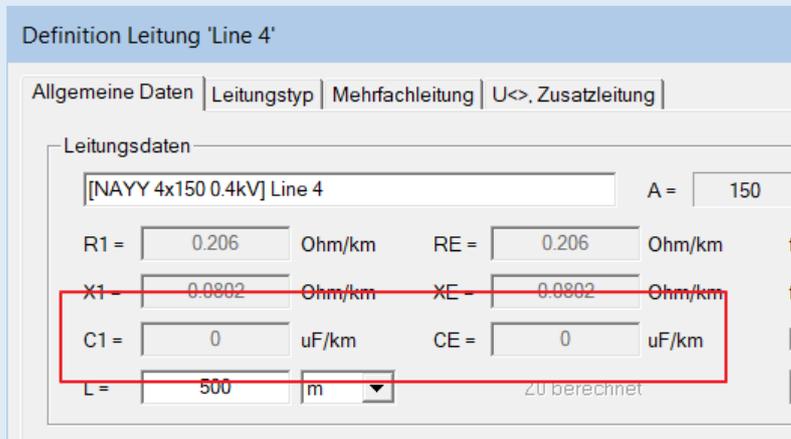
50MW

1

100%

Ok Abbrechen Übernehmen Hilfe

Abbildung 159: Einstelldialog Leitung **Line** – Registerkarte **Allgemeine Daten**

Einstellwert	Bedeutung
R1	Resistanz im Mitsystem in Ohm
X1	Reaktanz im Mitsystem in Ohm
C1	<p>Kapazität im Mitsystem in μF</p> <p>⇒ Anzeigewerte $C_1 = 0\mu\text{F}$ oder $C_1 = 0\mu\text{F/km}$ Wurde ein Leitungstyp z.B. NAYY ausgewählt und wird danach der Kapazitätswert $0\mu\text{F}$ oder $0\mu\text{F/km}$ angezeigt, so ist der tatsächliche Kapazitätswert des Leitungstyps unbekannt. In diesem Fall werden im Leitungsmodell keine Kapazitäten verwendet.</p> <p>⇒ Die Kapazitätswerte $C_1 = 0\mu\text{F}$ und $C_E = 0\mu\text{F}$ können vorteilhaft beim Import von Leitungsdaten [Bd. 1] verwendet werden, da die Einstellwerten der Leitung in der zu importierenden .CSV-Datei auch die Kapazitäten enthalten sind, diese aber ggfs. nicht bekannt sind.</p> <div data-bbox="474 817 1265 1256" data-label="Image">  </div>
R0	Resistanz im Nullsystem in Ohm
X0	Reaktanz im Nullsystem in Ohm
RE	Resistanz der Erdrückleitung des 4-Leiter-Modells in Ohm
XE	Reaktanz der Erdrückleitung des 4-Leiter-Modells in Ohm
CE	<p>Leiter-Erd-Kapazität in μF (= Kapazität C_0 im Nullsystem)</p> <p>⇒ $C_E = 0\mu\text{F}$ oder $C_E = 0\mu\text{F/km}$ Wurde ein Leitungstyp z.B. NAYY ausgewählt und wird danach der Kapazitätswert $0\mu\text{F}$ oder $0\mu\text{F/km}$ angezeigt, so ist der tatsächliche Kapazitätswert des Leitungstyps unbekannt. Der angezeigte Kapazitätswert kann zu fehlerhaften Berechnungsergebnissen führen.</p>
tan(α) LL	Verlustwinkel α der Leiter-Leiter-Kapazitäten
tan(α) LE	Verlustwinkel α der Leiter-Erd-Kapazitäten
L	Länge der Leitung in m oder km
A	<p>Querschnitt eines Leiters in mm^2</p> <p>Falls der Querschnitt eines Leiters nicht bekannt ist, wie z.B. bei der Verwendung eines generischen Leitungsmodells wird der Text „---“ angezeigt.</p>
Ithr	Bemessungswert des thermisch wirksamen Kurzschlussstromes

Es wird empfohlen, den Einstellwert **Reduktionsfaktor Red.** zu beachten.

$$I_{thr} = A \cdot J_{thr}$$

Die Berechnung des Bemessungswertes des thermisch gleichwertigen Kurzschlussstromes I_{thr} erfolgt mit dem Querschnitt A eines Leiters und der Bemessungs-Kurzzeitstromdichte J_{thr} . Es wird vorausgesetzt, dass die Leiter L123 eine gleiche Querschnittsfläche besitzen.

Die Berechnung der Bemessungs-Kurzzeitstromdichte J_{thr} kann nach VDE 0276 [11] oder VDE 0103 [12] erfolgen.

Die **Bemessungs-Kurzzeitstromdichte J_{thr}** ist nach VDE 0276 [11] wie folgt definiert:

- Bemessungs-Kurzschlussdauer $T_{kr} = 1$ s
- Leitertemperatur zu Beginn des Kurzschlusses 90°C
- Zulässige Kurzschlussstemperatur 250°C

- **Aluminiumleiter: $J_{thr} = 94$ A/mm²**
- **Kupferleiter: $J_{thr} = 143$ A/mm²**

Tabelle 12 – Zulässige Kurzschlussstemperaturen und Bemessungs-Kurzzeitstromdichten

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kabel mit	Zulässige Kurzschlussstemperatur in °C	Leitertemperatur zu Beginn des Kurzschlusses in °C							
		90	80	70	60	50	40	30	20
		Bemessungs-Kurzzeitstromdichte in A/mm ² für eine Bemessungs-Kurzschlussdauer von 1 s							
Kupferleiter	250	143	149	154	159	165	170	176	181
Aluminiumleiter	250	94	98	102	105	109	113	116	120

Quelle: VDE 0276 [11]

Die Berechnung kann alternativ nach VDE 0103 [12] mit Hilfe der nachfolgenden Gleichung erfolgen.

$$J_{thr} = \frac{1}{\sqrt{T_{kr}}} \cdot \sqrt{\frac{\kappa_{20} \cdot c \cdot \rho}{\alpha_{20}} \cdot \ln \left(\frac{1 + \alpha_{20} \cdot (\vartheta_e - 20^{\circ}\text{C})}{1 + \alpha_{20} \cdot (\vartheta_b - 20^{\circ}\text{C})} \right)}$$

- ϑ_e : Zulässige Kurzschlussstemperatur in °C
- ϑ_b : Zulässige Leitertemperatur zu Beginn des Kurzschlusses in °C

Größe	SI-Einheit	Kupfer	Aluminium, Aluminiumlegierung (AlMgSi), Aluminium/Stahl	Stahl
c	J/(kg K)	390	910	480
ρ	kg/m ³	8 900	2 700	7 850
κ_{20}	1/(Ω m)	$56 \cdot 10^6$	$34,8 \cdot 10^6$	$7,25 \cdot 10^6$
α_{20}	1/K	0,003 9	0,004	0,004 5

Quelle: VDE 0103 [12]

Mit der Berechnung nach VDER 0103 [12] ergeben sich folgende von VDE 0276 [11] abweichende Bemessungs-Kurzzeitstromdichten J_{thr} .

- **Aluminiumleiter: $J_{thr} = 93,1 \text{ A/mm}^2$**
- **Kupferleiter: $J_{thr} = 141 \text{ A/mm}^2$**

⇒ **In ATPDesigner wird die Berechnung nach VDE 0103 [12] verwendet.**

Xk	Reaktanz-Reichweite einer Distanzschutzeinrichtung in % der Leitungslänge Dieser Einstellwert hat für die netzphysikalischen Eigenschaften des Leitungsmodells keine Bedeutung.
Un	Nennspannung der Leitung in kV
Imax	Maximal zulässiger Leiterstrom in A
Red.	<p>Reduktionsfaktor des maximal zulässigen Leiterstroms I_{max} unter Berücksichtigung der parallelen Verlegung von Leitungen z.B. in einem gemeinsamen Kabelkanal ohne Berücksichtigung der induktiven und kapazitiven Kopplungen sowie weiterer Verlegebedingungen wie z.B. des Erdbodenwärmewiderstandes.</p> <p>⇒ ATPDesigner ermittelt den resultierenden, maximal zulässigen Leiterstrom $I_{max\ res}$, um die Auslastung der Leitung nach der Berechnung des stationären Netzzustandes zu beurteilen.</p> $I_{max\ res} = I_{max} \cdot Red.$ <p>Nähere Erläuterungen zum Einstellwert Red. können im Kapitel über Reduktionsfaktoren nachgelesen werden.</p>

Par.	<p>Anzahl elektrisch parallel geschalteter Leitungen gleichen Leitungstyps ohne Berücksichtigung der induktiven und kapazitiven Kopplungen ATPDesigner ermittelt die Ersatzimpedanz der Leitung bei Parallelschaltung wie folgt:</p> $R_{ges} = \frac{R}{n} \quad X_{ges} = \frac{X}{n} \quad C_{ges} = C \cdot n$ <p>mit n = Anzahl parallel geschalteter Leitungen</p>
Verlegeart	<p>Verlegeart der Leitung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Verlegung in Erde ▪ Verlegung in Luft
Links/Rechts	Anzeige des linken und rechten Knotens der Leitung mit den Bezeichnungen „L“ und „R“
Leitung RLC-PI	Wurde ein Leitungstyp aus der internen Leitungsbibliothek oder das Leitungsmodell Einfachleitung (RLC-PI) ausgewählt, so können mit dieser Option die Leiter-Erd- und die Leiter-Leiter-Kapazitäten für einzelne Leitungen aktiviert oder deaktiviert werden.
CLE/CLL glob.	Mit Hilfe dieser Option wird angezeigt, ob die Kapazitäten <u>aller</u> in einem Netz verwendeten Leitungen, die mit einem Leitungstyp aus der Leitungsbibliothek oder dem Leitungsmodell Einfachleitung (RLC-PI) realisiert werden, mit oder ohne Kapazitäten verwendet werden. Der Einstellwert Kapazitäten CLE und CLL aktivieren ist im Einstelldialog Einstellungen Elektrisches Netz , Registerkarte Leitung 1..3 enthalten.
Z0 berechnet	<ul style="list-style-type: none"> ▪ rot Die Nullimpedanz Z_0 wurde aus Mitimpedanz Z_1 und Erdimpedanz Z_E berechnet. ▪ grün Die Nullimpedanz Z_0 wurde aus einer internen Leitungsbibliothek dem eingestellten Leitungstyp entsprechend entnommen.
Aktiv / Inaktiv	Mit dem Schalter kann die Leitung aktiviert oder deaktiviert werden (Kapitel 4.1.3).
Ohm/km, μF/km	Die Eingabe der Resistanzen, Reaktanzen und Kapazitäten kann wahlweise in Ohm bzw. μ F oder Ohm/km bzw. μ F/km erfolgen. Die Einheiten werden im Einstelldialog umgeschaltet.
Kopie nach ..	Nachfolgend wird erläutert, wie mit Hilfe der Betriebsart Mehrfachleitung eine logische Leitung zwischen zwei Netzknoten durch mehrere als Serienschaltung aufgebaute physikalische Leitungsabschnitte nachgebildet werden können. Durch Drücken des Buttons Kopie nach .. werden die in den Registerkarten Allgemeine Daten und Leitungstyp enthaltenen Leitungsdaten in eine neue Zeile der Liste kopiert, die in der Registerkarte Mehrfachleitung enthalten ist. Beim Schließen des Dialogs wird die angehängte neue Leitung zunächst intern und auch in der .NET-Datei gespeichert.

5.9.2 Auswahl des Leitungsmodells und des Leitungstyps

Das Leitungsmodell bzw. der Leitungstyp kann in den Registerkarten **Allgemeine Daten** und **Leitungstyp** ausgewählt werden. Es wird zwischen generischen Leitungsmodellen und Leitungstypen unterschieden.

5.9.2.1 Generische Leitungsmodelle

In ATPDesigner können Leitungen anwenderspezifisch durch verschiedene generische Leitungsmodelle nachgebildet werden. Die Einstellwerte der generischen Leitungsmodelle müssen vollständig vom Anwender selbst festgelegt und eingetragen werden.

Einstellwert	Bedeutung
Einfachleitung (RL)	<p>Einfaches 3-phasiges Leitungsmodell mit induktiv gekoppelte RL-Serienimpedanzen ohne Leiter-Leiter- und Leiter-Erd-Kapazitäten</p> <p>Das Leitungsmodell eignet sich für die Berechnung stationärer Netzzustände und Lastflussberechnungen sowie der Berechnung dynamischer Ausgleichsvorgänge im Frequenzbereich $< 10\text{kHz}$, wenn die Leitungskapazitäten aus netzphysikalischer Sicht vernachlässigt werden können. Das ortsabhängige Verhalten von Leitungen im Sinne der homogenen Leitung wird nicht nachgebildet.</p>
Homogene Leitung (RLC)	<p>Modell der homogenen Leitung basierend auf den Telegraphengleichungen</p> <p>Das Leitungsmodell der homogenen Leitung kann dazu verwendet werden, das zeitabhängige und ortsabhängige Verhalten von Leitungen im Frequenzbereich $< 1\text{MHz}$ abzubilden. Es eignet sich für die Berechnung stationärer Netzzustände und Lastflussberechnungen sowie der Berechnung dynamischer Ausgleichsvorgänge.</p>
Einfachleitung (RLC-PI)	<p>Vollständiges 3-Leiter-II-Ersatzschaltbild mit induktiven und kapazitiven Kopplungen</p> <p>Das Leitungsmodell eignet sich für die Berechnung stationärer Netzzustände und Lastflussberechnungen sowie der Berechnung dynamischer Ausgleichsvorgänge im Frequenzbereich $< 10\text{kHz}$. Das ortsabhängige Verhalten von Leitungen im Sinne der homogenen Leitung wird nicht nachgebildet.</p> <p>⇒ Das Leitungsmodell sollte bevorzugt für Berechnung stationärer Netzzustände und Lastflussberechnungen verwendet werden.</p>
Entkoppelte Einfachleitung RL	<p>Induktiv nicht gekoppelte RL-Serienimpedanz je Leiter L1, L2 und L3</p> <p>Das Leitungsmodell eignet sich für die Berechnung stationärer Netzzustände und Lastflussberechnungen sowie der Berechnung dynamischer Ausgleichsvorgänge im Frequenzbereich $< 10\text{kHz}$. Das Leitungsmodell kann nur angewendet werden, wenn sowohl die induktive als auch die kapazitive Kopplung der Leiter untereinander und die Leitungskapazitäten aus netzphysikalischer Sicht vernachlässigbar sind.</p>
Entkoppelte Einfachleitung RL (L12)	<p>Nicht gekoppelte RL-Serienimpedanz je Leiter L1 und L2. Der Leiter L3 wird nicht ausgegeben.</p>

	Das Leitungsmodell eignet sich nur für spezielle Situationen in 1- oder 2-phasigen Stromnetzen.
Doppelleitung	<p>Einfach-/Doppelleitung basierend auf der Mastgeometrie</p> <p>Das Leitungsmodell der homogenen Leitung kann dazu verwendet werden, das zeitabhängige und ortsabhängige Verhalten von Leitungen im Frequenzbereich < 1 MHz abzubilden. Es eignet sich für die Berechnung stationärer Netzzustände und Lastflussberechnungen sowie der Berechnung dynamischer Ausgleichsvorgänge.</p> <p>⇒ Das Leitungsmodell kann verwendet werden, um z.B. den Einfluss von Mastgeometrien von Freileitungen auf Spannungen und Ströme zu untersuchen.</p>
Mehrfachleitung (RLC-PI)	Leitung wird durch eine Serienschaltung mehrerer Teilleitungen auf Basis des Leitungsmodells Einfachleitung (RLC-PI) nachgebildet.

Tabelle 5: Liste der generischen Leitungsmodelle

5.9.2.2 Leitungstypen

In ATPDesigner ist es auch möglich, Leitungstypen wie z.B. **NAKBA 3x95mm²** auszuwählen. Die netzphysikalisch relevanten Werte werden aus der internen Datenbank ausgelesen sind im Programm vorgegeben. Einige Einstellwerte wie z.B. die **Leitungslänge L** müssen vom Anwender definiert werden.

Wird eine Leitung durch Auswahl eines Leitungstyps definiert, so wird automatisch das Leitungsmodell **Einfachleitung (RLC-PI)** verwendet. Es ist nachträglich möglich, die Einstellwerte eines Leitungstyps in ein generisches Leitungsmodell zu übernehmen und somit z.B. das Leitungsmodell **Homogene Leitung (RLC)** zur Berechnung von Wanderwellen zu verwenden.

5.9.2.3 Übernahme eines Leitungstyps in ein generisches Leitungsmodell

Wird zuerst ein Leitungstyp z.B. **NAYY 4x150mm²** eingestellt, so werden die netzphysikalisch relevanten Werte aus der internen Datenbank ausgelesen und mit Änderungsschutz angezeigt. Wird jetzt ein generisches Leitungsmodell ausgewählt, so bleiben die netzphysikalisch relevanten Werte des Leitungstyps erhalten und die Eingabefelder werden ohne Änderungsschutz angezeigt.

Die interne Datenbank der Leitungstypen kann vom Anwender nicht verändert oder erweitert werden, Dazu ist eine Neu-Kompilierung von ATPDesigner mit neuer Versionsnummer erforderlich.

- ⇒ Um anwenderspezifische Leitungstypen, die nicht in der internen Datenbank enthalten sind zu verwenden, wird empfohlen ein generisches Leitungsmodell z.B. **Einfachleitung (RLC-PI)** zu verwenden.

5.9.2.4 Export und Import der Betriebsmitteldaten von Leitungen

ATPDesigner bietet die Möglichkeit, die Betriebsmitteldaten von Leitungen in eine .CSV-Datei zu exportieren.

- Hauptmenü **Datei**, Menüpunkt **Export, Leitung** [Bd. 1]

Die Betriebsmitteldaten können z.B. mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel verändert und mit einer Importfunktion eingelesen werden. Mit Hilfe von ID-Merkmalen, die vor dem Export festgelegt werden müssen, werden die veränderten Betriebsmitteldaten in die Betriebsmitteldaten der entsprechenden Leitungen übernommen.

- Hauptmenü **Datei**, Menüpunkt **Import, Leitung** [Bd. 1]

5.9.3 Registerkarte *Allgemeine Daten* - Reduktionsfaktor *Red.*

Der Reduktionsfaktor **Red.** kann verwendet werden, um abhängig z.B. von Belastungsgrad, Verlegeart oder Werkstoffen eine unzulässige thermische Überlastung der Leitungen zu berücksichtigen. Hier ist zu empfehlen u.a. die VDE-Norm VDE 0276 [11] zu beachten. Nach VDE 0276 ist bei einer Verlegung der Leitung im Boden der maximal zulässige Leiterstrom, d.h. die Belastbarkeit I_z wie folgt zu berechnen.

$$I_z = I_r \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot \prod f$$

Nach VDE 0276 sind die beiden Faktoren f_1 und f_2 für eine Verlegung im Boden immer zu verwenden. Die entsprechenden Werte abhängig vom spezifischen Erdbodenwärmewiderstand und dem Belastungsgrad können der Norm VDE 0276-1000 entnommen werden.

Bei Verlegung der Leitung in Luft gilt nach VDE 0276:

$$I_z = I_r \cdot \prod f$$

Der Nennquerschnitt der Leitung ist nach VDE 0276 so zu wählen, dass gilt:

$$I_z \geq I_b \quad \text{mit } I_b = \text{Strombelastung im ungestörten Betrieb}$$

5.9.4 Gruppe **Lastfluss: Last** – Interne Verbraucherlast

Wie in der nachfolgenden Abbildung gezeigt kann optional eine interne Verbraucherlast an einem der Hauptknoten **Links (L)** oder **Rechts (R)** der Leitung, d.h. am linken oder rechten Netzknoten aktiviert werden. ATPDesigner verwendet als Modell der internen Verbraucherlast das Netzwerkelement [Verbraucherlast](#) im Verbraucherzählpfeilsystem (VZS).

- ⇒ Der Einstelldialog der internen Verbraucherlast wird mit einem **Left Mouse Button Click** auf den Button **Last** geöffnet. Der Einstelldialog der internen Verbraucherlast ist mit dem Einstelldialog des Netzwerkelementes [Verbraucherlast](#) identisch.

Die interne **Verbraucherlast** wird wie in der nachfolgenden Abbildung dargestellt in der Netzgrafik mit dem Symbol des Lastpfeiles dargestellt. Die interne Verbraucherlast ist in das Modell der Leitung integriert und kann sowohl für die **Berechnung stationärer Netzzustände** als auch für die **Berechnung dynamischer Netzzvorgänge** verwendet werden.

- ⇒ Um Meldungen über den nicht verbundenen Leitungsknoten zu vermeiden, kann der Hauptknoten der Leitung an dem Leitungsende der internen Verbraucherlast der [Leitungstrennschalter](#) mit einem **Left Mouse Button Click** geöffnet werden.

In der nachfolgenden Abbildung ist die interne Verbraucherlast aktiviert. Der Trennschalter an dem Hauptknoten der Leitung, an dem auch die interne Verbraucherlast angeschaltet ist, ist geöffnet.

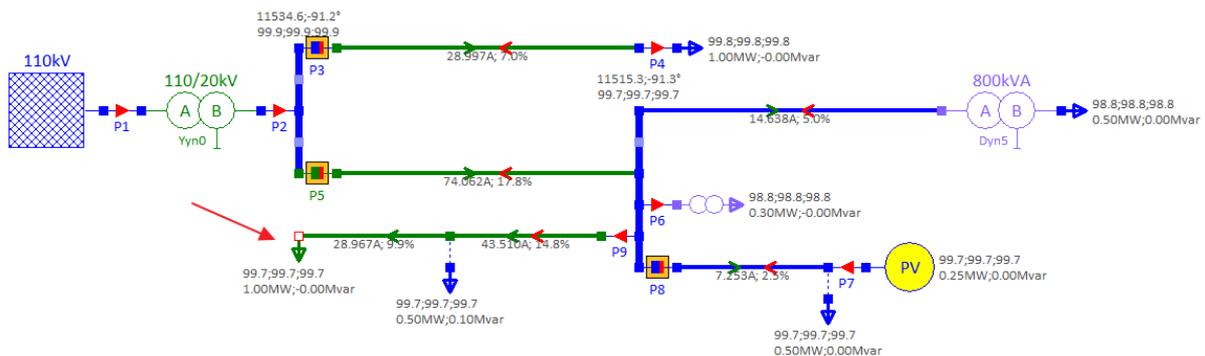
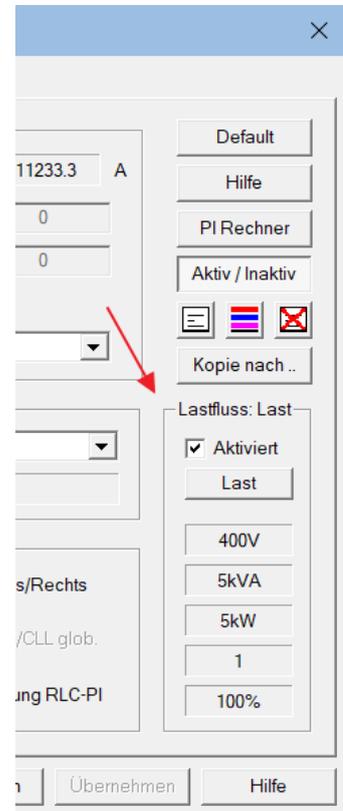


Abbildung 160: Leitungen mit aktivierter interner Verbraucherlast

Die interne Verbraucherlast kann wie das Netzwerkelement als Bezugs- oder Einspeisanlage mit beliebigem Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ verwendet werden. Auch die Verwendung von Lastprofilen für Zeitreihenberechnungen ist möglich.

In der Gruppe **Lastfluss: Last** werden ausgewählte Einstellwerte der internen Verbraucherlast angezeigt.

Einstellwert	Bedeutung
Aktiviert	Wenn aktiviert wird an den eingestellten Hauptknoten der Leitung eine Verbraucherlast angeschlossen. Die Verbraucherlast wird in der Lastflussberechnung berücksichtigt, falls diese mit der die Option Lastfluss: PQ, PU Knoten im Einstelldialog ATP Einstellwerte , Registerkarte ATP Daten bzw. dem Toolbar-Button  aktiviert ist.
U_n	Nennspannung in V
S	Scheinleistung in kVA
P	Wirkleistung in kW
s	Teillastfaktor in %

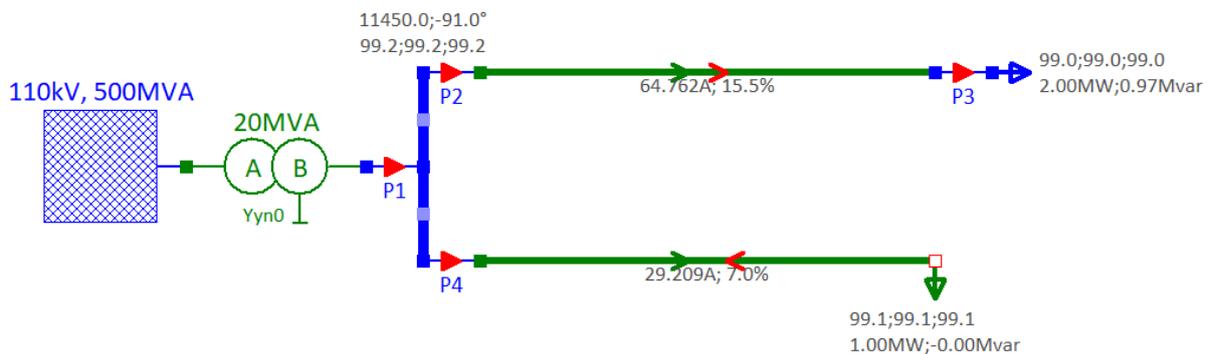


Abbildung 161: Leitungen mit *interner Verbraucherlast* - Berechnungsergebnisse

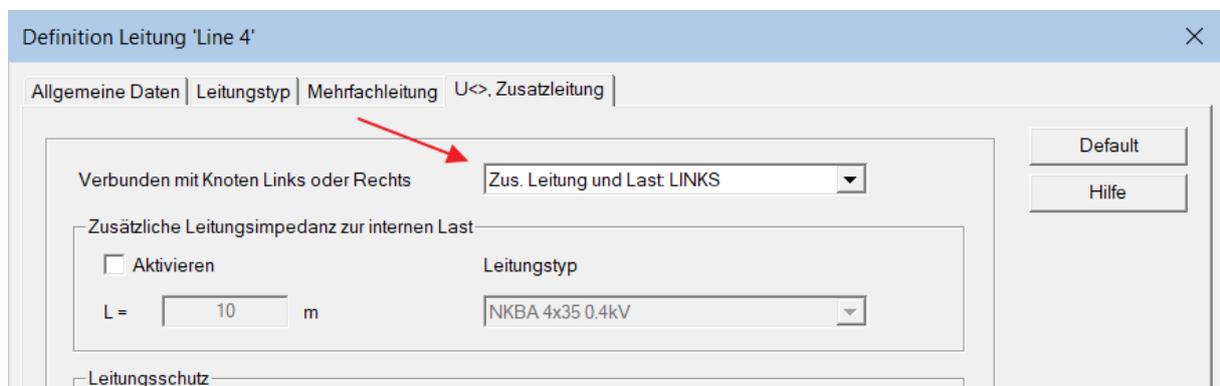


Abbildung 162: Auswahl des Hauptknotens für die Anschaltung der internen Verbraucherlast

Die interne Verbraucherlast kann alternativ an beiden Hauptknoten (Leitungsenden) **Links (L)** oder **Rechts (R)** der Leitung angeschlossen werden. Die Auswahl erfolgt wie in der nachfolgenden Abbildung dargestellt in der [Registerkarte U<>, Zusatzleitung](#).

5.9.5 Registerkarte **Leitungstyp**

In der Registerkarte **Leitungstyp** können Leitungsmodell und Leitungstyp aus der Leitungsbibliothek ausgewählt werden. Die Impedanzen und Kapazitäten der Leitung in Mit- und Nullsystem \underline{Z}_1 , \underline{Z}_0 , C_1 und C_0 werden in der Registerkarte angezeigt. Für die als geometrisch und elektrisch symmetrisch angenommenen Leitungen gilt: $\underline{Z}_2 = \underline{Z}_1$, $C_E = C_0$. Weitere Kennwerte der Leitungen werden in der Registerkarte [Allgemeine Daten](#) angezeigt.

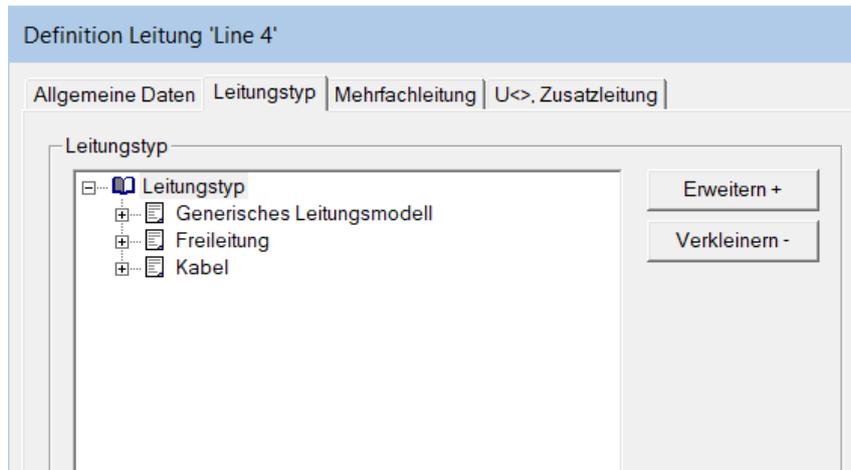


Abbildung 163: Klassen von Leitungstypen

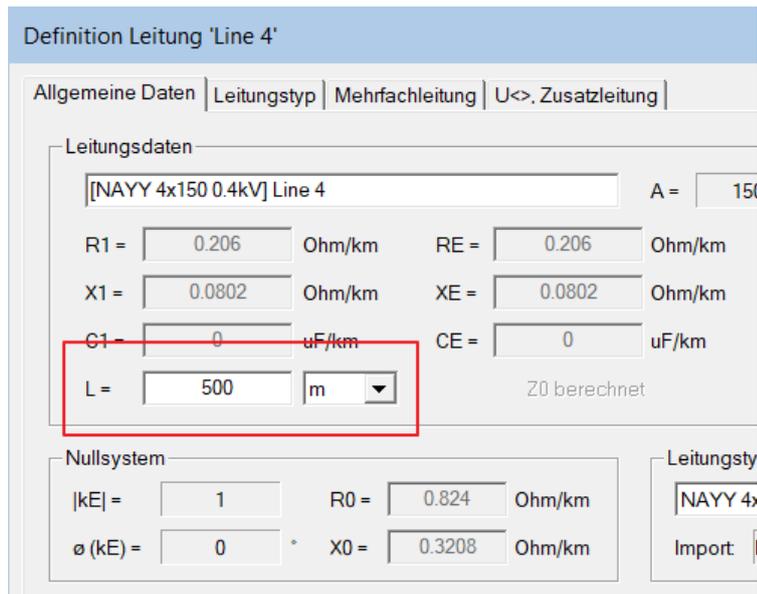
Die Leitungstypen sind in drei Klassen unterteilt.

- [Generisches Leitungsmodell](#)
- Freileitung
- Kabel

Darüber hinaus ist es möglich, **Shuntimpedanzen** und **Zusatzknoten** an den beiden Leitungsenden zu aktivieren.

5.9.5.1 Freileitungen und Kabel in der Leitungsbibliothek

In den Klassen **Freileitung** und **Kabel** sind in der Leitungsbibliothek Leitungen enthalten, die durch normative Bezeichner z.B. nach VDE 0276 [11] definiert werden können. In der nachfolgenden Abbildung ist beispielhaft ein Kabel des Typs **NAYY** dargestellt. Werden Leitungen aus den beiden Klassen **Freileitung** und **Kabel** ausgewählt, so werden die Kennwerte aus der internen Leitungsbibliothek geladen und in der Registerkarte [Allgemeine Daten](#) angezeigt. Hier muss dann ausgehend von der Grundeinstellung mindestens die Leitungslänge eingestellt werden.



Definition Leitung 'Line 4'

Allgemeine Daten | Leitungstyp | Mehrfachleitung | U<>, Zusatzleitung

Leitungsdaten

[NAYY 4x150 0.4kV] Line 4 A = 150

R1 = 0.206 Ohm/km RE = 0.206 Ohm/km

X1 = 0.0802 Ohm/km XE = 0.0802 Ohm/km

C1 = 0 uF/km CE = 0 uF/km

L = 500 m Z0 berechnet

Nullsystem

|kE| = 1 R0 = 0.824 Ohm/km

ø (kE) = 0 X0 = 0.3208 Ohm/km

Leitungstyp

NAYY 4x

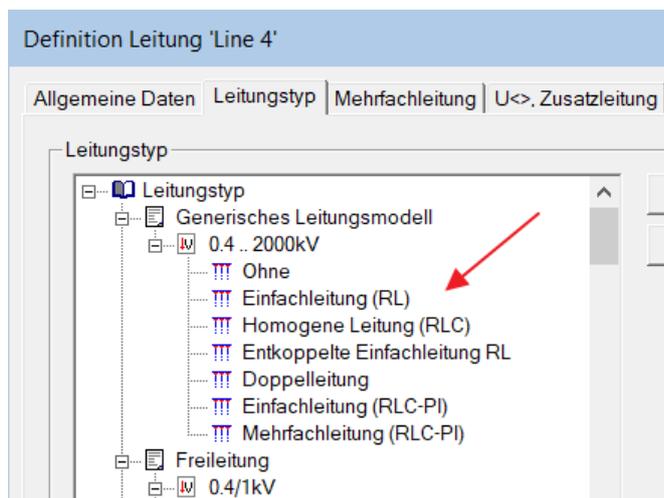
Import

Abbildung 164: Einstellung der Leitungslänge

5.9.5.2 Generische Leitungsmodelle

Sind Leitungstypen nicht bekannt und z.B. nur die Werte der Leitungsimpedanzen und Leitungskapazitäten bekannt, so können alternativ [generische Leitungsmodelle](#) verwendet werden. Dazu müssen in der Registerkarte [Allgemeine Daten](#) alle Kennwerte der Leitung durch den Anwender definiert werden.

In der nachfolgenden Abbildung sind die in ATPDesigner vorhandenen generischen Leitungsmodelle dargestellt.



Definition Leitung 'Line 4'

Allgemeine Daten | Leitungstyp | Mehrfachleitung | U<>, Zusatzleitung

Leitungstyp

- Leitungstyp
 - Generisches Leitungsmodell
 - 0.4 .. 2000kV
 - Ohne
 - Einfachleitung (RL) ←
 - Homogene Leitung (RLC)
 - Entkoppelte Einfachleitung RL
 - Doppelleitung
 - Einfachleitung (RLC-PI)
 - Mehrfachleitung (RLC-PI)
 - Freileitung
 - 0.4/1kV

Abbildung 165: Generische Leitungsmodelle

5.9.5.3 Zusatzknoten der Leitung – Ersatz für Sammelschienen

Zur Nachbildung von Leitungsknoten mit mehreren Netzwerkelementen ist es möglich, an beiden Leitungsenden der Einfachleitung **Links (L)** oder **Rechts (R)** zusätzliche Knoten zu aktivieren, um z.B. eine Solarstromanlage und eine Verbraucherlast am gleichen Netzknoten anzuschalten. Die nachfolgende Abbildung zeigt ein Beispiel.

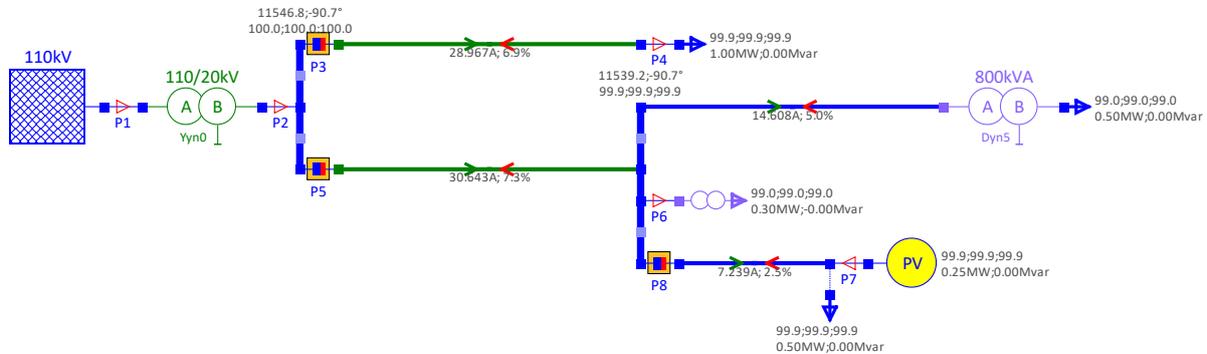


Abbildung 166: Zusatzknoten für Leitungen

Der Zusatzknoten ist aus Sicht des elektrischen Modells mit dem Hauptknoten des entsprechenden Leitungsendes impedanzlos verbunden, liegt aber an einer anderen Position. Dadurch ist die Verwendung einer **Sammelschiene** nicht erforderlich.

⇒ Zusatzknoten einer Leitung ersetzen Sammelschienen.

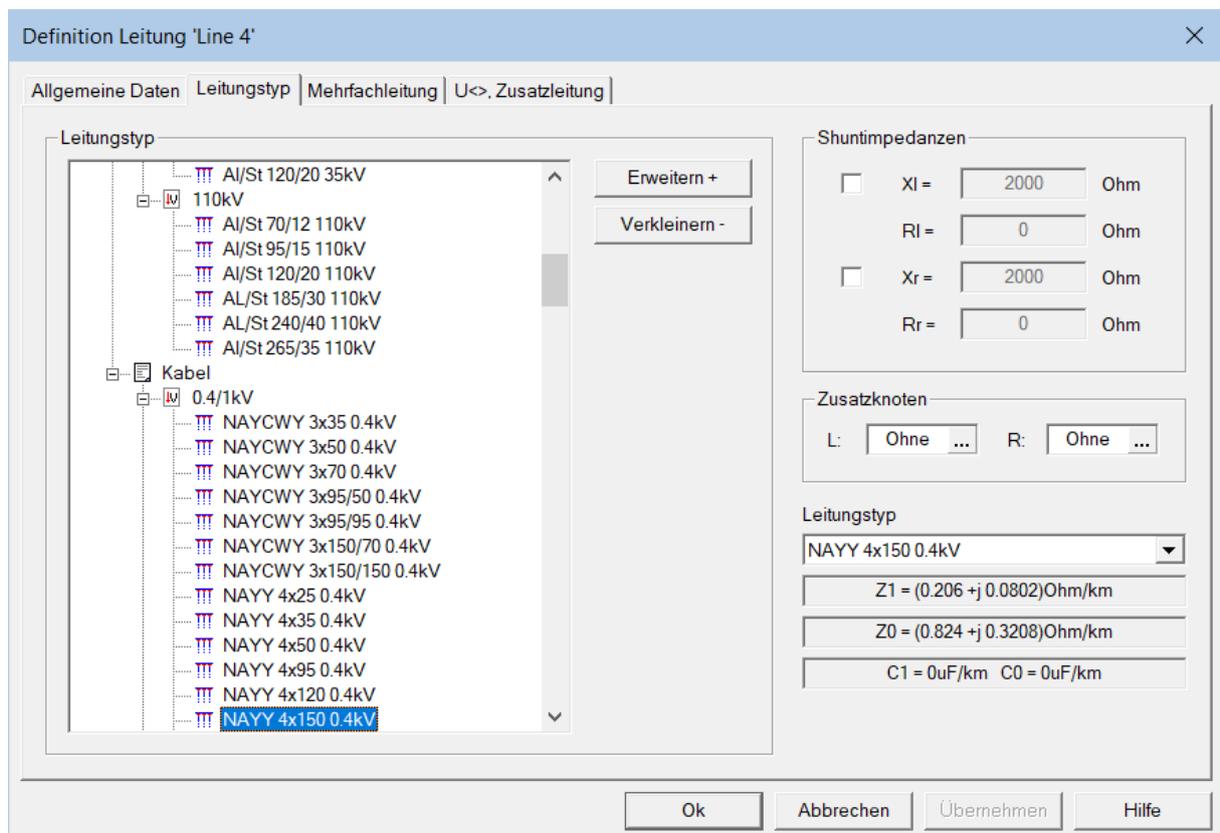


Abbildung 167: Einstelldialog Leitung – Registerkarte Leitungstyp

Der linke bzw. rechte Hauptknoten einer Leitung kann mit Aktivierung der Option **Links/Rechts** in der Registerkarte **Allgemeine Daten** erkannt werden. Nach der Aktivierung der Option sind in der Netzgrafik an den Hauptknoten der Leitung die Bezeichner

L = links und **R** = rechts vorhanden. Es ist möglich, an beiden Leitungsenden Zusatzknoten zu aktivieren. Die Einstellung der Zusatzknoten erfolgt in der Gruppe **Zusatzknoten**. Wird eine Kettung von Leitungen verwendet, so muss an dem gemeinsamen Netzknoten von direkt verbundenen Leitungen eine Überlappung beachtet werden.

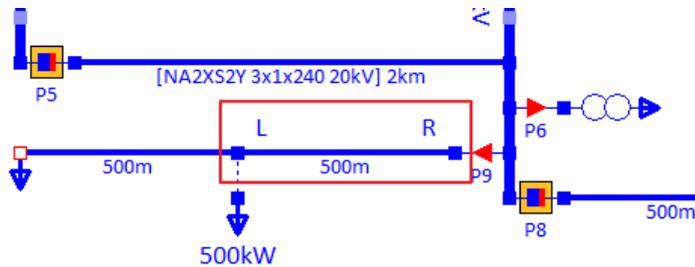


Abbildung 168: Bezeichner L = links und R = rechts an den Hauptknoten einer Leitung

Einstellwert in der Gruppe Zusatzknoten	Bedeutung
L	Anzahl Zusatzknoten am linken Hauptknoten
R	Anzahl Zusatzknoten am rechten Hauptknoten

Abhängig von der Zeichenart [Diagonalform](#) oder [„S“-Form](#) werden Anzahl und Topologie der Zusatzknoten festgelegt.

5.9.5.3.1 Zusatzknoten für Zeichenart: Diagonalform

In der nachfolgenden Tabelle sind Position und Topologie der Zusatzknoten dargestellt. Je nach Drehung des Netzwerkelementes werden die Zusatzknoten mitgedreht. Es sind die Ausrichtungen nach unten, oben, links und rechts möglich. In der nachfolgenden Tabelle sind nur einige Konfigurationen beispielhaft dargestellt.

Einstellwert	Bedeutung
3 unten	<p>3 Zusatzknoten mit Ausrichtung nach unten ausgehend von der horizontalen Ausrichtung</p>
3 rechts	<p>3 Zusatzknoten mit Ausrichtung nach rechts ausgehend von der horizontalen Ausrichtung</p>

5.9.5.3.2 Zusatzknoten für Zeichenart: „S“-Form

In der nachfolgenden Tabelle sind Position und Topologie der Zusatzknoten dargestellt. Je nach Drehung des Netzwerkelementes werden die Zusatzknoten ebenfalls mitgedreht. In der nachfolgenden Tabelle sind nur einige Konfigurationen beispielhaft dargestellt.

Einstellwert	Bedeutung
1 3(1)	<p>1 Zusatzknoten am Hauptknoten rechts ausgehend von der horizontalen Ausrichtung</p>  <p>Die verschiedenen Einstellwerte verursachen bei Drehung des Netzwerkelementes unterschiedliche Ausrichtungen des Zusatzknoten.</p>
2	<p>2 Zusatzknoten am Hauptknoten rechts ausgehend von der horizontalen Ausrichtung</p> 

5.9.5.4 Shunt Impedanzen - Querimpedanzen an den Leitungsenden

Mit den Einstellwerten **Shuntimpedanzen** können an den beiden Leitungsenden (**L** und **R**) je eine 3-phasige Querimpedanz $R + jX$ gegen Erde aktiviert werden.



Abbildung 169: Shuntimpedanzen an den beiden Leitungsenden

5.9.6 Registerkarte Mehrfachleitung

In der Praxis der Stromnetze ist es üblich, dass eine Leitung zwischen zwei Netzknoten als Serienschaltung von Teilleitungen mit unterschiedlichen Leitungstypen und Leitungslängen aufgebaut wird. Mit Hilfe der Betriebsart **Mehrfachleitung** kann eine Leitung zwischen zwei Netzknoten aus mehreren einzelnen Leitungsabschnitten (Teilleitungen) aufgebaut werden. In der nachfolgenden Abbildung ist ein Beispiel dargestellt. Die Leitung besteht aus zwei Teilleitungen mit verschiedenem Leitungstyp und unterschiedlicher Leitungslänge.

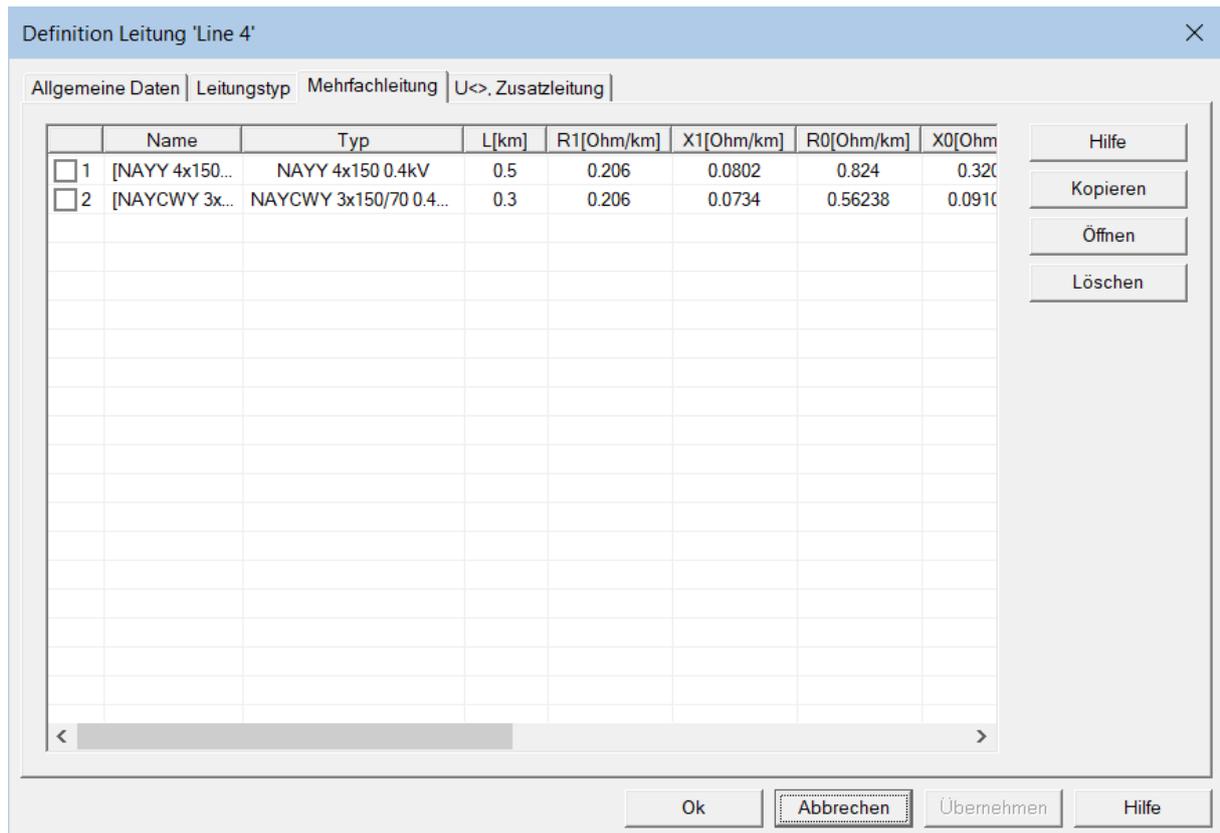


Abbildung 170: Einstelldialog Leitung – Registerkarte **Mehrfachleitung**

- ⇒ Die Betriebsart **Mehrfachleitung (RLC-PI)** muss beim Schließen des Einstelldialogs als **Leitungstyp** eingestellt sein, damit die Leitung mit den in der Liste definierten Teilleitungen nachgebildet wird. In jedem anderen Fall wird die Leitung, bestehend aus einem Leitungsabschnitt, entsprechend den Leitungsdaten, die in der Registerkarte **Allgemeine Daten** angezeigt werden, nachgebildet.

Das Leitungsmodell **Mehrfachleitung (RLC-PI)** kann nur für das II-Ersatzschaltbild (RLC-PI) einer Leitung verwendet werden.

5.9.6.1 Registerkarte **Allgemeine Daten**

Ist die Betriebsart **Mehrfachleitung** eingestellt, so werden aus den Teilleitungen der **Mehrfachleitung** resultierende Daten berechnet und in der Registerkarte **Allgemeine Daten** angezeigt.

Einstellwert	Bedeutung
R1, X1, C1, R0, X0, RE, XE, CE	<p>Längenbezogener Belag der Parameter</p> <p>Beispiel: mit L = Gesamtlänge der Mehrfachleitung</p> $R_1 = \frac{\sum_{k=1}^N R_{1k}}{L}$

L	Gesamtlänge der Mehrfachleitung als Summe der Länge jeder einzelnen Teilleitung
tan (a) PP tan (a) PG	Mittelwert der einzelnen Einstellwerte der Teilleitungen $\tan(a)PP = \frac{\sum_{k=1}^N \tan(a)PP_k}{N}$
I_{max}	Es wird der kleinste maximal zulässige Leiterstrom der Teilleitungen der Mehrfachleitung ermittelt.
U_n	Mittelwert der Nennspannungen der Teilleitungen $U_n = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=1}^N U_{nk}$
Red.	Mittelwert der Reduktionsfaktoren der einzelnen Teilleitungen $\text{Red.} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=1}^N \text{Red.}_k$
Par.	Maximale Anzahl parallel geschalteter Leitungen der einzelnen Teilleitungen
S [MVA]	Summe der Scheinleistungen der Lasten der einzelnen Teilleitungen falls für die Teilleitungen aktiviert
cos ø	Mittelwert der Verschiebungsfaktoren der Lasten der einzelnen Teilleitungen falls für die Teilleitungen aktiviert
A	Kleinster Querschnitt der einzelnen Leitungen der Mehrfachleitung
I_{thr}	Kleinster thermisch wirksamer Kurzschlussstrom der der einzelnen Leitungen der Mehrfachleitung

Der Erdstromkompensationsfaktor **k_E** sowie der Impedanzwinkel **Ø (R1, X1)** und die Zeitkonstante **T1** werden aus den resultierenden Größen der **Mehrfachleitung** berechnet. Der Inhalt der Registerkarte Allgemeine Daten ist in der nachfolgenden Abbildung beispielhaft dargestellt.

Definition Leitung 'Line 4' X

Allgemeine Daten | Leitungstyp | Mehrfachleitung | U<>, Zusatzleitung

Leitungsdaten

Line 4 A = 95 mm2 lthr = 5370.97 A

R1 = 0.264286 Ohm/km RE = 0.264286 Ohm/km tan (a) LL = 0

X1 = 0.217229 Ohm/km XE = 0.217229 Ohm/km tan (a) LE = 0

C1 = 0 uF/km CE = 0 uF/km Ohm/km,uF/km km

L = 0.7 m Z0 berechnet Verlegung in Luft

Nullsystem

|kE| = 1 R0 = 1.05714 Ohm/km

ø (kE) = 0 X0 = 0.868914 Ohm/km

Leitungstyp

Mehrfachleitung (RLC-PI)

Import: None

ø (R1, X1) = 39.418 ° Xk = 80 % Lichtbogen Links/Rechts

T1 = 2.61634 ms lmax = 275 A Red. = 1 CLE/CLL glob.

Fehlerort = 0 % Un = 0.4 ... kV Par. = 1 Leitung RLC-PI

Default

Hilfe

PI Rechner

Aktiv / Inaktiv

Kopie nach ..

Lastfluss: Last

Aktiviert

S [MVA]

0

s [%]

100

cos ø

0

Ok Abbrechen Übernehmen Hilfe

Abbildung 171: Mehrfachleitung – Inhalt der Registerkarte *Allgemeine Daten*

5.9.6.2 Erstellen einer Mehrfachleitung (RLC-PI)

- In der Registerkarte **Allgemeine Daten**
 - Auswahl der Einstellwerte
 - **Nicht** das Leitungsmodell **Mehrfachleitung (RLC-PI)** auswählen
- Durch einen **Left Mouse Button Click** auf die Taste **Kopie nach ..** werden die Einstelldaten der Leitung aus der Registerkarte **Allgemeine Daten** als neue Teilleitung an die Liste in der Registerkarte **Mehrfachleitung** angehängt.

Die oben genannten Schritte können beliebig oft wiederholt werden.

Vor dem Schließen des Einstelldialogs muss das Leitungsmodell **Mehrfachleitung (RLC-PI)** eingestellt werden, da sonst nur eine Leitung entsprechend dem eingestellten Leitungsmodell verwendet wird.

5.9.6.3 Änderung der Einstellwerte einer Teilleitung der Mehrfachleitung

Durch einen **Left Mouse Button Double Click** auf eine Zeile in der Liste der Teilleitungen der Mehrfachleitung wird der Einstelldialog für Leitungen ohne die Registerkarte **Mehrfachleitung** geöffnet.

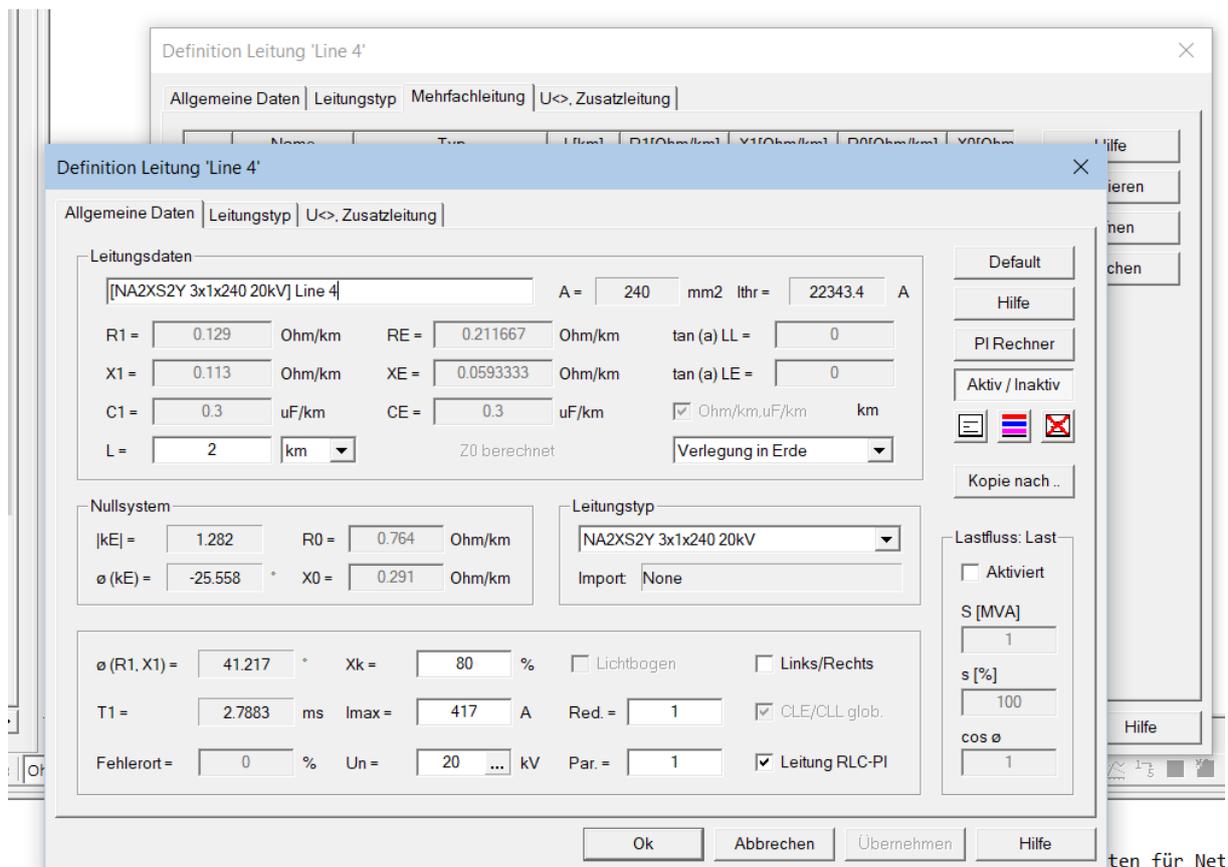


Abbildung 172: Änderung der Einstellwerte einer Teilleitung einer Mehrfachleitung

5.9.6.4 Löschen einer der Teilleitungen einer Mehrfachleitung

Um eine Teilleitung der **Mehrfachleitung** zu löschen, muss die Checkbox am Zeilenanfang der Liste der Teilleitungen markiert werden. Dann kann durch Drücken des Buttons **Löschen** nach einer Sicherheitsabfrage die Teilleitung gelöscht werden.

5.9.6.5 Kopieren der Leitungsdaten in die Zwischenablage

Durch Drücken der Taste **Kopieren** werden die Einstellwerte der Teilleitungen im .CSV-Format in die Zwischenablage kopiert. Es ist möglich, die Einstellwerte z.B. nach Excel in eine Tabelle zu importieren.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1		Name	Typ	L[km]	R1[Ohm/km]	X1[Ohm/km]	R0[Ohm/km]	X0[Ohm/km]	C1[uF]	C0[uF]	Vnom[kV]	Imax[A]	Red	Par	RefName	No
2	1	500m	NAYY 4x150 0	0,5	0,206	0,0802	0,824	0,3208	1	1	0,4	275	1	1	1 Line 4	1
3	2	[NFA2X 4x35 (NFA2X 4x35 0		0,2	0,876	0,072	3,504	0,288	1	1	0,4	132	1	1	1 Line 4	2
4	3	[AI/St 95/15 3 AI/St 95/15 3		0,2	0,306	0,37	1,224	1,48	0,01	0,005	35	350	1	1	1 Line 4	3

Abbildung 173: Import der Einstellwerte der Teilleitungen in eine Tabelle

5.9.6.6 Interne Leiterbezeichner der Mehrfachleitung

Die äußeren Knoten der **Mehrfachleitung**, die mit anderen Netzwerkelementen verbunden sind, verwenden die Standardbezeichner **ABC**. Die internen Knoten der einzelnen Leitungssegmente werden mit den Leiterbezeichnern **UVW** erstellt.

5.9.7 Registerkarte U<>, Zusatzleitung

In der Registerkarte sind Einstellwerte zu unterschiedlichen Aspekten des Leitungsmodells enthalten.

- Es kann optional eine Hausanschlussleitung zwischen dem rechten oder linken Knoten der Leitung und der Lastimpedanz eingefügt werden.
 - Es kann ein **Über- und Unterspannungsschutz U> und U<** zur Spannungsüberwachung eingeschaltet werden. Die Staffelzeit des Spannungsschutzes kann aktiviert oder deaktiviert werden. Die Ergebnisse des Spannungsschutzes werden wie für alle anderen Schutzfunktionen von ATPDesigner ausgewertet und in der Netzgrafik sowie im **Meldungsfenster** angezeigt. Der Spannungsschutz wertet die Beträge der Grundschiwingung der Leiter-Erd-Spannungen aus.
- ⇒ Der Über- und Unterspannungsschutz wird auch bei deaktivierter Lastimpedanz in der Registerkarte **Allgemeine Daten** ausgeführt.
- Das Leitermaterial sowie die zulässigen maximalen Temperaturen für den Normalbetrieb T_b und am Ende des Kurzschlusses T_e können eingestellt werden. Diese Einstellwerte werden z.B. in Anlehnung an VDE 0276 [11] zur [Beurteilung der Kurzschlussbelastbarkeit](#) verwendet werden.
 - Es wird der Leitungstyp **Freileitung** oder **Kabel** angezeigt.

Definition Leitung 'Line 4'

Allgemeine Daten | Leitungstyp | Mehrfachleitung | U<>, Zusatzleitung

Verbunden mit Knoten Links oder Rechts: Default Hilfe

Zusätzliche Leitungsimpedanz zur internen Last

Aktivieren Leitungstyp:

L = m

Leitungsschutz

U> = ULE nom TU> = ms

U< = ULE nom TU< = ms

Zusätzliche Einstellwerte

Leitermaterial: Aluminium Tb = °C

Leitermaterial: Kupfer Te = °C

Leitungstyp:

Ok Abbrechen Übernehmen Hilfe

Abbildung 174: Einstelldialog Leitung – Registerkarte U<>, Zusatzleitung

Einstellwert	Bedeutung
Aktivieren	Die Hausanschlussleitung wird aktiviert oder deaktiviert. Ist die Lastimpedanz (Registerkarte Allgemeine Daten , Gruppe Lastfluss: Last) nicht konfiguriert, so wird automatisch auch die Hausanschlussleitung deaktiviert.
L	Länge der Leitung in m
Leitungstyp	Gruppe Zusätzliche Leitungsimpedanz ... Name des Leitungstyps z.B. in Anlehnung an VDE Normen
Verbunden mit Knoten Links oder Rechts	Lastimpedanz mit optionaler Hausanschlussleitung werden entweder am rechten oder linken Knoten der Leitung angeschlossen. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Zus. Leitung und Last LINKS Lastimpedanz am linken Knoten der Leitung ▪ Zus. Leitung und Last RECHTS Lastimpedanz am rechten Knoten der Leitung
U>	Überspannungsanregung
U<	Unterspannungsanregung
TU>	Staffelzeit des Überspannungsschutzes
TU<	Staffelzeit des Unterspannungsschutzes

Zwischen dem linken oder rechten Knoten der Leitung und der Lastimpedanz wird entweder eine Koppelresistanz $R = 10^{-6}\text{Ohm}$ oder die Hausanschlussleitung geschaltet.

5.9.7.1 Gruppe Zusätzliche Einstellwerte

In der Gruppe werden Daten angezeigt, wenn ein Leitungstyp aus der Leitungsbibliothek ausgewählt wurde, der kein generischer Leitungstyp ist.

Einstellwert	Bedeutung

5.9.7.2 Messung Ströme, Spannungen – Interne Verbraucherlast nicht aktiviert

Ist die interne Verbraucherlast in der Gruppe **Lastfluss: Last** mit dem Einstellwert **Aktiviert** nicht aktiviert, so werden die Leiter-Erd-Spannungen an dem linken und rechten Leitungsende gemessen und im Tooltip der Leitung ausgegeben, wenn der Mauscursor über der Leitung positioniert wird. Der Laststrom, der ohne Verbraucherlast nicht auftritt, kann nicht gemessen werden.

5.9.7.3 Messung Ströme, Spannungen – Interne Verbraucherlast aktiviert

Ist die interne Verbraucherlast in der Gruppe **Lastfluss: Last** mit dem Einstellwert **Aktiviert** aktiviert, so werden die Leiter-Erd-Spannungen an dem linken und rechten Leitungsende gemessen und im Tooltip der Leitung ausgegeben, wenn der Mauscursor über der Leitung positioniert wird.

- An der internen Verbraucherlast wird der an diesem Leitungsknoten gemessene Spannungswert ausgegeben, die dem Spannungsfall über der ggfs. verwendeten Hausanschlussleitung und der Spannung über der internen Verbraucherlast entspricht.
- Der Laststrom, der durch die internen Verbraucherlast und die ggfs. aktive Hausanschlussleitung fließt, wird gemessen.
- Die durch die Lastflussberechnung iterativ eingestellten Leistungen P und Q werden an der internen Verbraucherlast in der Netzgrafik ausgegeben.
- Die durch die Lastflussberechnung berechneten Beträge der Leiter-Erd-Spannungen \underline{U}_{L123} werden an der internen Verbraucherlast in der Netzgrafik ausgegeben.

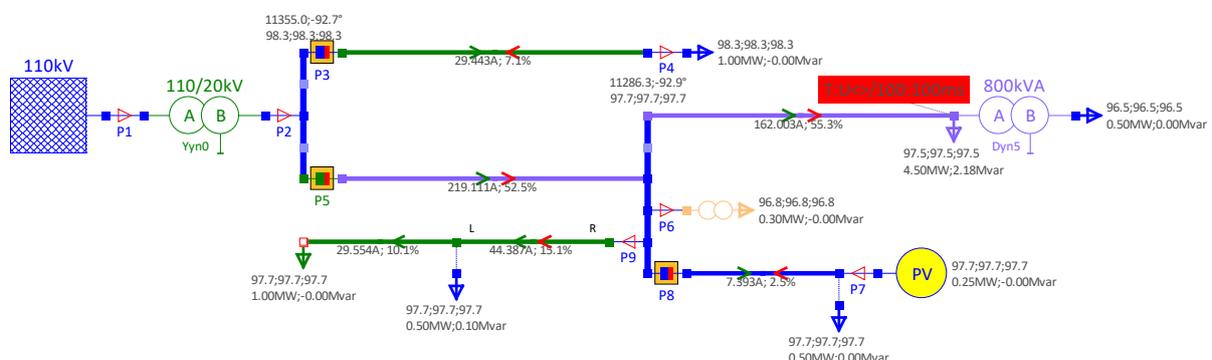


Abbildung 175: Leitung – Ausgabe der Ergebnisse des Über- und Unterspannungsschutzes

- Ist in der Registerkarte **U<>, Zusatzleitung** der U<>-Schutz aktiviert sowie Anregezeit und Staffelzeit eingestellt, so werden im Falle einer Anregung oder Auslösung die Ergebnisse der Netzschutzanalyse wie in der nachfolgenden Abbildung dargestellt in der Netzgrafik und im **Meldungsfenster** für Netzschutz ausgegeben. In der Netzgrafik wird die ODER-Verknüpfung der Unter- und Überspannungsanregung angezeigt. Im **Meldungsfenster** werden die Ergebnisse detailliert ausgegeben.

```

PROT> 250kW [3Ph 1] ULL [p.u.] GEN=0 [U>=0(000), U<=0(000)] AUS=0: U<=0ULEn, TU<=100ms, U>=1e+15ULEn, TU>=100ms
PROT> [NA2XS2Y 3x1x185 20kV] 1km [Line 6] U<> GEN=1 [U>=0(000), U<=1(111)] AUS=1: U<=0.98ULEn, TU<=100ms, U> inaktiv
PROT> [NA2XS2Y 3x1x185 20kV] 1km [Line 6] U<> GEN=1 [UL1=0.975, UL2=0.975, UL3=0.975]p.u.

PROT> Schutzfunktion mit AUS-Kommando oder Blockade-Signal
PROT> [NA2XS2Y 3x1x185 20kV] 1km [Line 6] GEN=1 TRIP=1 >>> T:U<>/100:100ms

PROT> Kleinste erkannte AUS-Kommandozeit T:100ms

```

Bezeichner	Bedeutung
GEN=0/1	Generalanregung erkannt = 1, nicht erkannt = 0
U>=a(bcd)	Überspannungsanregung <ul style="list-style-type: none"> a = ODER-Verknüpfung der leiterselektiven Anregungen b = Anregung Leiter L1 c = Anregung Leiter L2 d = Anregung Leiter L3
U<=a(bcd)	Unterspannungsanregung <ul style="list-style-type: none"> a = ODER-Verknüpfung der leiterselektiven Anregungen b = Anregung Leiter L1 c = Anregung Leiter L2 d = Anregung Leiter L3
AUS	AUS-Kommando nach Ablauf der Staffelzeit
U< disabled	Staffelzeit aktiv (enabled) oder inaktiv (disabled)
U> disabled	Staffelzeit aktiv (enabled) oder inaktiv (disabled)

Messwerte	Bedeutung
UL1	Betrag der Grundschiwingung der Leiter-Erd-Spannung \underline{U}_{L1}
UL2	Betrag der Grundschiwingung der Leiter-Erd-Spannung \underline{U}_{L2}
UL3	Betrag der Grundschiwingung der Leiter-Erd-Spannung \underline{U}_{L3}

5.9.7.4 Beurteilung der Kurzschlussbelastbarkeit

In der Gruppe **Zusätzliche Einstellwerte** können Einstellungen für den in der Registerkarte **Allgemeine Daten** eingestellten **Leitungstyp** verändert werden. Derartige Änderungen können erforderlich sein, wenn ein generisches Leitungsmodell z.B. **RLC-PI** verwendet wird. Für Leitungstypen aus der Leitungsbibliothek wie z.B. NAYY 4x150mm² sind die Einstellwerte nicht veränderlich. Die Einstellwerte werden u.a. für die Beurteilung der Kurzschlussbelastbarkeit in Anlehnung an VDE 0276 und VDE 0103 benötigt.

Einstellwert	Bedeutung
Leitermaterial	Leitermaterial Aluminium oder Kupfer
Tb	Maximal zulässige Leitertemperatur im Normalbetrieb
Te	Maximal zulässige Leitertemperatur am Ende des Kurzschlusses

5.9.8 Berechnung des stationären Netzzustandes: Anzeige von I_{max}

Nach der **Berechnung des stationären Netzzustandes** werden für die Einfachleitung folgende Daten ermittelt:

- der maximale Leiterstrom in A und in % von I_{max}

ATPDesigner gibt diese Information an Stelle des anwenderspezifischen Bezeichners der Leitung unmittelbar am grafischen Abbild der Leitung aus.

⇒ Maximaler Leiterstrom in A

Bei der Berechnung der Anzeigewerte werden der Reduktionsfaktor **Red.** und die Anzahl parallel geschalteter Leitungen **Par.** berücksichtigt.

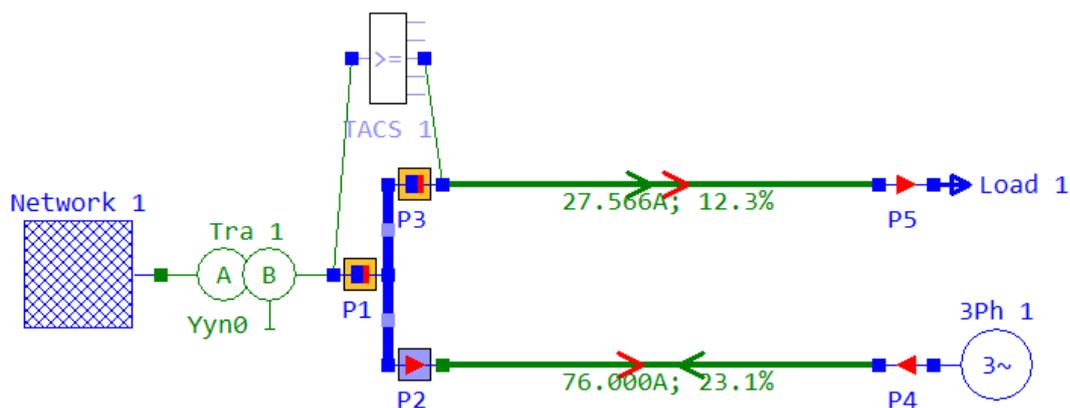


Abbildung 176: Ausgabe von Messdaten für eine Leitung

Wird der einstellbare maximale Leiterstrom I_{max} überschritten, so wird die **Leitung eingefärbt** markiert. Wird der Kurzschluss auf einer Leitung nachgebildet, so wird der Kurzschlussstrom der fehlerbetroffenen Leitung nicht angezeigt.

5.9.9 Leitungsmodell RLC-PI mit und ohne Kapazitäten

ATPDesigner bietet die Möglichkeit, Leitungen durch ein Π -Ersatzschaltbild nachzubilden. Die Leiter-Erd- und Leiter-Leiter-Kapazitäten können für jede Leitung einzeln oder global aktiviert oder deaktiviert werden. Sind die Kapazitäten deaktiviert, so werden die Kapazitäten im Leitungsmodell nicht berücksichtigt.

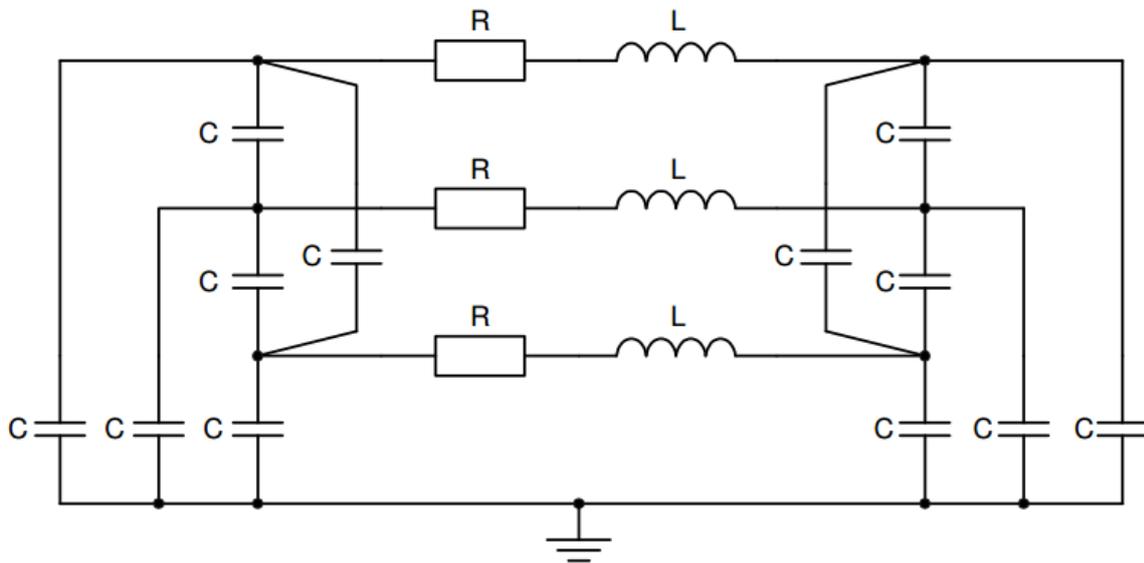


Abbildung 177: 4-Leiter-Ersatzschaltbild einer Leitung als Π -Ersatzschaltbild

Leitung RLC-PI

Wurde ein Leitungstyp aus der internen Leitungsbibliothek oder das Leitungsmodell **Einfachleitung (RLC-PI)** ausgewählt, so können mit dieser Option die Leiter-Erd- und die Leiter-Leiter-Kapazitäten für die einzelnen Leitungen aktiviert oder deaktiviert werden.

Einstellwert	Bedeutung
Option aktiviert	Die Leiter-Erd- und Leiter-Leiter-Kapazitäten werden verwendet.
Option nicht aktiviert	Die Leiter-Erd- und Leiter-Leiter-Kapazitäten werden nicht verwendet. Es wird ein induktiv gekoppeltes Leitungsmodell verwendet, das dem Leitungsmodell Einfachleitung (RL) entspricht.

CLE/CLL glob.

Mit Hilfe dieser Option wird angezeigt, ob die Kapazitäten aller in einem Netz verwendeten Leitungen, die mit einem Leitungstyp aus der Leitungsbibliothek oder dem Leitungsmodell **Einfachleitung (RLC-PI)** realisiert werden, mit oder ohne Kapazitäten verwendet werden. Der Einstellwert **Kapazitäten CLE und CLL aktivieren** ist im Einstelldialog **Einstellungen Elektrisches Netz**, Registerkarte **Leitung 1..3** enthalten.

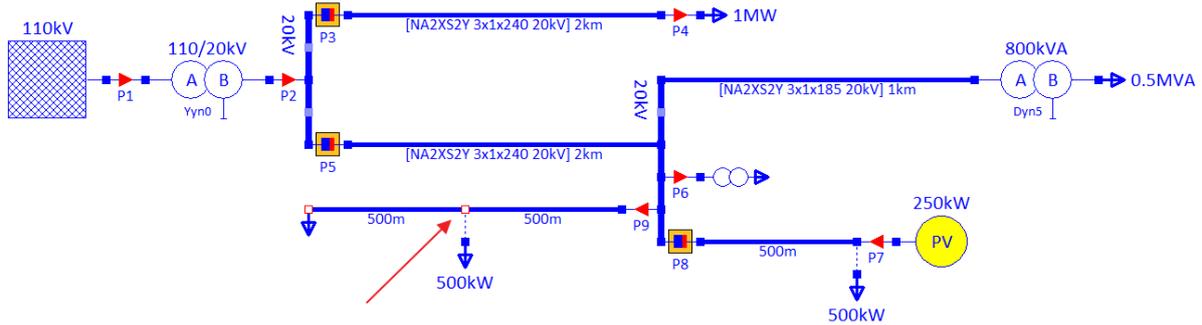


Abbildung 180: Ergebnisse der Lastflussberechnung für Leitungen mit Zusatzknoten

5.9.10.1 Topologisches Schaltbild der Leitung mit Trennschalter, Zusatzknoten, ...

Die folgende Abbildung zeigt das von ATPDesigner verwendete Modell der Einfachleitung mit Trennschaltern und Zusatzknoten als topologisches Schaltbild.

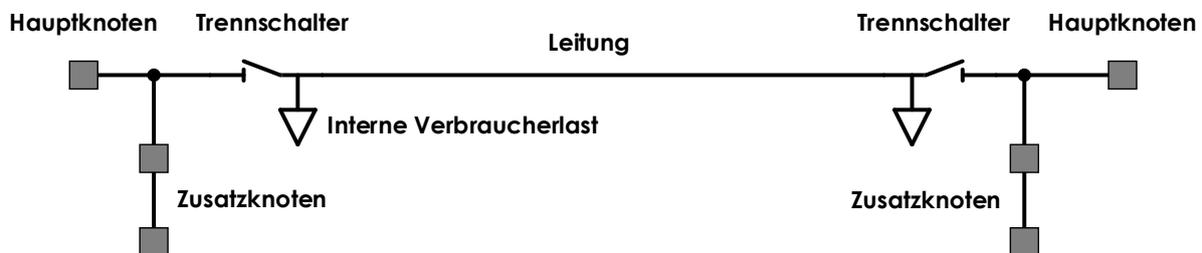


Abbildung 181: Modell der Einfachleitung mit Trennschaltern und Zusatzknoten

5.9.10.2 Öffnen und Schließen der Trennschalter per *Left Button Mouse Click*

Trennschalter einer markierten **Leitung** können per **Left Mouse Button Click** geöffnet und geschlossen werden.

1. Die Leitung wird mit einem **Left Mouse Button Click** markiert.
2. Der Mauszeiger wird über den Knoten, dessen integrierter Trennschalter geöffnet oder geschlossen werden soll, positioniert.
3. Mit einem **Left Mouse Button Click** wird der Trennschalter geöffnet oder geschlossen (Inversion des Schaltzustandes).
4. Eine Leitung, die mindestens einen geöffneten Trennschalter besitzt, wird in der Farbe **hellblau** gezeichnet.
5. Eine Leitung, deren Trennschalter alle geöffnet sind, d.h. die spannungslos ist, wird **grau** gezeichnet.

In der nachfolgenden Abbildung ist eine Leitung mit einem geöffneten Trennschalter als **rot umrandetes Quadrat** mit weißer Innenfläche am linken Ende der Leitung dargestellt.

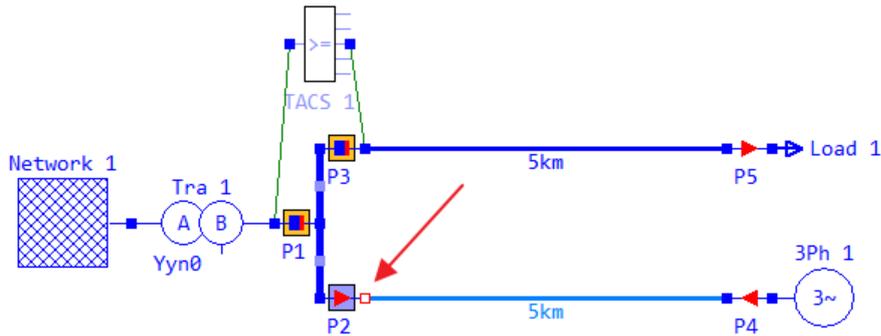


Abbildung 182: Leitung mit einem geöffneten Trennschalter

Um die elektrische Trennung der Leitung zu erreichen, wird intern unmittelbar vor dem Ausführen einer Netzberechnung der Leiterbezeichner des Knotens von **ABC** in **DEF** umbenannt. Die Nummer des Knotens wird temporär d.h. nur für die aktuelle .ATP-Datei neu erzeugt. Die fortlaufende Nummer wird auch für andere Netzobjekte mit Trennschalter z.B. für Sammelschienen verwendet.

5.9.10.3 Öffnen und Schließen der Trennschalter per *Right Mouse Button Menu*

Eine weitere Option zum Öffnen und Schließen der Trennschalter verwendet das kontextsensitive **Right Mouse Button Menu**.

1. Die Leitung wird mit einem **Left Mouse Button Click** markiert.
2. Mit einem **Right Mouse Button Click** wird das kontextspezifische Menu geöffnet.
3. Mit einem **Left Mouse Button Click** den Menüpunkt Trennschalter am unteren Menüende öffnen.
4. Den Trennschalter mit einem **Left Mouse Button Click** auf den Menüeintrag **Offen** öffnen oder auf den Menüeintrag **Geschlossen** schließen.

5.9.11 Einföhrung einer spannungslosen Leitung

Wurde eine Leitung elektrisch vom Netz durch einen internen **Trennschalter** Netz getrennt, so wird die Leitung mit einer hellgrauen Farbe gezeichnet. In der nachfolgenden Abbildung ist die spannungslose Leitung **hellgrau** gezeichnet. Die geöffneten Trennschalter sind als weiße rot umrandete Quadrate zu erkennen.

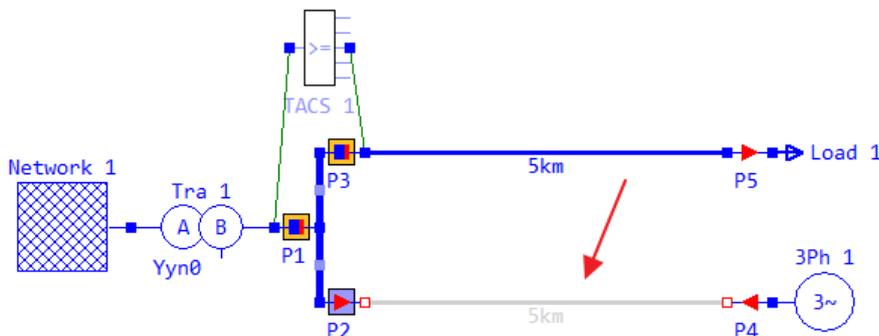


Abbildung 183: Einföhrung einer spannungslosen Leitung

5.9.12 Integrierte Bibliothek für Leitungstypen

ATPDesigner bietet eine integrierte Bibliothek mit mehreren Leitungstypen an. Die Auswahl erfolgt mit Hilfe der Auswahlliste in der Registerkarte **Allgemeine Daten** oder der Baumstruktur in der Registerkarte **Leitungstyp**. Wird ein Leitungstyp aus der Bibliothek ausgewählt, so ist in der Grundeinstellung die Option **Leitung RLC-PI** in der Registerkarte **Allgemeine Daten** aktiviert d.h. es wird das Π -Ersatzschaltbild der Leitung mit den Kapazitäten verwendet. Die Option **Leitung RLC-PI** kann manuell deaktiviert werden. Dann wird ein RL-basiertes Leitungsmodell mit induktiv gekoppelten Leitern wie in der nachfolgenden Abbildung im 3-Leiter-Ersatzschaltbild dargestellt verwendet.

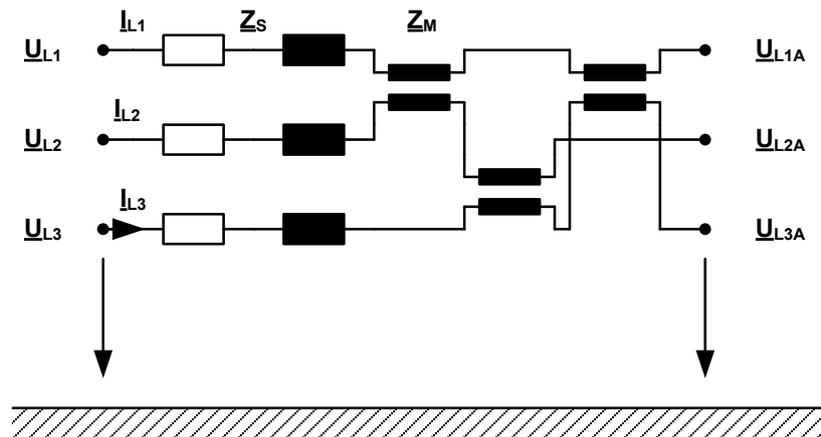


Abbildung 184: 3-Leiter-Ersatzschaltbild einer Leitung ohne Kapazitäten

5.9.13 Links/Rechts - Anzeigen des linken und rechten Knotens einer Leitung

Die Zeichenorientierung einer Leitung hat keinen Einfluss auf ihre netzphysikalische Verwendung, sondern dient nur dem optimalen grafischen Aufbau der Netztopologie. In manchen Fällen z.B. bei der Interpretation der [Leistungsflussrichtung an Leitungen](#) ist es erforderlich, den linken Knoten „L“ und rechten Knoten „R“ einer Leitung eindeutig zu identifizieren.

Wird im Einstelldialog der Leitung die Option **Links/Rechts** in der Registerkarte **Allgemeine Daten** aktiviert, so werden der rechte (R) und linke (L) Knoten der Leitung durch ein nahe dem Knoten angezeigtes R oder L in der Netzgrafik angezeigt.

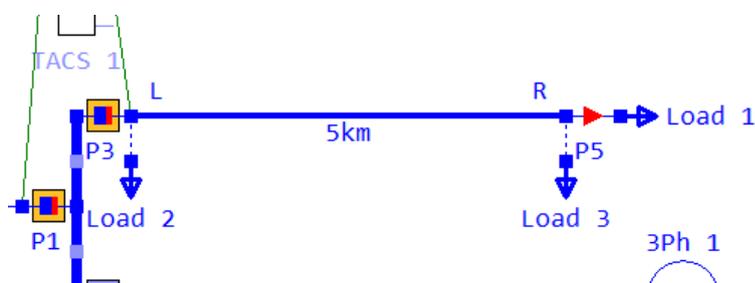


Abbildung 185: Anzeige des linken und rechten Knotens einer Leitung

5.9.14 Berechnung der Wirkverlustleistung

In Abbildung 186 ist beispielhaft das Π -Ersatzschaltbild einer Leitung im Mitsystem dargestellt. Das Π -Ersatzschaltbild beinhaltet zwei Leiter-Erd-Kapazitäten als Querelemente. Jeweils die Hälfte der Mitsystemkapazität C_1 der Leitung wird an den beiden Netzknoten A und B der Leitung berücksichtigt.

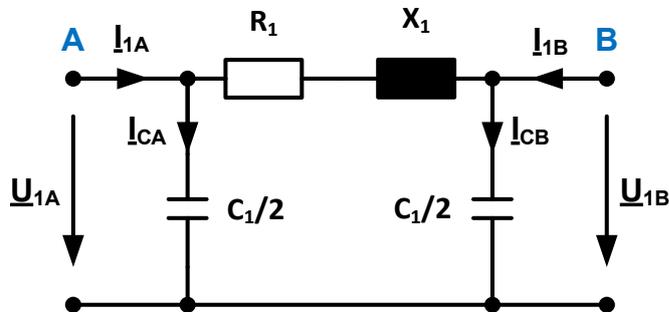


Abbildung 186: Π -Ersatzschaltbild einer Leitung im Mitsystem

Zur Berechnung der Wirkverlustleistung werden die komplexen Scheinleistungen \underline{S}_A und \underline{S}_B an den beiden Netzknoten A und B berechnet und die Differenz ermittelt. Der Realteil der Leistungsdifferenz ist die Wirkverlustleistung der Leitung. Der Vorteil dieser Berechnungsmethode liegt darin, dass diese für alle üblichen Leitungsmodelle wie auch z.B. für das Leitungsmodell der homogenen Gleichung basierend auf den Telegraphengleichungen angewendet werden kann.

Die Berechnung der Wirkverlustleistung für eine Leitung wird im natürlichen System durchgeführt. An den beiden Netzknoten A und B werden die 3-phasigen komplexen Scheinleistungen \underline{S}_A und \underline{S}_B aus den Leiter-Erd-Spannungen \underline{U}_{L123} und den Leiterströmen \underline{I}_{L123} berechnet. Aus der Differenz der beiden Scheinleistungen wird die Wirkverlustleistung der Leitung ermittelt.

$$\underline{S}_A = \underline{U}_{L1A} \cdot \underline{I}_{L1A}^* + \underline{U}_{L2A} \cdot \underline{I}_{L2A}^* + \underline{U}_{L3A} \cdot \underline{I}_{L3A}^*$$

$$\underline{S}_B = \underline{U}_{L1B} \cdot \underline{I}_{L1B}^* + \underline{U}_{L2B} \cdot \underline{I}_{L2B}^* + \underline{U}_{L3B} \cdot \underline{I}_{L3B}^*$$

Die Wirkverlustleistung P_V der Leitung kann wie folgt berechnet werden.

$$P_V = \operatorname{Re}(\underline{S}_A - \underline{S}_B)$$

Die hier gewählte Berechnungsmethode hat den Vorteil, dass sie auch für unsymmetrische Leiterströme verwendet werden kann.

5.9.15 Balkenanzeige – Ergebnisse der Lastflussberechnung in der Netzgrafik

Die Stromauslastung einer **Leitung** kann zusätzlich als Balkendiagramm in der Netzgrafik angezeigt werden. Wie in der nachfolgenden Abbildung dargestellt, muss die Anzeige des Balkendiagramms aktiviert werden.

- Hauptmenü **ATP**
- Menüpunkt **Einstellung Lastflussberechnung**, Registerkarte **Einstellung Lastflussberechnung**

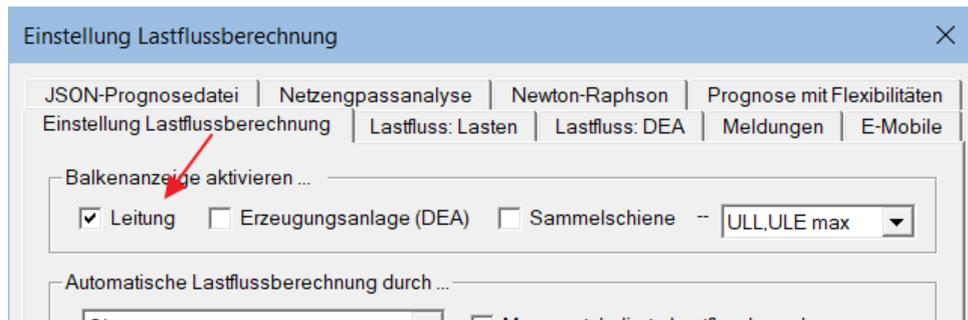


Abbildung 187: Ergebnisse der Lastflussberechnung als Balkendiagramm aktivieren

Der mittlere Trennstrich des Balkendiagramms wird für eine Stromauslastung von 100% mit einem **grünen** Balken. Unzulässig hohe Stromauslastung >100% werden mit einem **roten** Balken dargestellt.

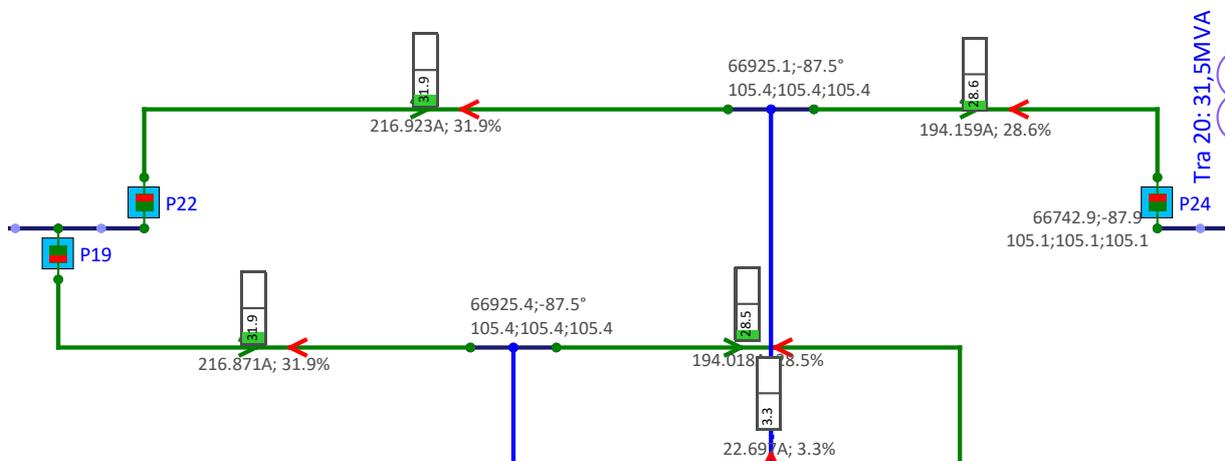


Abbildung 188: Ergebnisse der Lastflussberechnung als Balkendiagramm in der Netzgrafik

5.9.16 Doppelleitung

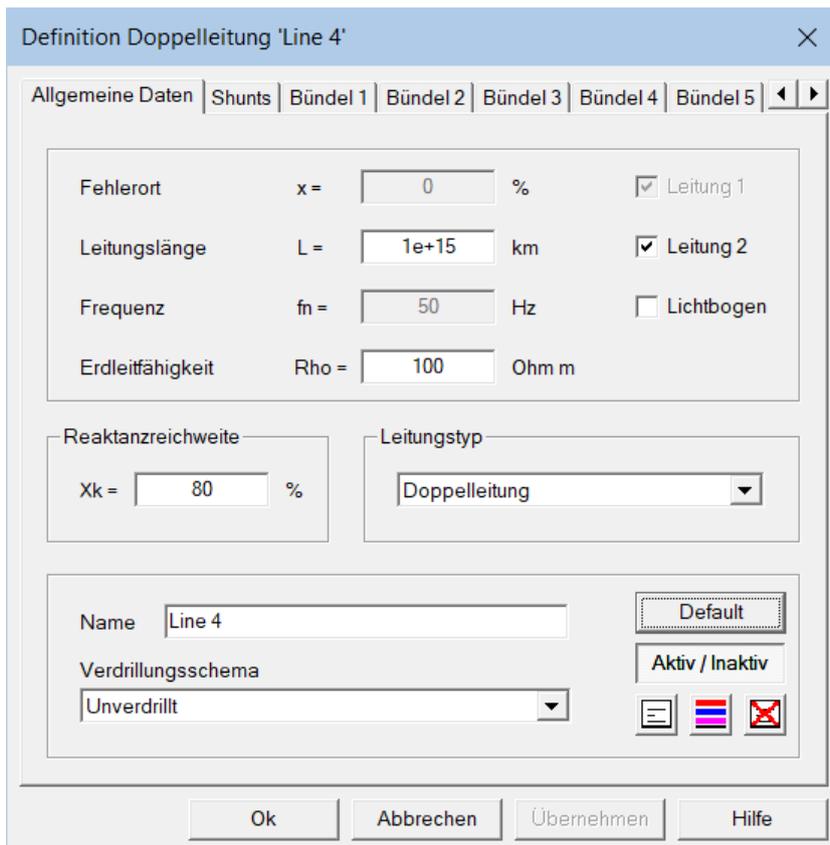
Das Netzwerkelement **Leitung** kann mit dem Leitungstyp **Doppelleitung** auch als induktiv und kapazitiv vollständig gekoppelte Doppelleitung mit ein oder zwei 3-phasigen Drehstromsystemen und bis zu zwei Erdseilen verwendet werden. Das Modell der Doppelleitung kann sowohl für die **Berechnung stationärer Netzzustände** als auch für die **Berechnung dynamischer Netzzorgänge** verwendet werden. Abhängig von den Daten der Doppelleitung ergeben sich unsymmetrische Leiterströme.

Die netzphysikalischen Eigenschaften der **Doppelleitung** werden durch die Eingabe der geometrischen und elektrischen Daten der Drehstromsysteme festgelegt. Das ATP berechnet aus den geometrischen und elektrischen Daten die zur Berechnung elektrischer Netze erforderlichen Matrizen.

- ⇒ Die **Doppelleitung** kann auch als Einfachleitung mit nur einem 3-phasigen Drehstromsystem verwendet werden.

5.9.16.1 Registerkarte Allgemeine Daten

Die allgemeinen Einstellwerte der **Doppelleitung** sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.



The screenshot shows the 'Definition Doppelleitung' dialog box with the 'Allgemeine Daten' tab selected. The fields are as follows:

- Fehlerort: x = 0 % (checked 'Leitung 1')
- Leitungslänge: L = 1e+15 km (checked 'Leitung 2')
- Frequenz: fn = 50 Hz (unchecked 'Lichtbogen')
- Erdleitfähigkeit: Rho = 100 Ohm m
- Reaktanzreichweite: Xk = 80 %
- Leitungstyp: Doppelleitung
- Name: Line 4
- Verdrillungsschema: Unverdrillt
- Buttons: Default, Aktiv / Inaktiv, and Help.

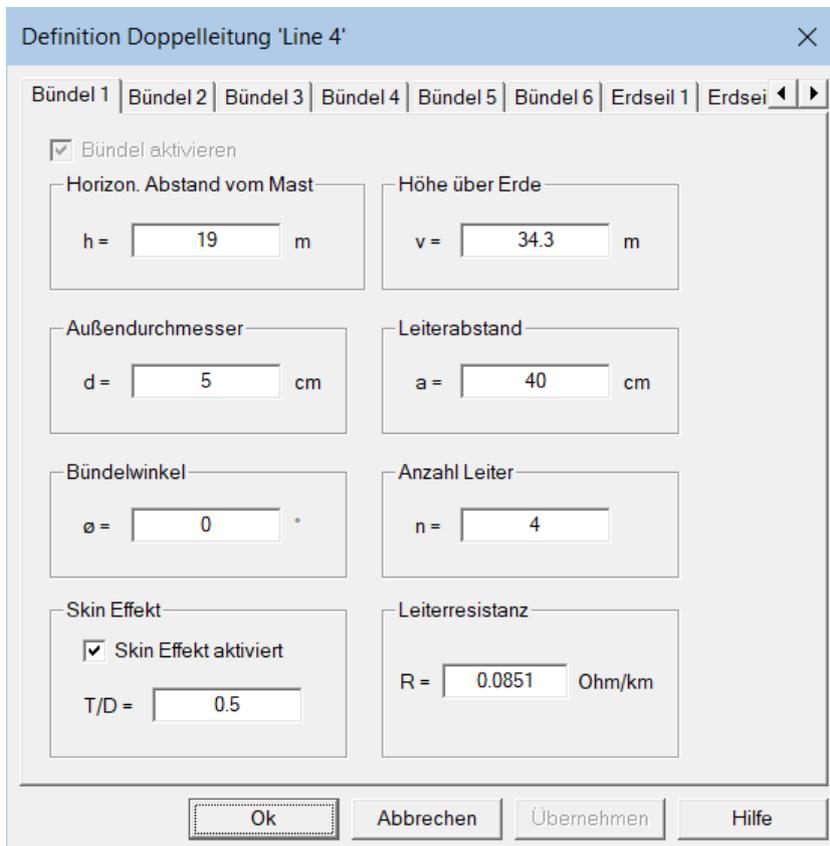
Abbildung 189: Einstelldialog **Doppelleitung** – Registerkarte **Allgemeine Daten**

Einstellwert	Bedeutung
Fehlerort x	Falls einer der Leitungen Line 1..3 verwendet wird: Fehlerort in % der Leitungslänge
Leitungslänge L	Leitungslänge in km

Frequenz f_n	Das numerische Modell der Doppelleitung wird vom ATP für diese Frequenz berechnet.
Erdleitfähigkeit Rho	Spezifische Erdleitfähigkeit zur Berechnung der Impedanz des Nullsystems nach Pollacek und Carson
Leitung 2	Falls aktiv wird eine vollständig induktiv und kapazitiv gekoppelte Doppelleitung verwendet.
Verdrillungs-schema	<p>⇒ Unverdrillt Die Doppelleitung verwendet die elektrischen und geometrischen Daten des Einstelldialogs.</p> <p>⇒ Verdrillung mit drei Abschnitten (alpha Verdrillung) Jede Leitung 1 und 2 der Doppelleitung wird mit dem α-Verdrillungsschema in drei Abschnitten verdrillt.</p> <p>⇒ Vollständig verdrillt (symmetrisch) Die Doppelleitung ist vollständig verdrillt und wird als symmetrische Doppelleitung nachgebildet.</p>
Default	Grundeinstellung der Einstellwerte wiederherstellen
Aktiv/Inaktiv	Netzwerkelement aktivieren bzw. deaktivieren

5.9.16.2 Registerkarte Bündel

Die geometrischen und elektrischen Einstellwerte eines Bündelleiters der **Doppelleitung** sind nachfolgend dargestellt.



Definition Doppelleitung 'Line 4'

Bündel 1 | Bündel 2 | Bündel 3 | Bündel 4 | Bündel 5 | Bündel 6 | Erdseil 1 | Erdseil 2

Bündel aktivieren

Horizon. Abstand vom Mast: $h = 19$ m

Höhe über Erde: $v = 34.3$ m

Außendurchmesser: $d = 5$ cm

Leiterabstand: $a = 40$ cm

Bündelwinkel: $\varnothing = 0$ °

Anzahl Leiter: $n = 4$

Skin Effekt: Skin Effekt aktiviert

Leiterresistenz: $R = 0.0851$ Ohm/km

T/D = 0.5

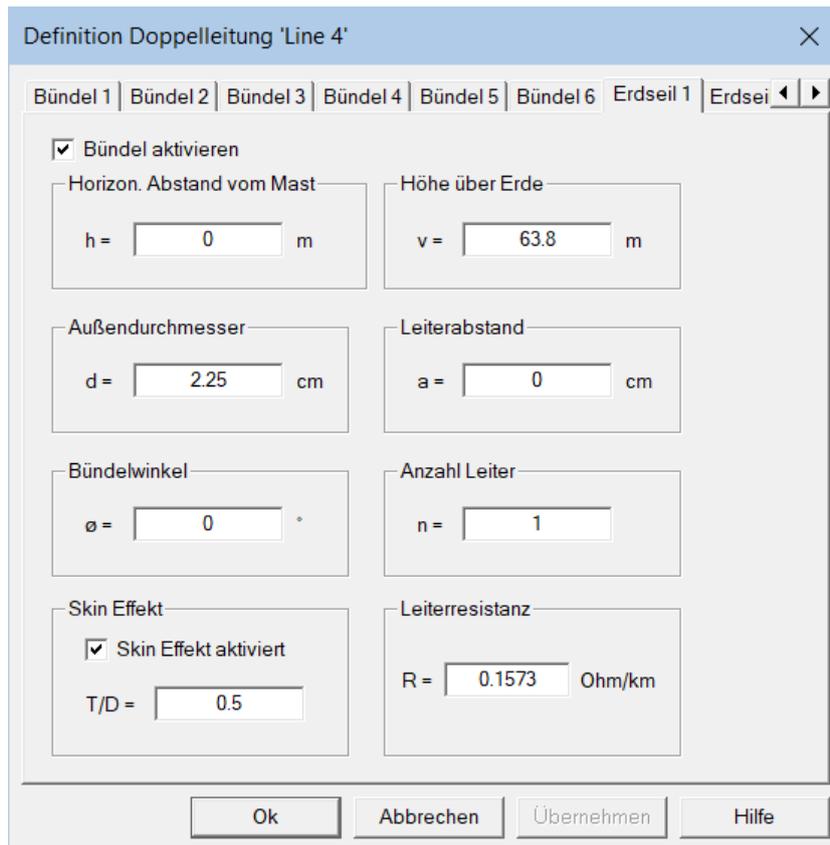
Ok Abbrechen Übernehmen Hilfe

Abbildung 190: Einstelldialog Doppelleitung – Registerkarte Bündel

Einstellwert	Bedeutung
Bündel aktivieren	Der Leiter oder Bündelleiter wird in der Netzberechnung berücksichtigt.
h [m]	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einzelleiter Horizontaler Abstand des Leiters von der horizontalen Bezugslinie ▪ Bündelleiter Horizontaler Abstand des Mittelpunktes des Bündelleiters von der horizontalen Bezugslinie
v [m]	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einzelleiter Vertikaler Abstand des Leiters von der vertikalen Bezugslinie ▪ Bündelleiter Vertikaler Abstand des Mittelpunktes des Bündelleiters von der vertikalen Bezugslinie
d [cm]	Durchmesser des Leiters der Einfachleitung bzw. der Leiter des Bündelleiters
a [cm]	Abstand der Leiter des Bündelleiters zueinander
ϕ [°]	Winkeldrehung des Bündelleiters
n	Anzahl Leiter des Bündelleiters, sonst = 1
R [Ohm/km]	Spezifischer Widerstand der Leiter
Skin	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0 = Skineffekt wird nicht berücksichtigt ▪ 1 = Skineffekt wird berücksichtigt
T/D	<ul style="list-style-type: none"> ▪ T = Dicke des leitenden Materials für einen röhrenförmigen Leiter ▪ D = Außendurchmesser für einen röhrenförmigen Leiter Für runde Volleiter kann T/D = 0,5 verwendet werden.

5.9.16.3 Registerkarte Erdseil

Die geometrischen und elektrischen Einstellwerte eines Erdseils der **Doppelleitung** sind nachfolgend dargestellt. Die Einstellwerte des Erdseils sind entsprechend der Einstellwerte der [Bündel](#) zu definieren.



Definition Doppelleitung 'Line 4'

Bündel 1 | Bündel 2 | Bündel 3 | Bündel 4 | Bündel 5 | Bündel 6 | Erdseil 1 | Erdsei

Bündel aktivieren

Horizon. Abstand vom Mast: $h = 0$ m

Höhe über Erde: $v = 63.8$ m

Außendurchmesser: $d = 2.25$ cm

Leiterabstand: $a = 0$ cm

Bündelwinkel: $\phi = 0$ °

Anzahl Leiter: $n = 1$

Skin Effekt: Skin Effekt aktiviert

Leiterresistenz: $R = 0.1573$ Ohm/km

T/D = 0.5

Ok Abbrechen Übernehmen Hilfe

Abbildung 191: Einstelldialog Doppelleitung – Registerkarte *Erdseil*

5.9.16.4 Registerkarte *Shunts*

Die Einstellwerte der **Shunt Impedanzen** der **Doppelleitung** sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Unter einer Shunt Impedanz wird eine 3-phasige symmetrische Serienimpedanz $Z = R + jX$ verstanden, die zwischen einem Leiter oder einem Bündelleiter des Drehstromsystems und Erde geschaltet ist.

Definition Doppelleitung 'Line 4' ✕

Allgemeine Daten | **Shunts** | Bündel 1 | Bündel 2 | Bündel 3 | Bündel 4 | Bündel 5 ◀ ▶

Shunt Impedanz Leitung 1

XI = Ohm

RI = Ohm

Xr = Ohm

Rr = Ohm

Shunt Impedanz Leitung 2

XI = Ohm

RI = Ohm

Xr = Ohm

Rr = Ohm

Abbildung 192: Einstelldialog *Doppelleitung* – Registerkarte *Shunts*

Einstellwert	Bedeutung
X	Reaktanz
R	Resistanz

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
- [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

DIN VDE 0276-620 (VDE 0276-620): 2018-04 Starkstromkabel
Energieverteilungskabel mit extrudierter Isolierung für Nennspannungen von 3,6/6 (7,2) kV bis einschließlich 20,8/36 (42) kV
- [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 Späth, VDE Schriftenreihe 103, VDE Verlag GmbH, 2. Auflage 2012
- [14] Lastenheft Blindleistungs-Unterspannungsschutz (Q-U-Schutz)
Forum Netztechnik/Netzbetrieb 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) Stand: November 2018
- [19] Electro-Magnetic Transients Program (EMTP) Theory Book (www.eeug.org)
- [20] Alternative Transients Program (ATP) Rule Book Canadian/American EMTP User Group (www.eeug.org)
- [21] Office Open XML (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] VDE-Studie Elektrofahrzeuge Bedeutung, Stand der Technik, Handlungsbedarf VDE/ETG
- [25] COMTRADE IEEE Standard Common Format for Transient Data Exchange (COMTRADE) for Power Systems, IEEE Std C37.111-1999
- [26] DIN VDE 0660-101 DIN EN 60947-2 (VDE 0660-101): 2018-05, Niederspannungsschaltgeräte-Teil2. Leistungsschalter, Teil 2; Berlin: Beuth-Verlag.
- [27] DIN VDE 0660-100 DIN EN 60947-1 (VDE 0660-100): 2015-09, Niederspannungsschaltgeräte-Teil1. Allgemeine Festlegungen, Teil 1; Berlin: Beuth-Verlag.
- [28] DIN EN 50160 Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen Februar 2011 (DIN EN 50160:2011-02)
- [29] JSON (JavaScript Object Notation) ECMA-404 The JSON Data Interchange Standard (www.json.org)
- [30] DIN VDE-AR-N 4120 Technische Regeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Hochspannungsnetz und deren Betrieb (TAR Hochspannung) Stand: November 2018

- [31] DIN VDE-AR-N 4105 Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz -
Technische Mindestanforderungen für Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz
Stand: November 2019

- [32] DIN VDE 0435-3121 Messrelais und Schutzeinrichtungen – Teil 121
Funktionsanforderungen an den Distanzschutz
IEC 60255-121:2014; Januar 2015

- [33] HH-Sicherungen – Allgemeine Erklärungen
Sicherungseinsätze, EFEN GmbH, Stand April 2015

- [34] DIN VDE 0670-402 (VDE 0670-402):2014-11
Wechselstromschaltgeräte für Spannungen über 1 kV, Auswahl von strombegrenzenden Sicherungseinsätzen für Transformatorstromkreise, Stand November 2014

- [35] DIN VDE 0100-430 (VDE 0100-430):2010-10
Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 4-43: Schutzmaßnahmen –
Schutz bei Überstrom; Stand Oktober 2010

- [36] DIN EN 60076-5 (VDE 0532-76-5):2007-01
Leistungstransformatoren; Teil 5: Kurzschlussfestigkeit

- [37] Leitfaden zum Einsatz von Schutzsystemen in elektrischen Netzen
Technischer Hinweis; FNN Forum netztechnik/Netzbetrieb im VDE
VDE (FNN); Ausgabe September 2009

- [38] Netzschutzkonzepte für zukünftige Netze
VDE FNN Hinweis; Version 2.0; Juni 2022

- [39] IEC 60255-24:2001 (VDE 0435-3040): 2002-04
Elektrische Relais
Teil 24: Standardformat für den Austausch von transienten Daten elektrischer
Energieversorgungsnetze (COMTRADE)

- [40] 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