SIEMENS

PSS[®]SINCAL 10.5 Lastfluss

Berechnung von Lastfluss, Lastprofilen, der Lastentwicklung und der Lastermittlung in elektrischen Netzen

Herausgegeben von SIEMENS AG Freyeslebenstraße 1, 91058 Erlangen

Vorwort

Vorbemerkung

Die PSS SINCAL Handbücher bestehen aus drei Teilen:

- Benutzerhandbuch PSS SINCAL Bedienung
- Fachhandbücher für Elektronetze und Strömungsnetze
- Systemhandbuch Datenbankbeschreibung

Allgemeine Grundsätze der Bedienung und der Grafikoberfläche von PSS SINCAL können dem Benutzerhandbuch PSS SINCAL Bedienung entnommen werden.

Die **Fachhandbücher für Elektronetze** beinhalten detaillierte Beschreibungen der verschiedenen Berechnungsverfahren für Elektronetze (Lastfluss, Kurzschluss, etc.) sowie deren Eingabedaten.

Die **Fachhandbücher für Strömungsnetze** beinhalten detaillierte Beschreibungen der verschiedenen Berechnungsverfahren für Strömungsnetze (Wasser, Gas und Wärme/Kälte) sowie deren Eingabedaten.

Das **Systemhandbuch Datenbankbeschreibung** beinhaltet eine vollständige Beschreibung der Datenmodelle für Elektronetze und Strömungsnetze.

Urheber- und Verlagsrechte

Das Handbuch und alle in ihm enthaltenen Informationen und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt.

Die Rechte, insbesonders die Rechte zur Veröffentlichung, Wiedergabe, Übersetzung, zur Vergabe von Nachdrucken, zur elektronischen Speicherung in Datenbanken, zur Herstellung von Sonderdrucken, Fotokopien und Mikrokopien liegen bei SIEMENS.

Für jede Wiedergabe oder Verwendung außerhalb der durch das Urhebergesetz erlaubten Grenzen ist eine vorherige schriftliche Zustimmung von SIEMENS unerlässlich.

Gewährleistung

Trotz sorgfältiger Ausarbeitung könnten in diesem Handbuch Fehler enthalten sein. Es wird keinerlei Haftung für Fehler und deren Folgen übernommen. Änderungen des Textes und der Funktion der Software werden im Rahmen der Pflege ständig durchgeführt.

1.	Einleitung Lastfluss	1
1.1	Netznachbildung	8
1.2	Lastnachbildung	10
1.3	Abwurf	13
1.3.1	Spannungsabhängiger Abwurf	13
1.3.2	Leistungsabhängiger Abwurf	14
1.4	Spannungsabhängige Blindleistungsregelung	16
2.	Symmetrischer Lastfluss	18
2.1	Berechnungsverfahren	19
2.2	Das Lastflussproblem	19
2.3	Das Verfahren der Stromiteration	21
2.4	Newton Raphson-Lastflussrechnung	28
3.	Unsymmetrischer Lastfluss	30
3.1	Berechnungsverfahren	31
3.2	Nachbildung unsymmetrischer Transformatoren	34
4.	Lastentwicklung	40
4.1	Vorgaben für die Laststeigerung	41
4.2	Ermittlung der Verbraucherleistung über die Laststeigerung	42
4.3	Zuordnung der Laststeigerung zu den Verbrauchern	43
4.4	Nutzung von Leistungsvorgaben	44
5.	Lastprofil	45
5.1	Strahlnetzbildung	47
5.2	Zyklische Behandlung von Lastprofilen	48
5.3	Generierung von Verbrauchern aus den Kundendaten	50
5.4	Ermitteln der Anzahl von Verbrauchern je Lastprofil	52
5.5	Generierung von Einspeisungen in den Strahlnetzknoten	52
5.6	Ermittlung der Einspeiseleistung aus Verbrauchsreduktion über Gleichzeitigkeit	53
5.7	Lastfluss lösen	54

Inhalt

6.	Arbeitspunkte	55
6.1	Bestimmung des Faktors bei Arbeitspunkten	56
7.	Lastermittlung	58
7.1	Vorgaben für die Lastermittlung	58
7.2	Ergebnisse der Lastermittlung	62
8.	Tap-Zone Ermittlung	63
8.1	Vorgaben für die Tap-Zone Ermittlung	64
8.2	Berechnung der optimalen Transformatorstufenstellungen	65
8.3	Ergebnisse der Tap-Zone Ermittlung	66
9.	Last anschließen	68
9.1	Bestimmen der Anschlusspunkte im Netz	69
9.2	Temporäres Anschließen der Last	70
9.3	Bestimmen der Elektrik der Verbindungsleitung	71
9.4	Ergebnisse Last anschließen	72
10.	PV Kurven	73
10.1	Vorgaben für die Berechnung von PV Kurven	73
10.2	Berechnung der PV Kurven	74
10.3	Ergebnisse der PV Berechnung	75
11.	Wiederversorgung	76
11.1	Bestimmen des Ausgangszustandes	78
11.2	Bestimmen der unversorgten Elemente bei Ausfall	79
11.3	Bestimmen der Schaltmaßnahmen	80
11.4	Prüfen der Wiederversorgung	82
11.5	Lastreduktion	82
11.6	Abwurf	83
11.7	Ergebnisse Wiederversorgung	84

12.	Anschlussbedingungen prüfen	85
12.1	Steuerdaten für die Prüfung	86
12.2	Ergebnisse Anschlussbedingungen prüfen	90
13.	Spezielle erweiterte Berechnungen	92
13.1	Belastungsfaktor	92
13.2	Nodal Transmission Loss Factor (TLF)	94
14.	Ergebnisse der Lastflussberechnung	96
15.	Konvergenzkontrolle	122
15.1	Impedanzlastumwandlung	122
15.2	Allgemeines	123
16.	Anwendungsbeispiele	124
16.1	Anwendungsbeispiel für Symmetrischen Lastfluss	124
16.1.1	Voreinstellen der Berechnungsparameter	125
16.1.2	Erfassen von spannungshaltenden Netzelementen	127
16.1.3	Definieren der zeitlichen Betrachtung	128
16.1.4	Definieren von Spannungsverläufen durch das Netz	129
16.1.5	Starten der Berechnung	130
16.1.6	Darstellen und Auswerten der Ergebnisse	130
16.2	Anwendungsbeispiel für Unsymmetrischen Lastfluss	132
16.2.1	Voreinstellen der Berechnungsparameter	132
16.2.2	Erfassen von Netzelementen mit unsymmetrischen Daten	133
16.2.3	Starten der Berechnung	135
16.2.4	Darstellen und Auswerten der Ergebnisse	135
16.3	Anwendungsbeispiel für Lastentwicklung	136
16.3.1	Voreinstellen der Berechnungsparameter	137
16.3.2	Erfassen der Eingabedaten	138
16.3.3	Definieren der Lastentwicklung	141
16.3.4	Starten der Berechnung	144

Inhalt

16.3.5	Darstellen und Auswerten der Ergebnisse	144
16.4	Anwendungsbeispiel für Lastprofil	146
16.4.1	Voreinstellen der Berechnungsparameter	148
16.4.2	Zuweisen von Lastprofilen	149
16.4.3	Erfassen von Kundendaten	151
16.4.4	Starten der Berechnung	152
16.4.5	Darstellen und Auswerten der Ergebnisse	152
16.5	Anwendungsbeispiel für die Arbeitspunktberechnung	154
16.5.1	Anlegen eines Arbeitspunktes	155
16.5.2	Definieren von Arbeitspunkten	155
16.5.3	Zuordnen von Arbeitspunkten	156
16.5.4	Definieren von Spannungsverläufen durch das Netz	156
16.5.5	Starten der Berechnung	158
16.5.6	Darstellen und Auswerten der Ergebnisse	158
16.6	Anwendungsbeispiel für Lastermittlung	159
16.6.1	Voreinstellen der Berechnungsparameter	160
16.6.2	Erfassen von Messwerten	160
16.6.3	Zuweisen von Messwerten bei allgemeinen Lasten	161
16.6.4	Starten der Berechnung	162
16.6.5	Darstellen und Auswerten der Ergebnisse	162
16.7	Anwendungsbeispiel für die Tap-Zone Ermittlung	165
16.7.1	Voreinstellen der Berechnungsparameter	166
16.7.2	Erfassen von Messwerten	166
16.7.3	Zuweisen der erweiterten Eingabedaten bei allgemeinen Lasten	168
16.7.4	Starten der Berechnung	169
16.7.5	Darstellen und Auswerten der Ergebnisse	169
16.8	Anwendungsbeispiel für Last anschließen	171
16.8.1	Voreinstellen der Berechnungsparameter	172
16.8.2	Erfassen einer neuen Last	173
16.8.3	Starten des Lastanschließens	173
16.8.4	Darstellen und Auswerten der Ergebnisse	174
16.9	Anwendungsbeispiel für PV Kurven	177
16.9.1	Voreinstellen der Berechnungsparameter	178

		Inhalt
16.9.2	Starten der Berechnung der PV Kurven	178
16.9.3	Darstellen und Auswerten der Ergebnisse	180
16.10	Anwendungsbeispiel für Wiederversorgung	180
16.10.1	Voreinstellen der Berechnungsparameter	181
16.10.2	Starten der Wiederversorgung	181
16.10.3	Darstellen und Auswerten der Ergebnisse	183

Inhalt

1. Einleitung Lastfluss

PSS SINCAL Lastfluss stellt ein wirkungsvolles Werkzeug bei der Berechnung des Betriebsverhaltens elektrischer Übertragungs- und Verteilungsnetze dar.

Dieses Handbuch enthält folgende Kapitel:

- Symmetrischer Lastfluss
- Unsymmetrischer Lastfluss
- Lastentwicklung
- Lastprofil
- Arbeitspunkte
- Lastermittlung
- Tap-Zone Ermittlung
- Last anschließen
- PV Kurven
- Wiederversorgung
- Anschlussbedingungen pr

 üfen
- Spezielle erweiterte Berechnungen
- Ergebnisse der Lastflussberechnung
- Konvergenzkontrolle
- Anwendungsbeispiele

Symmetrischer Lastfluss

Mit PSS SINCAL Lastfluss lässt sich der Leistungsfluss von den Generatoren über Leitungen und Transformatoren zu den Leistungsabnehmern (Lasten) ermitteln.

Die PSS SINCAL Lastflussberechnung ist auch für andere PSS SINCAL Komponenten von Bedeutung. Sie wird unter anderem verwendet für:

Ermittlung der Vorbelastung bei

- Kurzschluss
- Sicherungsüberprüfung

Ermittlung der Trennpunkte bei

Optimale Trennstellen

Bestimmung der Kettenmatrix bei

Mehrfachfehler

Bezug des Oberschwingungsstromes auf den Laststrom

Oberschwingungen

Ermittlung der Auslastung

Schutzsimulation

Ermittlung des Anlaufstromes

Motoranlauf

Ermittlung der zeitlichen Belastung

- Lastprofil
- Lastentwicklung

Unsymmetrischer Lastfluss

Mit diesem Berechnungsverfahren können Netze mit unsymmetrischen Betriebsmitteln und unsymmetrischen Übertragungselementen berechnet werden. Hierzu ist eine unsymmetrische Nachbildung des Netzes erforderlich. Zusätzlich zu den Mitsystemdaten sind die Gegen- und Nullsystemdaten notwendig. Weiters ist die Angabe der angeschlossenen Phasen der Netzelemente gefordert. Diese Angabe erfolgt über die Anschlussdaten des jeweiligen Netzelementes.

Die Erfassung und Darstellung des Netzes erfolgt weiterhin einphasig. Aus jedem symmetrisch eingegebenen Netz wird alleine durch Ändern der Anschlussart bei den Anschlussdaten ein unsymmetrisches Netz.

Lastentwicklung

Die Lastentwicklung ist eine erweiterte Form der Lastflussberechnung – jährlich über einen Zeitraum hinweg – mit zeitlich variablen Lastwerten. Dafür werden den Lasten neben ihren Nennwerten auch Laststeigerungen zugeordnet. Weiters wird das Inbetriebnahme- und Stilllegungsdatum bei allen Netzelementen berücksichtigt.

Die Laststeigerung kann über grafische Funktionen, Netzelementgruppen oder verbraucherspezifisch zugeordnet werden. Als Ergebnisse stehen sämtliche Lastflussberechnungen mit Auswertungen nach minimalen und maximalen Werten (z.B. Spannungen oder Auslastungen usw.) zur Verfügung. Diagramme mit Leistungsinformationen und überlastete Zweige werden zusätzlich angeboten.

Als zusätzliche Informationen stehen die verschiedenen Grenzüberschreitungen während des Berechnungszeitraumes zur Verfügung.

Lastprofil

Der Lastprofil ist eine erweiterte Form der Lastflussberechnung mit zeitlich variablen Lastwerten. Dafür werden den Lasten neben ihren Nennwerten auch Verbrauchertypen mit Lastprofilen zugeordnet. Eine Last kann somit über Kundendaten, Jahresverbrauchswerte, Bezugsrechte oder maximale Leistungen vorgegeben werden.

Mit Hilfe von parametrierbaren Funktionen kann die aktuelle Leistung der Lasten auf Grund von Gleichzeitigkeiten zusätzlich angepasst werden. Als Ergebnisse stehen sämtliche berechnete Zeitpunkte zur Verfügung. Diagramme mit Zeitprofilen werden für jeden Knoten und jeden Zweig angeboten.

Als zusätzliche Informationen stehen die verschiedenen Grenzüberschreitungen während des Zeitraumes sowie die Verlustenergie in kWh während des Zeitraumes summiert als Diagramme zur Verfügung.

Arbeitspunkte

Das Ziel der Arbeitspunktberechnung ist die Berechnung des Lastflusses auf Basis von stationären Arbeitspunkten. Dies ermöglicht es, verschiedene stationäre Betriebsfälle gleichzeitig zu berechnen und anschließend zu vergleichen.

Lastermittlung

Die Lastermittlung ist eine erweiterte Form der Lastflussberechnung mit Berücksichtigung von Messwerten. Bei den Messwerten handelt es sich – wie in der Praxis üblich – um maximale Werte. Die Messwerte können bei den allgemeinen Lasten und bei Messpunkten im Netz vorgegeben werden.

Die Lastermittlung justiert die Maximalwerte der allgemeinen Lasten im Netz so, dass sich die Maximalwerte bei den Messpunkten im Zuge der Lastflussberechnung einstellen.

Als zusätzliche Informationen steht die Ausgangs- und Trimmleistung der Lasten zur Verfügung.

Tap-Zone Ermittlung

Die Tap-Zone Ermittlung ist ein spezielles Lastflussverfahren zum Bestimmen von Transformatorstufenstellungen in Abgängen. Dabei wird versucht, die Stufenstellungen der Transformatoren im Abgang so einzustellen, dass die Spannung der versorgten Abnehmer sowohl bei Minimal- als auch bei Maximallast im zulässigen Spannungsband liegt.

Im Wesentlichen ist die Tap-Zone Ermittlung eine Kombination aus einer einfachen Optimierung in Verbindung mit einer Lastermittlung für den minimalen und maximalen Betriebszustand.

Als Ergebnisse der Tap-Zone Ermittlung werden die optimalen Stufenstellungen der Transformatoren sowie die Lastflussergebnisse bei Minimal- und Maximalbelastung zur Verfügung gestellt.

Last anschließen

Das Lastanschließen ist eine erweiterte Form der Lastflussberechnung in lagerichtigen Netzen. Eine isolierte Last wird temporär über verschiedene Punkte im Netz versorgt. Über einen Dialog kann der Umfang der Punkte für den Anschluss der neuen Last parametriert werden.

Als Ergebnisse stehen die Anschlusspunkte, die wichtigsten Auswirkungen auf das Netz, die verwendeten Leitungsdaten sowie die Änderung der Verluste zur Verfügung.

PV Kurven

Die Berechnung der PV Kurven ist ein praktisches Hilfsmittel, um das Verhalten des Netzes bei Steigerung der Belastung an ausgewählten Lasten zu beurteilen. Dabei werden anhand der getroffenen Vorgaben die Abnahmeleistungen schrittweise erhöht und das Verhalten des Netzes durch eine Lastflussberechnung überprüft. Als Ergebnis werden Diagramme bereitgestellt, die das Verhalten des Netzes bei den verschiedensten Belastungspunkten dokumentieren.

Wiederversorgung

Die Wiederversorgung ist eine erweiterte Form der Lastflussberechnung mit variabler Netztopologie. Vom Anwender markierte auszufallende Netzelemente werden zuerst aus dem Netz genommen. Die Wiederversorgung der Abnehmer wird danach durch Schließen von Trennstellen durchgeführt. Sollte das Schließen von Trennstellen keinen gültigen Lastfluss liefern, werden zusätzlich noch die Leistungen der Abnehmer reduziert bzw. Abnehmer abgeworfen.

Als Ergebnisse stehen die durchgeführten Schaltmaßnahmen sowie die reduzierten und abgeworfenen Abnehmer zur Verfügung.

Anschlussbedingungen prüfen

Mit diesem Berechnungsverfahren werden die Anschlussbedingungen für eine Erzeugungsanlage anhand der bdew Richtlinie "Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz – Richtlinie für Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz" überprüft.

Als Ergebnis wird ausgewiesen, ob der Anschluss der Erzeugungsanlage zulässig ist oder ob Richtlinien verletzt wurden. Zusätzlich wird auch ein Word-Dokument bereitgestellt, welches detaillierte Ergebnisse der Prüfung enthält.

Vorgehensweise der Lastflussverfahren

Die Berechnungsmethode Lastfluss ist immer aktiv. Die Daten für den Lastfluss können daher ohne spezielle Einstellungen immer eingegeben werden.

Symmetrische Lastflussberechnung

Es sind folgende Schritte notwendig:

- Eingeben der notwendigen Netzebenen
- Erfassen der Knoten und Netzelemente in den korrespondierenden Netzebenen
- Erfassen einer Einspeisung mit einem Lastflusstyp, der die Spannung und den Spannungswinkel festlegt

Für die Prüfung der Laststromauslösung von Schutzgeräten in der Standard Lastflussberechnung sind zusätzlich folgende Schritte notwendig:

- Aktivieren der Berechnungsmethode Schutzkoordination
- Aktivieren der Pr

 üfung der Lastauslösung bei Schutzkoordination Berechnungsparametern
- Erfassen von Schutzgeräten
- Festlegen der Auf- und Abschläge bei den Netzebenendaten

Für die Erstellung von Spannungsverlaufsdiagrammen sind zusätzlich folgende Schritte notwendig:

- Erfassen einer Netzelementgruppe mit Gruppenart Spannungsverlauf
- Markieren von Knoten für die Diagrammausgabe:
 Es müssen nicht alle Knoten der Strecke markiert werden. Markierte Knoten werden jedoch als Startknoten in den Diagrammen verwendet.

Für die Definition eines Abwurfs sind zusätzlich folgende Schritte notwendig:

- Aktivieren der Berechnungsmethode Zuverlässigkeit
- Aktivieren des Abwurfes bei den einzelnen Netzelementen im Register Zuverlässigkeit der jeweiligen Datenmaske

Unsymmetrische Lastflussberechnung

Für die unsymmetrische Lastflussberechnung muss zuerst das **unsymmetrische Netzmodell** bei den Berechnungsmethoden aktiviert werden.

Danach sind folgende weitere Schritte möglich:

- Eingabe von Gegen- und Nullsystemdaten bei den Netzelementen
- Festlegen der Leiter bei den Netzelementen
- Festlegen der Wicklungen bei den Transformatoren
- Eingeben von Sternpunktimpedanzen

Lastentwicklung

Es sind folgende Schritte notwendig:

- Festlegen des Bezugsdatums der Lasten bei Basisdaten Berechnungsparametern
- Festlegen des Start- und Enddatums bei Lastfluss Berechnungsparametern
- Festlegen des Umfangs der Daten in der Datenbank bei Lastfluss Berechnungsparametern
- Erfassen von grafischen Elementgruppen
- Festlegen von Leistungsverhalten
- Festlegen von Lastpolygonen
- Festlegen von Errichtungs- und Stilllegungszeitpunkt bei den Netzelementen
- Festlegen von Laststeigerungen, gesicherten Leistungen und Zuwachsleistungen
- Zuordnen der Laststeigerungen, gesicherten Leistungen und Zuwachsleistungen

Lastprofil

Es sind folgende Schritte notwendig:

- Festlegen von Startzeit, Dauer und Zeitschritt bei Lastfluss Berechnungsparametern
- Festlegen des Reglerverhaltens während des Lastprofils bei Lastfluss Berechnungsparametern
- Festlegen des Umfangs der Daten in der Datenbank bei Lastfluss Berechnungsparametern
- Festlegen des Umfangs der Diagramme bei Basisdaten Berechnungsparametern
- Markieren von Knoten und/oder Elementen für die Diagrammerstellung
- Festlegen von Lastprofilen
- Zuordnen der Lastprofile

Lastermittlung

Um eine Lastermittlung durchführen bzw. spezielle Daten für die Lastermittlung erfassen zu können, muss zuerst die Berechnungsmethode Lastermittlung und Tap-Zone Ermittlung aktiviert werden.

Danach sind folgende Arbeitsschritte notwendig:

- Eingeben von Messwerten bei den Verbrauchern
- Erfassen von Messwerten auf Zweigelementen

Tap-Zone Ermittlung

Um eine Tap-Zone Ermittlung durchführen bzw. spezielle Daten für die Tap-Zone Ermittlung erfassen zu können, muss zuerst die Berechnungsmethode Lastermittlung und Tap-Zone Ermittlung aktiviert werden.

Danach sind folgende Arbeitsschritte notwendig:

- Eingeben von Messwerten bei den Verbrauchern
- Erfassen von Messwerten auf Zweigelementen
- Zuordnen der Transformatorregler zu den Verbrauchern

Last anschließen

Um das Lastanschließen durchführen zu können, muss im Netz eine isolierte Last vorhanden sein bzw. neu erfasst werden.

Danach sind folgende Arbeitsschritte notwendig:

- Selektieren der isolierten Last
- Öffnen des Kontextmenüs der isolierten Last
- Kontextmenüpunkt Berechnung am Element Last anschließen wählen
- Last anschließen über Dialog parametrieren und starten

PV Kurven

Die folgenden Schritte sind notwendig:

- Selektieren der Lasten, für die eine Laststeigerung zugeordnet werden soll
- Öffnen des Kontextmenüs der Lasten für die Berechnung der PV Kurven
- Kontextmenüpunkt Berechnung am Element PV Kurven wählen

Wiederversorgung

Es sind folgende Schritte notwendig:

- Selektieren der auszufallenden Netzelemente
- Öffnen des Kontextmenüs der auszufallenden Netzelemente
- Kontextmenüpunkt Berechnung am Element Wiederversorgung wählen

Anschlussbedingungen prüfen

Es sind folgende Schritte notwendig:

- Selektieren des anzuschließenden Generators
- Öffnen des Kontextmenüs
- Kontextmenüpunkt Berechnung am Element Anschlussbedingungen prüfen

Berechnung der Netze

Wie rasch die Berechnung eines Netzes abläuft, ist hauptsächlich von vier Faktoren abhängig:

- Netzgröße und Topologie
- Anzahl der geregelten Elemente
- Berechnungsart
- verfügbarer Hauptspeicher

Probleme bei der Lastflussberechnung

Netze können so am Computer dargestellt werden, dass das Lastflussproblem nicht lösbar ist. Die Eingabedaten müssen dann umgeformt werden, um eine Lösung erreichen zu können, z.B.

- Umwandlung von spannungsunabhängigen Lasten in spannungsabhängige Lasten
- Umwandlung von geregelten Elementen in nicht geregelte Elemente
- Fixierung der Spannung an einem Netzpunkt durch einen entsprechenden Generator auf einen festen Wert
- Verringerung von zu viel eingespeister Blindleistung im Netz
- Herabsetzen der zu erreichenden Genauigkeit

Dies sind nur einige Hinweise. Für den konkreten Einzelfall muss jeweils aufs Neue überlegt werden, welche Maßnahmen anzuwenden sind, um für ein nicht lösbares Lastflussproblem doch noch eine Lösung zu finden.

Abbildung der Netze für die Berechnung

Die Darstellung der Netze zur Berechnung wird im Kapitel Netzdarstellung des Eingabedaten Handbuches genau beschrieben.

Zielvorgabe

Das Ziel einer Lastflussrechnung ist, aufgrund gegebener Leistungen oder Spannungen der Knotenelemente die Strom- und Spannungsverteilung (Lastfluss) im Netz zu errechnen.

Eingabe	Ergebnis
P, Q	U , φ
P, U	Q, φ
U , φ	P, Q

P ... Wirkleistung

Q ... Blindleistung

U ... Absolutwert der Spannung

φ ... Phasenwinkel der Spannung

1.1 Netznachbildung

Das Netz besteht aus Knoten, die untereinander durch Leitungen und Transformatoren verbunden sind.

Die Zweige werden mit π -Gliedern nachgebildet, wobei das symmetrische, dreiphasige Netz (mit potentialfreiem Sternpunkt) auf ein einphasiges Modellnetz umgerechnet wird. Ströme, Spannungen und Impedanzen werden auf die Nennspannung bezogen (leistungsinvariant).

Die Leitung als Vierpol

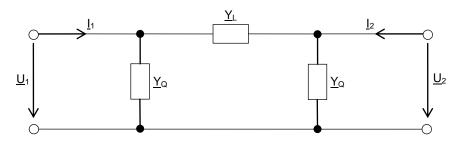


Bild: π-Ersatzschaltbild der Leitung

$$\underline{Y}_{L} = \frac{1}{(R + j\omega L) * I} * U_{N}^{2}$$

$$\underline{Y}_Q = \frac{(G' + j\omega C)*I}{2}*U_N^2$$

Die Beziehung zwischen den komplexen Strömen und Spannungen wird durch die Vierpolgleichungen hergestellt.

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{Y}_L & + & \underline{Y}_Q & & - & \underline{Y}_L \\ & - & \underline{Y}_L & & \underline{Y}_L & + & \underline{Y}_Q \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \end{bmatrix}$$

Der Transformator als Vierpol

Für Transformatoren wird folgendes Modell verwendet:

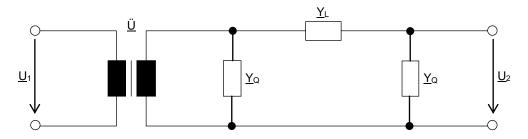


Bild: π-Ersatzschaltbild der Transformatoren

$$\begin{split} & \underline{Y}_{L} = \left[\frac{U_{Netz2}}{U_{Trafo2}} \right]^{2} * 100 * \frac{S_{N}}{U_{R} + j \sqrt{\left(U_{K}^{2} - U_{R}^{2}\right)}} \\ & \underline{Y}_{Q} = \frac{1}{2} * \left[\frac{U_{Netz2}}{U_{Trafo2}} \right]^{2} * \left(v_{Fe} * 10^{-3} - j * \sqrt{\left(i_{0} * 10^{-2} * S_{N}\right)^{2} - \left(v_{Fe} * 10^{-3}\right)^{2}} \right) \\ & \underline{\ddot{U}} = \frac{U_{Trafo1}}{U_{Netz1}} * \frac{U_{Netz2}}{U_{Trafo2}} * (1 + u_{z} * (cosa + j * sina)) \end{split}$$

Die Vierpolgleichung lautet hier:

$$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{\underline{Y}_L + \underline{Y}_Q} & & -\underline{\underline{Y}_L} \\ \underline{\underline{\ddot{U}}}^* * \underline{\underline{\ddot{U}}}^* & & \underline{\underline{\ddot{U}}}^* \\ \underline{\underline{Y}_L} & & \underline{\underline{Y}_L + \underline{Y}_Q} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \underline{\underline{U}}_1 \\ \underline{\underline{U}}_2 \end{bmatrix}$$

Für die Lastflussberechnung ergibt sich damit folgendes Ersatzschaltbild:

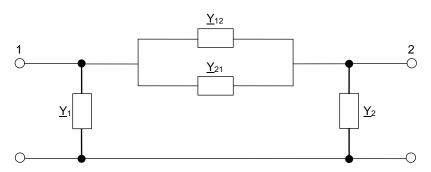


Bild: π-Ersatzschaltbild für Matrixaufbau

$$\underline{Y}_{1} = \underline{Y}_{L} \left[\frac{1}{\underline{\ddot{U}} * \underline{\ddot{U}}^{*}} - \frac{1}{\underline{\ddot{U}}^{*}} \right] + \underline{Y}_{Q} * \frac{1}{\underline{\ddot{U}} * \underline{\ddot{U}}^{*}}$$

$$\underline{Y}_{2} = \underline{Y}_{L} \left[1 - \frac{1}{\underline{\ddot{U}}} \right] + \underline{Y}_{Q}$$

$$\underline{Y}_{12} = \underline{Y}_{L} * \frac{1}{\underline{\ddot{U}}}$$

$$\underline{Y}_{21} = \underline{Y}_{L} * \frac{1}{\underline{\ddot{U}}^{*}}$$

Netzknotenpunkt

Gemäß der im Bereich der Netzplanung üblichen Aufgabenstellung unterscheidet man folgende Knotentypen:

Тур	bekannt	unbekannt	Funktionen
Slackknoten	U , φ	P, Q	Bilanzknoten
PU-Knoten	P, U	Q, φ	Generator
PQ-Knoten	P, Q	U , φ	Generator oder Verbraucher

Die am Knoten liegenden Lasten und Generatoren werden als Summenleistungen zusammengefasst.

1.2 Lastnachbildung

Die Lasten werden in den Knoten konzentriert. Das Verhalten der Last kann individuell über die Lastflusstypen festgelegt werden.

Z konstant

Die Abnahme der Leistung erfolgt quadratisch mit der Spannung.

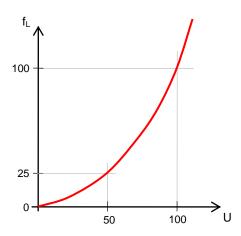


Bild: Spannungsabhängige Lastabnahme

U ... Knotenspannung in [%] f_L ... Faktor für Leistung in [%]

P und Q konstant

Die Abnahme der Leistung erfolgt unabhängig von der Spannung.

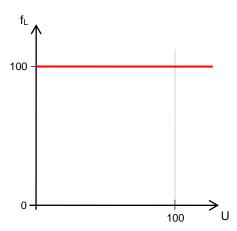


Bild: Konstante Lastabnahme

U ... Knotenspannung in [%]

f_L ... Faktor für Leistung in [%]

I konstant

Die Abnahme der Leistung erfolgt proportional zur Spannung.

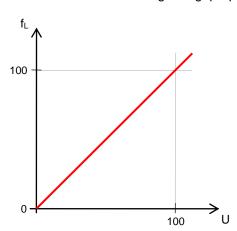


Bild: Spannungsabhängige Lastabnahme

U ... Knotenspannung in [%]

f_L ... Faktor für Leistung in [%]

P und Q begrenzt

Die Abnahme der Leistung erfolgt unabhängig für Spannungen über der Spannungsgrenze für die Lastreduktion. Für Spannungen unter der Spannungsgrenze ist die Ermittlung des Reduktionsfaktors anhand des folgenden Diagrammes ersichtlich.

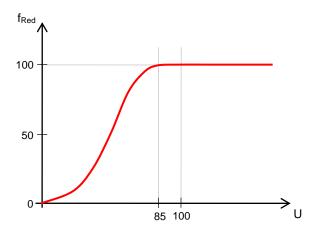


Bild: Kennlinienabhängige Leistungsreduktion

U ... Knotenspannung in [%]

f_{Red} ... Spannungsgrenze für die Lastreduktion (z.B.: 85) in [%]

I begrenzt

Die Abnahme der Leistung erfolgt proportional zur Spannung für Spannungen über 50 Prozent. Für Spannungen unter 50 Prozent ist die Ermittlung des Reduktionsfaktors anhand des folgenden Diagrammes ersichtlich.

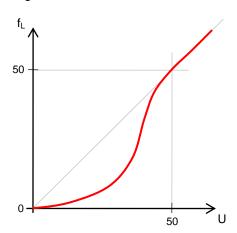


Bild: Spannungsabhängige Lastabnahme

U ... Knotenspannung in [%]

 f_L ... Faktor für Leistung in [%]

1.3 Abwurf

Im Falle eines bevorstehenden Netzzusammenbruches müssen Lasten vom Netz abgeworfen werden, um nach Möglichkeit einen Notbetrieb aufrechterhalten zu können. In großen Städten gibt es hierfür eigene Notfallpläne für den Abwurf. Die Lasten werden dabei je nach Wichtigkeit für die öffentliche Sicherheit abgeworfen (üblicherweise Straßenbeleuchtung und einfache Haushaltskunden vor U-Bahn Stationen und Krankenhäusern).

Durch die Marktliberalisierung gibt es mittlerweile Energielieferverträge, die auch kurzzeitige Unterbrechungen zum Netz zulassen. Der Energieversorger kann dies nutzen, um die Leistung im Netz zu steuern und dadurch einen regulären Netzbetrieb aufrecht zu erhalten.

Für diese beiden Fälle gibt es in PSS SINCAL den spannungsabhängigen Abwurf und den leistungsabhängigen Abwurf.

Für beide Arten des Abwurfes wird den Elementen eine Last- bzw. Einspeisepriorität zugeordnet. Sollte ein Abwurf notwendig sein, so erfolgt der Abwurf gestaffelt nach Priorität.

1.3.1 Spannungsabhängiger Abwurf

Bei aktiviertem spannungsabhängigem Abwurf werden Lasten, DC-Einspeisungen, etc. abgeworfen, an deren Anschlussknoten die bei den Berechnungsparametern Lastfluss angegebenen Spannungsgrenzen nicht erfüllt sind. Das Element mit der aktuell niedrigsten Priorität, an deren Anschlussknoten die größte Spannungsverletzung auftritt, wird abgeworfen.

Der Abwurf erfolgt dabei einzeln Element für Element. Nach jedem einzelnen Abwurf wird die Spannung durch eine Lastflussrechnung neu bestimmt.

Prinzipieller Ablauf für spannungsabhängigen Abwurf

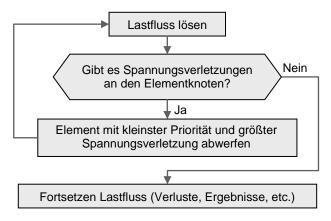


Bild: Ablaufdiagramm

Die Spannungsgrenze für den Abwurf ist bei den Lastfluss Berechnungsparametern unter **Untergrenze Spannung** und **Obergrenze Spannung** anzugeben. Werden trotz erweiterter Impedanzlastumwandlung die Spannungsgrenzen verletzt, werden Abnehmer komplett aus dem Netz genommen.

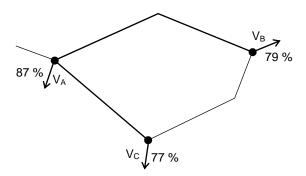


Bild: Netzausschnitt mit Spannungen bei Abwurf

Bei einer Vorgabe von 80 % für die untere Spannungsgrenze tritt im obigen Netzausschnitt eine Verletzung der Spannungsgrenze in zwei Knoten auf, da die Abnehmer V_B und V_C an einem Knoten mit einer Spannung kleiner 80 Prozent angeschlossen sind. Dieser Netzzustand ist nicht direkt in Form von Lastflussergebnissen verfügbar. Der Abnehmer V_C liegt am Knoten mit der kleineren Spannung und wird daher zuerst abgeworfen, um wieder zu einem gültigen Betriebszustand zu gelangen.

1.3.2 Leistungsabhängiger Abwurf

Bei aktiviertem leistungsabhängigem Abwurf erfolgt dieser erst dann, wenn die Leistungsgrenzen der Einspeisungen oder die Vorgaben für die Transferleistung der Netzbereiche nicht eingehalten werden können.

Im ersten Schritt wird daher versucht, die Leistung durch die einzelnen Einspeisungen aufzubringen. Erst wenn dies nicht möglich ist, werden Elemente abgeworfen, um die vorgegebenen Leistungsgrenzen oder Transferleistungen zu erfüllen.

Der Abwurf erfolgt dabei getriggert nach der Leistungsverletzung. Es werden so viele Elemente abgeworfen, bis die Leistungsverletzung kompensiert ist. Danach wird die Leistungsverteilung durch eine Lastflussrechnung neu bestimmt.

Im Netz kann sowohl zu viel als auch zu wenig Leistung sein. Ist zu wenig Leistung im Netz, werden Abnehmer (Lasten, Synchron- und Asynchronmaschinen im Motorbetrieb, etc.) abgeworfen. Ist zu viel Leistung im Netz, werden Einspeisungen (DC-Einspeisungen, Synchronund Asynchronmaschinen im Generatorbetrieb, etc.) abgeworfen.

Prinzipieller Ablauf für leistungsabhängigen Abwurf

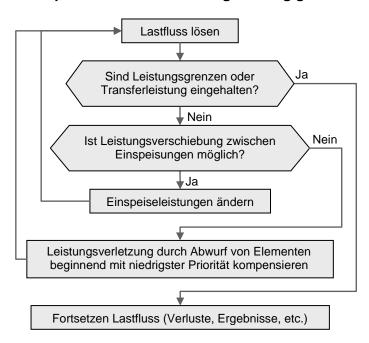


Bild: Ablaufdiagramm

Ist der leistungsabhängige Abwurf bei Netzelementen aktiviert, so werden diese bei erweiterter Reglung (Lastfluss Berechnungsparameter) und Verletzung der Leistungsgrenzen komplett aus dem Netz genommen.

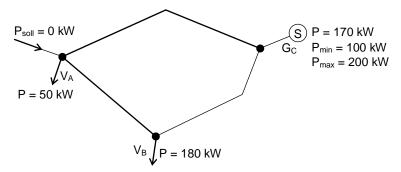


Bild: Netzausschnitt mit Leistungen und Leistungsgrenzen laut Benutzerangabe

Die Sollleistung auf der Versorgungsleitung ist mit Null angegeben. Der Netzausschnitt (Micro Grid) soll somit ohne Zukauf von Leistung versorgt werden. Wie aber leicht zu erkennen ist, kann aufgrund der Benutzerangaben die Leistung im Netzausschnitt nicht durch die Einspeisung abgedeckt werden.

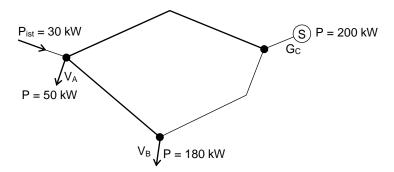


Bild: Netzausschnitt mit Leistungen bei Abwurf

Dieser Netzzustand ist nicht direkt in Form von Lastflussergebnissen verfügbar. Die Leistungsverletzung (Mangel) auf der Versorgungsleitung beträgt 30 kW. Die Leistung im Netzausschnitt muss daher um 30 kW reduziert werden.

Unter der Annahme, dass der Verbraucher V_A die geringste Priorität hat und sich an der Leistungsreglung beteiligt, wird dieser abgeworfen. Die 50 kW des Verbrauchers reichen aus, um die Leistungsverletzung von 30 kW zu kompensieren. Es ist daher kein weiterer Abwurf notwendig.

Durch den Abwurf ergibt sich eine Leistungsverletzung (Überschuss) von 20 kW. Dieser Leistungsüberschuss kann über die Reduktion der Leistung der Einspeisung kompensiert werden.

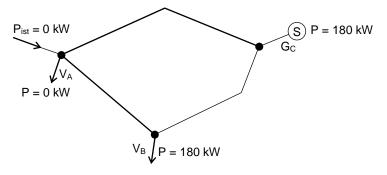


Bild: Netzausschnitt mit Lastflussergebnis

Das Ziel, den Netzausschnitt ohne Zukauf von Leistung zu betreiben, ist daher mittels Abwurf eines einzigen Verbrauchers möglich.

1.4 Spannungsabhängige Blindleistungsregelung

Bei dezentralen Einspeisungen tritt in der Praxis häufig eine zu hohe Spannung auf. Netzbetreiber verlangen daher von externen dezentralen Einspeisungen, sich an der Spannungshaltung im Netz zu beteiligen.

Bei normaler Betriebsspannung U_N speisen die dezentralen Einspeisungen üblicherweise mit einem Leistungsfaktor (cosphi) von nahezu 1,0 nur Wirkleistung ins Netz. Ab einer vorgegebenen Spannung U1 muss die dezentrale Einspeisung beginnen, den Leistungsfaktor zu reduzieren. Bis zu einer vorgegebenen Spannung U2 muss die dezentrale Einspeisung den Leistungsfaktor auf den vom Netzbetreiber vorgegebenen induktiven Wert (üblicherweise 0,95) reduziert haben. Für Spannungen über U2 muss die dezentrale Einspeisung den vorgegebenen induktiven Leistungsfaktor konstant halten.

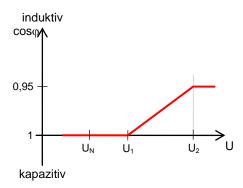


Bild: Leistungsfaktor als Funktion der Spannung

Die Reduktion des Leistungsfaktors erfolgt durch Abnahme von Blindleistung. Diese Abnahme bewirkt einen um 90 Grad gedrehten zusätzlichen Spannungsabfall im Netz. Die Spannung am Anschlussknoten wird dadurch reduziert.

2. Symmetrischer Lastfluss

Jedes Lastflussproblem führt zu einem nichtlinearen Gleichungssystem, dessen Lösung nur durch iterative Methoden, wie etwa die lineare Stromiteration oder die Newton Raphson-Methode, möglich ist. In PSS SINCAL wurden beide Verfahren realisiert und können wahlweise verwendet werden.

Es werden dabei alle aktiven Netzelemente (Generatoren, Lasten) durch Strom- und Spannungsquellen nachgebildet, die dann in das Netz einspeisen.

Zunächst resultieren die Ströme und Spannungen im Netz aus den gegebenen Strom- und Spannungsquellen. Die Iteration besteht nun darin, Ströme und Spannungen der Quellen so lange zu verbessern, bis die geforderten Leistungen mit hinreichender Genauigkeit erreicht sind.

Die Berechnung der Ströme und Spannungen bei jedem Iterationsschritt führt zu einem linearen Gleichungssystem, welches nach Gauß gelöst wird.

Prinzipieller Rechnungsablauf symmetrischer Lastfluss

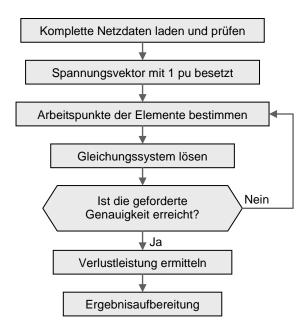


Bild: Ablaufdiagramm

Das Lastflussprogramm stellt ein wichtiges Werkzeug zur Beurteilung von Netzstrukturen und Belastungszuständen dar. Es dient in gleicher Weise für Betriebsuntersuchungen und zur Unterstützung der Ausbauplanung. Wahlweise kann mit Newton Raphson oder mit dem Stromiterationsverfahren gearbeitet werden.

Ziel einer Lastflussberechnung ist, aufgrund vorgegebener Abnahmeleistungen an Knoten die daraus resultierenden Spannungen und Ströme im Netz zu errechnen und somit Varianten ausarbeiten zu können, um eine möglichst zielführende und optimierte Planung eines Versorgungsnetzes zu gewährleisten.

Die Auswertungsmöglichkeiten dienen der Ausgabe von Strom, Spannung und Leistung für Knoten und Zweige, der Darstellung für die Auslastung von Leitungen und Transformatoren und der Auswertung von Netzverlusten und Regelstufen für Transformatoren.

Bei der Lastflussberechnung können Ströme, Spannungen sowie Betriebspunkte von Regeleinrichtungen in beliebig vermaschten Netzen berechnet werden. Alle Netzdaten werden auf logische und topologische Plausibilität geprüft.

2.1 Berechnungsverfahren

Die Aufgabe eines Lastflussprogrammes ist, bei gegebenen Daten eines Verbundnetzes und gegebenen Einspeise- und Belastungsdaten sämtliche Spannungen, Ströme und aus diesen auch die Leistungen des Netzes zu berechnen. Die Einspeise- und Belastungsdaten können in zwei Gruppen eingeteilt werden, und zwar in:

- Daten für Generatoren
- Daten f
 ür Lasten

Daten für Generatoren

Dort sind die Beträge der Spannungen U_i (jedoch nicht deren Winkel) und die Wirkleistungen P_i vorgegeben. Eine Ausnahme bildet der Slackgenerator. Für ihn wird nur die Spannung U (meist mit einem Winkel von 0°) vorgegeben. Er dient dazu, die Bilanzfehler zu übernehmen. Es ist auch der Fall mehrerer Slackgeneratoren denkbar. "Generator" soll hier jedoch nicht in dem Sinn verstanden sein, dass die Einspeisewirkleistung immer $P_i > 0$ sein müsste. Es ist auch $P_i < 0$ zugelassen. Generatoren können aber auch über die Wirkleistung P_i und Blindleistung Q_i eingegeben werden.

Daten für Lasten

Dort sind die Wirkleistungen P_i und Blindleistungen jQ_i und damit auch die komplexen Leistungen $S_i = P_i + jQ_i$ vorgegeben. Auch in diesem Fall soll "Last" nicht unbedingt heißen, dass die Einspeiseleistung $P_i < 0$ sein muss. An einem Lastpunkt kann die Leistung auch $P_i \ge 0$ sein. Es ist auch eine Lastnachbildung mit konstanten Impedanzen möglich.

In den vorliegenden Lastflussprogrammen werden die Vorteile mehrerer Verfahren vereinigt.

2.2 Das Lastflussproblem

Muss ein schnelles Lösungsverfahren angewendet werden, so wird die Newton Raphson-Lastflusssimulation bzw. das Stromiterationsverfahren eingesetzt.

In einem N-Knoten Netz lassen sich N-Gleichungen angeben, die die komplexen Knotenspannungen mit den komplexen Einspeiseleistungen verknüpfen:

$$\underline{S}_i = P_i + jQ_i = \underline{U}_i * \sum_{k=1}^{N} \left(\underline{Y} 3_{ik}^* * U_k^*\right)$$

Damit wird jeder Knoten durch vier Größen charakterisiert: Wirk- und Blindeinspeisung sowie Winkel und Betrag der Knotenspannung. Sind je zwei dieser Größen vorhanden, lassen sich die Unbekannten mit Hilfe obiger Gleichung errechnen. Die Übersetzungsverhältnisse von Transformatoren werden in den Admittanzen berücksichtigt.

Bei den Lastflussproblemen werden die drei Knotentypen unterschieden.

PQ-Knoten

Wirkleistung und Blindleistung sind bekannt. Dieses Objekt dient sowohl zur Verbrauchernachbildung, als auch zur Generatordarstellung.

PU-Knoten

Wirkleistung und Spannungsbetrag sind bekannt. Dieses Objekt dient zur Generatordarstellung.

Slackknoten

Spannungsbetrag und -winkel werden vorgegeben. Er dient zum Zweck der Leistungsbilanzierung.

Das Problem besteht nun darin, die noch nicht festgelegten Spannungsbeträge und -winkel so zu bestimmen, dass die vorgegebenen Sollwerte übereinstimmen.

Unabhängige Variablen

Es wird angenommen, dass die Wirkleistung im elektrischen Energieübertragungssystem bereits nach globalen Kriterien (z.B. durch wirtschaftliche Lastaufteilung nach der Zuwachsmethode) festgelegt wurde.

Frei veränderlich innerhalb ihrer Grenzen bleiben folgende Größen:

Wirkleistung P

Slackknoten

Blindleistung Q

- PU-Knoten
- Slackknoten

Spannungsbetrag U

PQ-Knoten

Stufenstellung

Regeltransformatoren

Die Stufenstellung der Transformatoren wirkt auf die Admittanzen des Ersatzschaltbildes. Alle Größen werden entweder kontinuierlich oder diskret als Stufenstellung verändert.

Abbildung auf die Lastflussberechnung

Für die Lastflussberechnung ergibt sich folgende Abbildung:

PQ-Knoten

Eine Änderung der Wirk- oder Blindleistung hat keinen Einfluss auf die Funktionalmatrix.

PU-Knoten

Die Wirkleistung und der Spannungsbetrag sind bekannt. Die Spannungsbetragsdifferenz ist damit gleich Null. Um die Dimension der Matrix nicht zu verringern, werden die Nebendiagonalelemente und die Blindleistungsdifferenz gleich Null, das Hauptdiagonalelement gleich Eins gesetzt.

Slackknoten

Der Spannungsbetrag und der Spannungswinkel sind bekannt. Über die Wirkleistungs- und Blindleistungsdifferenz kann keine Aussage getroffen werden, da die Einspeiseleistung unbekannt ist. Der Knoten bleibt daher in der Funktionalmatrix unberücksichtigt.

Regeltransformatoren

Eine Änderung der Transformatorübersetzung bewirkt eine Änderung der Quer- und Längsadmittanzen im Trafozweig und damit sowohl bei Längs- als auch bei Schrägregelung eine Änderung der Funktionalmatrix.

2.3 Das Verfahren der Stromiteration

Nach Einlesen und Aufspannen der Daten und einigen Hilfsrechnungen wird jene Netzmatrix bestimmt, die am einfachsten zu bilden ist und den geringsten Speicherbedarf hat. Die Knotenpunkts-Admittanzmatrix Y ist partitioniert nach Generator- und Lastknotenpunkten gemäß

$$\underline{Y} = \begin{bmatrix} \underline{Y}_{GG} \underline{Y}_{GL} \\ \underline{Y}_{LG} \underline{Y}_{LL} \end{bmatrix}$$

Dabei gilt der Matrix-Index G für Generatoren mit $i = 1 \dots g$ und der Matrix-Index L für Lasten mit $i = (g + 1) \dots (g + l)$. Die Knotenpunkts-Admittanzmatrix besteht aus den Elementen y_{ik} . Für sie gilt, dass y_{ik} außerhalb der Hauptdiagonale ($i \neq k$) gleich der negativen Summe aller Admittanzen zwischen den Knoten i und k ist (das sind also die Längsadmittanzen der Leitungen und die Streuadmittanzen der Transformatoren); in der Hauptdiagonale (i = k) ist y_{ii} gleich der Summe aller mit dem Knoten i verbundenen Admittanzen.

Hierbei gehen die Leitungskapazitäten nicht in die Knotenpunkts-Admittanzmatrix über, sondern werden als zusätzliche Ladeblindleistung in die Einspeiseleistungen der Knotenpunkte mit einbezogen. Auch die Transformatoren werden, soweit ihre Übersetzungsverhältnisse vom Nenn-Übersetzungsverhältnis abweichen, durch Zusatzströme oder -leistungen berücksichtigt.

Das Stromiterations-Verfahren ist insofern vorteilhaft, als es gestattet, Übersetzungsverhältnisse in jedem Iterationsschritt zu ändern, was aber große Schwierigkeiten bereitet, wenn man diese Übersetzungsverhältnisse direkt in die Matrix einarbeitet.

Ui	Neuwert der Spannungen an den Generatoren oder Lasten,		
·	$\underline{U}_{i} = U_{i} e^{j\vartheta i}$		
l _i	Neuwert der Ströme an den Generatoren oder Lasten		
Ũ _i , Ĩ _i	Altwerte der Spannungen und Ströme an den Generatoren oder Lasten mit		
l' I	i = 1 g, g + 1 g + l. Dabei ist g die Anzahl der Generatoren und l die Anzahl der Lasten		
P _i	Wirkleistungen an den Generatoren und Lasten: positiv, wenn Einspeisung vorliegt		
Q _i	Blindleistung an den Generatoren und Lasten: positiv, wenn Magnetisierungsblindleistung eingespeist wird		
$\underline{S}_i = P_i + jQ_i$	Komplexe Leistung		
U _I ,U _{II}	Primär- und Sekundärspannung		
$y_0 = \frac{1}{R_0 + jX_0}$	Streuadmittanz		
1:w	Vom Nennübersetzungsverhältnis abweichendes Übersetzungsverhältnis (Regelübersetzungsverhältnis) eines Transformators (w kann auch komplex sein)		
ρ	Iterationsindex		
	$ \begin{aligned} u_G &= \begin{bmatrix} U_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ U_g \end{bmatrix} & i_G &= \begin{bmatrix} I_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ I_g \end{bmatrix} \\ u_L &= \begin{bmatrix} U_{g+1} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ U_{g+1} \end{bmatrix} & i_L &= \begin{bmatrix} I_{g+1} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ I_{g+1} \end{bmatrix} \end{aligned} $		
	$\mathbf{u} = \begin{bmatrix} \mathbf{U}_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \mathbf{U}_{g+1} \end{bmatrix} \mathbf{i}_{\mathbf{G}} = \begin{bmatrix} \mathbf{i}_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \mathbf{i}_{g+1} \end{bmatrix}$		
Y	Knotenpunkts-Admittanzmatrix kann partitioniert werden nach Generatorund Lastknotenpunkten gemäß $ \begin{bmatrix} i_G \\ i_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{Y}_{GG} & \underline{Y}_{GL} \\ \underline{Y}_{LG} & \underline{Y}_{LL} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_G \\ u_L \end{bmatrix} $		

Bild: Zusammenstellung der benutzten Symbole

Um ähnlich wie mit Hybridmatrizen-Verfahren vorgehen zu können (ohne die Nachteile vollbesetzter Matrizen), wird im Gegensatz zum Hybridansatz kein Variablentausch angewendet (was ja die Matrix sehr bald auffüllen würde). Es wird auch nicht das Gleichungssystem wie bei Carpentier und Canal in jeder Iterationsstufe neu aufgelöst, sondern, da die Matrix selbst sich nicht ändert, nur einmal eine Dreiecksfaktorisierung nach Gauß-Banachiewicz durchgeführt. Die in der Iteration sich ändernden rechten Seiten und die dadurch notwendige Ermittlung der Unbekannten kann durch zweimaliges Aufrollen gewonnen werden. Hierbei bleibt der obere Teil der Matrix

$$(\underline{Y}_{GG}, \underline{Y}_{GI})$$

unverändert.

Aufrollen der Matrix

Unter Aufrollen versteht man hier erstens die Ermittlung des Hilfsvektors i_L aus

$$\underline{B}_{LL}u_{L}=i_{L},$$

was wegen der unteren Dreiecksmatrix ohne Inversion möglich ist (da in dem Gleichungssystem von oben beginnend immer nur eine Unbekannte auftritt) und zweitens die Ermittlung des Vektors \mathbf{u}_{2L} aus

$$\underline{C}_{LL}u_{L} = I_{L} - \underline{C}_{LG}u_{G}$$

was gleichfalls wegen der oberen Dreiecksmatrix ohne Inversion möglich ist (da in diesem Gleichungssystem von unten beginnend immer nur eine Unbekannte auftritt).

Die Dreiecksfaktorisierung

Zur Faktorisierung wird jedoch zuvor die Strategie von Carpentier und Canal ermittelt. Die optimale Strategie besteht darin, dass in jedem Eliminationsschritt jeweils diejenige Unbekannte eliminiert wird, für welche die verbleibende Matrix die kleinste Anzahl von Null verschiedener Elemente ergibt.

Ist die Faktorisierung abgeschlossen, erfolgt im nächsten Schritt die Zerlegung nach Banachiewicz, sodass die Untermatrix \underline{Y}_{LG} wie die rechten Seiten des Gleichungssystems behandelt werden. Die Faktorisierung erfolgt gemäß:

$$(\underline{Y}_{LG},\underline{Y}_{LL}) = \underline{B}_{LL}(\underline{C}_{LG},\underline{C}_{LL})$$

Hierbei ist

$$\underline{B}_{LL} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & ... & 0 \\ b_{l+2,l+1} & 1 & 0 & ... & 0 \\ b_{l+3,l+1} & b_{l+3,l+2} & 1 & ... & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{l+g,l+1} & b_{l+g,l+2} & b_{l+g,l+3} & ... & 1 \end{bmatrix}$$

eine untere Dreiecksmatrix, die im Allgemeinen auch schwach besetzt ist, und

$$\underline{C}_{LL} = \begin{bmatrix} c_{l+1,l+1} & c_{l+1,l+2} & c_{l+1,l+3} & \cdots & c_{l+1,l+g} \\ 0 & c_{l+2,l+2} & c_{l+2,l+3} & \cdots & c_{l+2,l+g} \\ 0 & 0 & c_{l+3,l+3} & \cdots & c_{l+3,l+g} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & c_{l+g,l+g} \end{bmatrix}$$

eine obere Dreiecksmatrix, die im Allgemeinen ebenfalls schwach besetzt ist.

Gegenstand der Iteration ist das Gleichungssystem:

$$(\underline{Y}_{GG}\underline{Y}_{GL}) \qquad \qquad \begin{bmatrix} u_G \\ u_L \end{bmatrix} = i_G$$

$$\underline{B}_{LL}(\underline{C}_{LG}\underline{C}_{LL}) \qquad \begin{bmatrix} u_G \\ u_L \end{bmatrix} = i_G$$

Die Iteration wird damit begonnen, dass für die Generatorspannungen die Sollwerte (und zwar die Betragswerte, da die Winkel noch unbekannt sind)

$$u_{G} = \begin{bmatrix} U_{1soll} \\ U_{gsoll} \end{bmatrix}$$

eingeführt werden und für die Lastspannungen die Nennspannungen. Rechnet man mit relativen Größen, wobei die Nennspannung U_N die Bezugsgröße ist, so ist

$$\mathbf{u}_{\mathbf{L}} = \left[\begin{array}{c} \mathbf{1} \\ \vdots \\ \mathbf{I} \end{array} \right]$$

einzusetzen. Da die Ladeblindleistungen in der Matrix nicht berücksichtigt wurden, müssen sie jetzt in den Knotenleistungen und zwar nur bei den Lasten berücksichtigt werden. Zu den Vorgabewerten der komplexen Scheinleistungen S_{isoll} sind so die Ladeblindleistungen aller mit dem i-ten Knoten verbundenen Leitungen folgendermaßen hinzuzuaddieren:

$$S_{i} = S_{isoII} + \frac{j * \omega * C_{ik}}{2} * \left| U_{i} \right|^{2}$$

Liegt in einem abgehenden Zweig des betreffenden Knotens ein Transformator, so ergeben sich abhängig von Übersetzungsverhältnis und von Primär- und Sekundärspannung komplexe Zusatzleistungen. Diese sind auf der **ungeregelten Seite** gegeben durch die Gleichung

$$\Delta S_1 = U_1 U_{11}^* y_a^* \left(1 - \frac{1}{W^*} \right)$$

mit

$$y_a = \frac{1}{R_a + jX_a}$$

Auf der geregelten Seite ergibt sich

$$\Delta S_1 = U_1^* U_{11} y_a^* \left(1 - \frac{1}{W^*} \right) + U_1^{*2} y_a^* \left(\frac{1}{W^2} 1 \right)$$

Beim Ausdrucken der Ergebnisse sind diese Zusatzleistungen wieder zu subtrahieren, dafür aber jetzt den jeweiligen Zweigleistungen hinzuzuaddieren.

Für die Ströme werden folgende Anfangswerte angeführt:

$$l_i = 0$$
 $i = 1...g$

d.h. die Generatorströme werden vorerst gleich Null gesetzt;

$$I_{i} = \frac{S_{i}^{*}}{U_{i}^{*}} = S_{i}^{*}$$
 $i = g+1...g+1$

d.h. die Lastströme werden so eingeführt, dass sie bei den angenommenen Spannungen $(U_j, V_N=1)$ die angegebenen komplexen Leistungen liefern.

Nun wird der Iterationsindex um 1 erhöht, also

$$\rho = \rho + 1$$

und dabei werden gleichzeitig die jeweils berechneten Werte für die Ströme auf Reservestellen gegeben. Damit hat man die Möglichkeit, entsprechend den jeweiligen Konvergenzfaktoren χI und χc für die Spannungsverbesserungen Korrekturen anzubringen und dabei einen jeweils günstigen Konvergenzfaktor wählen zu können. Außerdem benötigt man für die Beurteilung der errechneten Genauigkeit die Differenz zwischen dem alten und dem neuen Wert der Spannungen. Die jeweils mit einer Tilde (~) versehenen Größen sind Altwerte.

Die Umspeicherung entspricht den folgenden Gleichungen:

$$\tilde{I}_i = I_i$$
 $i = 1...g+I$

$$\tilde{U}_i = U_i$$
 $i = 1...g+I$

Aufgelöst wird jetzt die Matrizengleichung, in der außer den Matrizen die Vektoren u_G und i_L bekannt sind, sodass u_L ermittelt werden kann. Dies geschieht in zwei Schritten.

Es ist der Zwischenvektor j_L gemäß

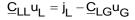
$$(\underline{C}_{LG},\underline{C}_{LL})$$
 $\begin{bmatrix} u_G \\ u_I \end{bmatrix} = i_L$

eingeführt. Dann ist

$$\underline{\mathbf{B}}_{\mathbf{L}\mathbf{L}}\mathbf{j}_{\mathbf{L}}=\mathbf{i}_{\mathbf{L}}$$

Da i_L bekannt ist und \underline{B}_{LL} eine untere Dreiecksmatrix ist, kann das System von oben her **aufgerollt** werden, d.h. beginnend mit der ersten Gleichung, die nur eine Unbekannte enthält, ermittelt man die erste Unbekannte. Da diese nun bekannt ist, kann sie in die erste Gleichung eingesetzt werden. Hierdurch hat auch die zweite Gleichung nur eine Unbekannte usw.

Die Gleichung zur Berechnung von j_L kann man umformen und erhält dann



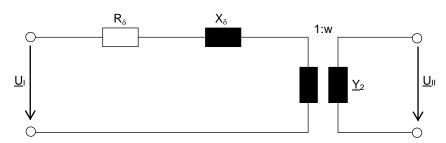


Bild: Trafo-Ersatzschaltbild mit dem Übersetzungsverhältnis 1:w

Nun ist \underline{C}_{LL} eine obere Dreiecksmatrix. Die rechten Seiten des Gleichungssystems sind bekannt und die Unbekannten des Vektors \underline{u}_L können ähnlich wie zuvor durch Aufrollen, doch diesmal von unten her, gewonnen werden. Der Auflösungsprozess ist durch die entsprechenden Inversen

$$\underline{B}_{LL}^{-1}$$
 und \underline{C}_{LL}^{-1}

dargestellt, doch soll das nicht heißen, dass diese Inversen tatsächlich berechnet werden, sondern die Auflösung soll, wie soeben beschrieben, durch Aufrollen geschehen.

Die Gleichung für i_G liefert durch Ausmultiplizieren neue Werte für die Ströme

$$i_G = (\underline{Y}_{GG}, \underline{Y}_{GL})$$

Diese werden wiederum benötigt, um nach Ausrechnen der komplexen Leistungen $\underline{S}_i = U_i I_i^*$ der Generatoren aus dem Fehler

$$\Delta P_i = P_{isoll} - P_i$$

Korrekturen für die Winkeldrehungen der Spannungen zu erhalten

$$\Delta \vartheta = \frac{\Delta P_j}{-U_i^2 b_{ii} - Q_i}$$

Hierbei ist bij der Imaginärteil des i-ten Hauptdiagonalelements

$$\boldsymbol{y}_{ii} = \boldsymbol{g}_{ii} + \boldsymbol{j} \boldsymbol{b}_{ii}$$

aus der Matrix YGG.

Unter Anwendung eines Spannungskonvergenzfaktors κ_u erhält man als verbesserten Wert

$$U_{i} = U_{i} + \kappa_{u}U_{i} \left(e^{j\Delta\vartheta_{i}} - 1\right)$$

Für die Spannung des Slackgenerators wird keine Verbesserung berechnet.

Schließlich wird festgestellt, ob sich im letzten Iterationszyklus die Spannungen hinreichend wenig geändert haben. Als Fehlermaß dient hierzu eine Norm, die wenig Rechenzeit erfordert. Die Iteration ist beendet, wenn

$$MAX\{Re(\widetilde{U}_{i}-U_{i})+Im(\widetilde{U}_{i}-U_{i})\}<\epsilon$$

ist. Ist dies nicht der Fall, so werden nach Verbesserung der Werte für die Lastströme unter Anwendung eines Konvergenzfaktors κ₁ Neuwerte berechnet.

$$I_{i} = I_{i} + \kappa_{I} \left[\left(\frac{S_{i}^{*}}{U_{i}^{*}} \right) - I_{i} \right]$$

Außerdem werden vor der Erhöhung des Iterationsindex ρ um 1 auch diejenigen Spannungen auf der Primär- oder Sekundärseite eines regelbaren Transformators abgefragt, ob diese innerhalb eines vorgeschriebenen Spannungsbereichs liegen, wenn nicht, wird das Übersetzungsverhältnis korrigiert.

Rechenzeiten

Das Stromiterations-Verfahren wurde erstmalig 1965 in Erlangen implementiert. Hierbei stellte sich heraus, dass es hinsichtlich seines Konvergenzverhaltens die gleichen günstigen Eigenschaften hat wie die Verfahren, bei denen eine Hybrid-Matrix für die Lastflussiteration zugrunde gelegt wird. Das ist auch gar nicht erstaunlich, da hier die gemischte Matrix nur durch entsprechende Eliminationsvorgänge ersetzt wird.

Was das Anwachsen der Rechenzeiten mit der Anzahl der Knoten betrifft, so stellte sich heraus, dass in dem Bereich, in dem bisher Ergebnisse vorliegen, mit einem Anwachsen der Rechenzeiten nach dem Potenzgesetz mit einem Exponenten von etwa 1.5 gerechnet werden kann. Wenn man bedenkt, dass das Verfahren mit gemischter Matrix durch das unvermeidliche Auffüllen derselben an ein Anwachsen mit der 3. Potenz gebunden ist, war dies ein erheblicher Fortschritt.

Gegenüber dem Knotenpunktverfahren (das einen ähnlich günstigen Potenzexponenten in seinem Wachstumsverhalten hat) hat dieses Verfahren jedoch erheblich bessere Konvergenzeigenschaften. Die Strategiesuche allein verbraucht etwa die Hälfte der Zeit. Der Aufwand der Strategiesuche lohnt sich trotzdem, denn würde nur die Rechenzeit auf ein Vielfaches dieser Zeiten anwachsen, so könnte auch der Fall eintreten, dass der Speicherbedarf zu groß wird.

2.4 Newton Raphson-Lastflussrechnung

Das Newton-Verfahren löst Aufgaben iterativ dadurch, dass man beginnend von einer Ausgangslösung, die **nahe genug** an der gesuchten Lösung liegen muss, schrittweise Verbesserungen der Nahelösung über einen linearisierten Ansatz erhält. Aus den noch von den Vorgabewerten abweichenden Wirk- und Blindleistungen werden Korrekturen für den Spannungsbetrag und den Spannungswinkel errechnet.

Bei Vernachlässigung quadratischer und höherer Glieder in den Taylorentwicklungen gilt:

$$P_{isoII} - P_{iist} = \sum_{k=1}^{N} \left[\frac{dP_i}{d\phi_k} * \Delta \phi_k + \frac{dQ_i}{dU_k} * \Delta U_k \right]$$

$$Q_{isoII} - Q_{iist} = \sum_{k=1}^{N} \left[\frac{dQ_i}{d\phi_k} * \Delta \phi_k + \frac{dQ_i}{dU_k} * \Delta U_k \right]$$

In Matrizenschreibweise gilt bei Verwendung einer einheitlichen Dimension (MVA)

$$\begin{bmatrix} \mathsf{H} & \mathsf{N} \\ \mathsf{J} & \mathsf{L} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \Delta \varphi \\ \Delta \mathsf{u}/\mathsf{u} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta \mathsf{p} \\ \Delta \mathsf{q} \end{bmatrix}$$

wobei

$$H = \frac{dp}{d\omega}$$

$$N = \frac{dp}{du/u}$$

$$J=\frac{dq}{d\phi}$$

$$L = \frac{dq}{du/u}$$

Die reelle, unsymmetrische, nicht konstante Jacobimatrix ist ebenso spärlich besetzt wie die komplexe Admittanzmatrix.

Zur formelmäßigen Darstellung der Funktionalmatrix benötigt man zunächst die Wirk- und Blindleistungen als Funktion der Knotenspannungen und der Knotenadmittanzmatrix.

Die Matrizengleichung lautet:

$$\underline{S} = diagu * i^*$$

Innerhalb der Iteration wird die Jacobimatrix zeilenweise neu aufgebaut. Gleichzeitig werden die Einspeisungen mit den Spannungen aus der vorhergehenden Iteration errechnet. Damit sind ΔP bekannt. Nach dem Verfahren der Gauß-Elimination wobei die Linksnebendiagonalelemente eliminiert, Seite rechte verändert wird. Die Rücksubstitution ergibt Spannungs- und Winkelkorrekturen.

Die Iteration wird abgebrochen, wenn an allen Knoten, außer am Slackknoten,

$$\left| P_{soll} - P_{ist} \right| \le \varepsilon$$

und wenn an allen Knoten, außer am Slackknoten und PU-Knoten

$$\left| Q_{soll} - Q_{ist} \right| \le \varepsilon$$

war, wobei ε die Genauigkeitsschranke ist.

Begrenzung im Reglerteil

In der Newton Raphson-Lastflussrechnung kann durch Eingabe eines Regelbandes bei Slackgeneratoren folgende Bedingung eingehalten werden:

$$U_{min} < U < U_{max}$$

$$P_{min} < P < P_{max}$$

$$Q_{min} < Q < Q_{max}$$

Die Erfüllung dieser Regelbänder erfolgt durch folgende Maßnahmen:

• Die Generatorspannung wird in die Mitte des Regelbandes gelegt falls sie außerhalb liegt.

$$U = \frac{U_{min} + U_{max}}{2}$$

- Die Generatorwirkleistung wird analog den Nennscheinleistungen auf die Generatortypen U, P und I aufgeteilt.
- Die Generatorblindleistung wird analog den Nennscheinleistungen auf die Generatortypen P und I aufgeteilt.

3. Unsymmetrischer Lastfluss

Beim unsymmetrischen Lastfluss wird mit den symmetrischen Komponenten gerechnet. Die Längsadmittanzen sind durch die Leitungen, Transformatoren, Drosseln, etc. vorgegeben. Verbraucher, Motoren, Querdrosseln, etc. entnehmen an ihren Knoten Ströme aus dem Netz.

Generatoren, Netzeinspeisungen, etc. speisen an ihren Knoten Ströme in das Netz. Bei jenen mit konstanter Leistung kann analog zu den Verbrauchern verfahren werden. Jene mit konstanter Spannung werden als unendliche Stromquelle mit Innenimpedanz gegen Null nachgebildet.

Vor der Berechnung wird eine spezielle Netzanalyse durchgeführt.

Die Funktionalität des unsymmetrischen Lastflusses wird im Kapitel Anwendungsbeispiel für unsymmetrischen Lastfluss auf einfache Weise näher gebracht.

Zusätzlich benötigte Eingabedaten

Die unsymmetrische Belastung mit geerdetem Sternpunkt bzw. eine einphasige Belastung gegen Erde können nur in Netzen mit vier Leitern erfolgen. Der vierte Leiter wird in PSS SINCAL über die Nullsystemdaten angegeben. Der Strom über den vierten Leiter schließt sich über die Sternpunkte von Transformatoren und Generatoren. Für eine erfolgreiche unsymmetrische Lastflussberechnung sind daher Nullsystemdaten notwendig.

Prinzipieller Rechnungsablauf unsymmetrischer Lastfluss

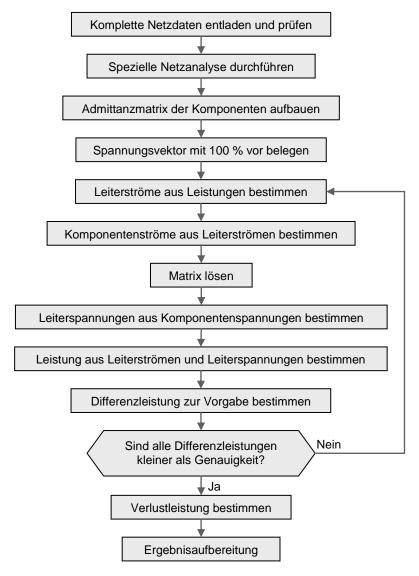


Bild: Ablaufdiagramm

3.1 Berechnungsverfahren

Aus den Knotenpunktgleichungen (Summe der zufließenden Ströme ist gleich der Summe der abfließenden Ströme) ergibt sich folgendes lineare Gleichungssystem:

$$Y * \varphi = I$$

Y ... Knotenpunktadmittanzmatrix

φ ... Vektor der Knotenspannungen

I ... Vektor der Einspeiseströme

Knotenpunktadmittanzmatrix

Die Hauptdiagonalglieder sind gleich der Summe der Admittanzen, die zu dem jeweiligen Knotenpunkt führen. Die Nebendiagonalglieder sind der negative Wert der Längsadmittanz zwischen zwei Knoten. Die Vektoren der Ströme und Spannungen beinhalten dabei Komponentenwerte.

Einspeiseströme

An den Knotenpunkten, wo Leistung entnommen oder eingespeist wird, ist der Stromvektor vor der Lösung des Gleichungssystems zu befüllen. Eine Entnahme wird dabei durch einen negativen Einspeisestrom nachgebildet.

Aus den jeweils aktuellen Leiterspannungen werden mittels der angegebenen Leistungen oder Impedanzen mit Hilfe des Ohm'schen Gesetzes die Ströme in den angeschlossenen Leiter des Netzelementes ermittelt. Ist ein Leiter nicht angeschlossen, so ist der Strom Null.

Die so ermittelten Ströme in den Leitern L1, L2 und L3 werden mit Hilfe der Transformationsgleichung für Ströme in Komponentenströme umgerechnet.

Transformationsgleichung für Ströme

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_0 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} * \begin{pmatrix} 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} I_{L1} \\ I_{L2} \\ I_{L3} \end{pmatrix}$$

wobei

- <u>l</u>₁, <u>l</u>₂, <u>l</u>₀ Ströme im Mit-, Gegen- und Nullsystem
- <u>I_{L1} I_{L2}, I_{L3} Leiterströme</u>

Der Vektor mit den Einspeiseströmen kann nun mit den Komponentenströmen des aktuellen Elementes beaufschlagt werden.

Die Lösung des Gleichungssystems liefert nun als Ergebnis Komponentenspannungen in den einzelnen Knoten. Mit Hilfe der Transformationsgleichungen für Spannungen werden die Komponentenspannungen in Spannungen der Leiter L1, L2 und L3 umgerechnet.

Transformationsgleichung für Spannungen

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

wobei

- <u>U</u>₁, <u>U</u>₂, <u>U</u>₀ − Spannung im Mit-, Gegen- und Nullsystem
- \underline{U}_{L1} , \underline{U}_{L2} , \underline{U}_{L3} Leiterspannungen

Die Umrechnung der Ströme und Spannungen basiert dabei auf der allgemein gültigen komplexen Transformationsmatrix.

Transformationsmatrix

$$\frac{1}{3} * \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \end{pmatrix}$$

$$a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$$

Abbruchbedingung für Iteration

Mit Hilfe der neu ermittelten Leiterspannungen und den Leiterströmen aus der letzten Iteration kann nun die Leistung in allen Leitern ermittelt und mit der Vorgabe überprüft werden.

Ist die vorgegebene Leistungsgenauigkeit noch nicht erreicht, werden mit den neu ermittelten Leiterspannungen wieder neue Leiterströme und Komponentenströme für die nächste Iteration berechnet.

Regelung

Für die Regelung werden die Werte aller drei Leiter herangezogen. Transformatoren können die drei Leiter individuell regeln.

Ändern sich während der Iteration Längsadmittanzen im Netz (geregelter Transformator), so muss die Knotenpunktadmittanzmatrix aller Komponenten neu aufgebaut werden.

Sternpunkte

Ist ein Netzelement über einen Sternpunkt geerdet, so wird die Sternpunktspannung bei der Ermittlung der Elementleistung korrekt berücksichtigt.

Der Strom über den Sternpunkt eines Elementes wird durch Addition aller Leiterströme des Elementes ermittelt. Mit dem Sternpunktstrom und der Sternpunktimpedanz kann die Sternpunktspannung einfach ermittelt werden.

Ströme im Netz

Die Ströme im Netz berechnen sich aus der Potentialdifferenz der Knoten und der dazwischenliegenden Impedanz.

Symmetriefaktoren

Als Symmetriefaktor wird für Knotenspannungen folgender Wert ausgewiesen:

$$f_{Sym} = 100,0 - \frac{Spannungim Null system}{Spannungim Mitsystem} * 100,0$$

Als Symmetriefaktor wird für Elementströme folgender Wert ausgewiesen:

$$I_{avrg} = \frac{I_{AbsL1} + I_{AbsL2} + I_{AbsL3}}{3,0}$$

$$f_{SymL1} = 100,0 - \frac{I_{AbsL1} - I_{avrg}}{I_{avrg}} * 100,0$$

$$f_{SymL2} = 100,0 - \frac{I_{AbsL2} - I_{avrg}}{I_{avrg}} * 100,0$$

$$f_{SymL3} = 100,0 - \frac{I_{AbsL3} - I_{avrg}}{I_{avrg}} * 100,0$$

$$f_{Sym} = Minimum(f_{SymL1}, f_{SymL2}, f_{SymL3})$$

3.2 Nachbildung unsymmetrischer Transformatoren

Die Eingabe der Unsymmetrie erfolgt über die Wicklungsangabe und die Schaltgruppe. Über die Wicklungsangabe werden zuerst die vorhandenen Wicklungen bestimmt.

Wicklungsangabe	Wicklungen
W1	eine Wicklung
W2	eine Wicklung
W3	eine Wicklung
W12	zwei Wicklungen
W23	zwei Wicklungen
W31	zwei Wicklungen
W123	drei Wicklungen

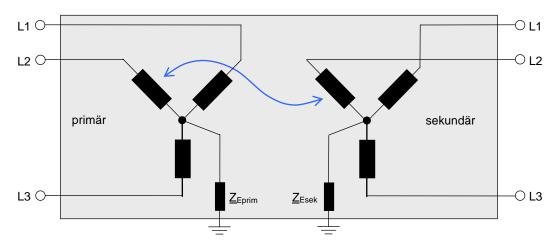
Jede vorhandene Wicklung wird je nach Schaltgruppe und Phasendrehung primär und sekundär wie folgt verschaltet.

Wicklung	Schaltgruppe	Drehung	Verschaltung primär	Verschaltung sekundär
1	YY	0 oder 6	L1 gegen Erde	L1 gegen Erde
2	YY	0 oder 6	L2 gegen Erde	L2 gegen Erde
3	YY	0 oder 6	L3 gegen Erde	L3 gegen Erde
1	DD	0 oder 6	zwischen L1 und L2	zwischen L1 und L2
2	DD	0 oder 6	zwischen L2 und L3	zwischen L2 und L3
3	DD	0 oder 6	zwischen L3 und L1	zwischen L3 und L1

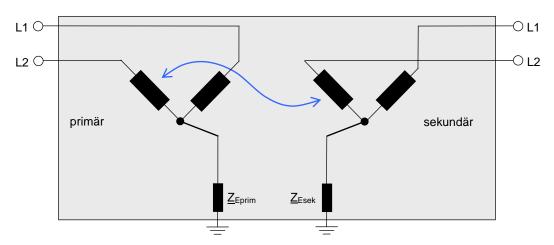
1	YD	1 oder 7	L1 gegen Erde	zwischen L1 und L2
2	YD	1 oder 7	L2 gegen Erde	zwischen L2 und L3
3	YD	1 oder 7	L3 gegen Erde	zwischen L3 und L1
1	YD	5 oder 11	L1 gegen Erde	zwischen L1 und L3
2	YD	5 oder 11	L2 gegen Erde	zwischen L2 und L1
3	YD	5 oder 11	L3 gegen Erde	zwischen L3 und L2
1	DY	1 oder 7	zwischen L1 und L2	L2 gegen Erde
2	DY	1 oder 7	zwischen L2 und L3	L3 gegen Erde
3	DY	1 oder 7	zwischen L3 und L1	L1 gegen Erde
1	DY	5 oder 11	zwischen L1 und L2	L1 gegen Erde
2	DY	5 oder 11	zwischen L2 und L3	L2 gegen Erde
3	DY	5 oder 11	zwischen L3 und L1	L3 gegen Erde

Verschaltung der Wicklungen bei YY Transformator

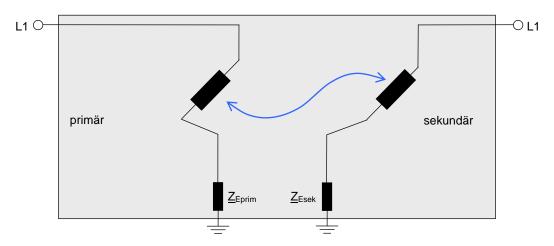
Verschaltung mit allen drei Wicklungen



Verschaltung bei Wicklung 1 und 2

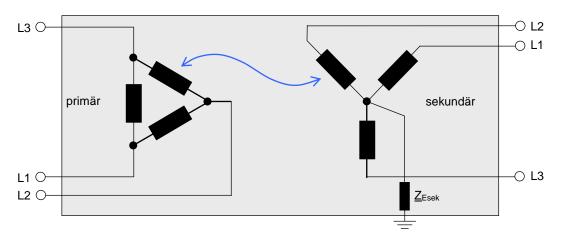


Verschaltung bei Wicklung 1

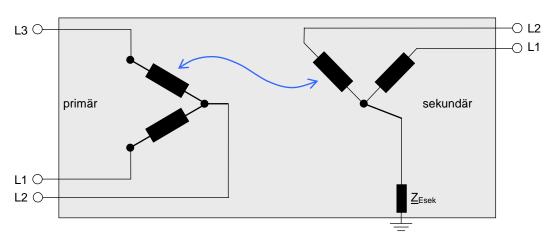


Verschaltung der Wicklungen bei DY Transformator

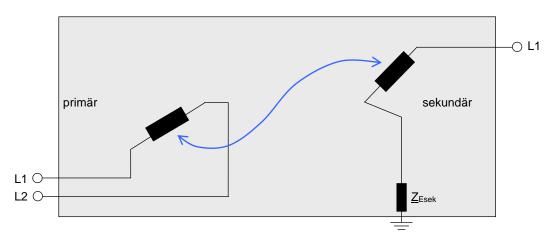
Verschaltung mit allen drei Wicklungen



Verschaltung bei Wicklung 1 und 2

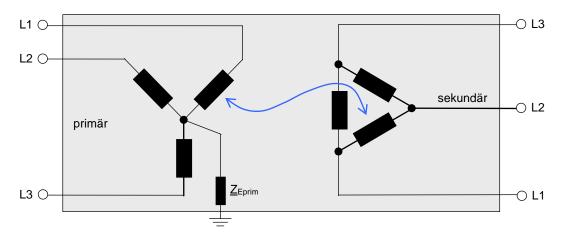


Verschaltung bei Wicklung 1

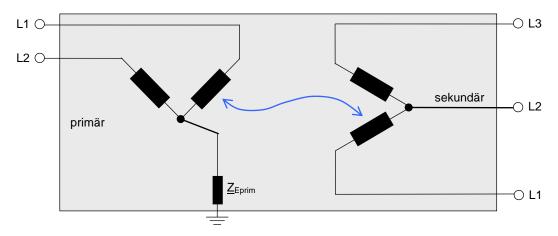


Verschaltung der Wicklungen bei YD Transformator

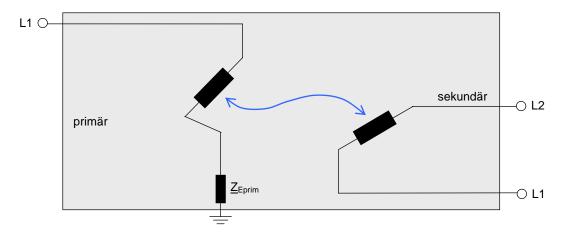
Verschaltung mit allen drei Wicklungen



Verschaltung bei Wicklung 1 und 2

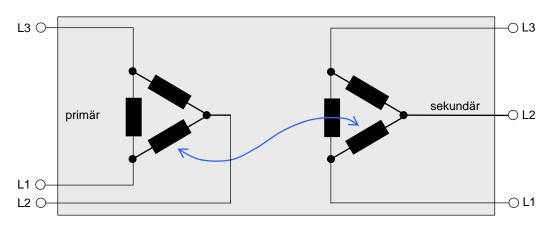


Verschaltung bei Wicklung 1

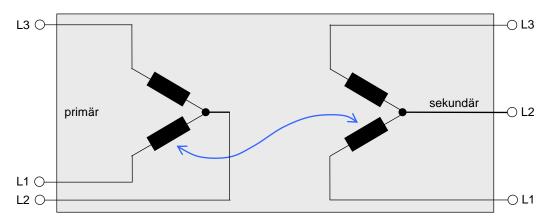


Verschaltung der Wicklungen mit DD Transformator

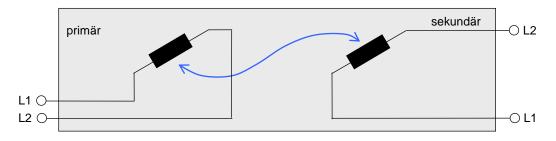
Verschaltung mit allen drei Wicklungen



Verschaltung bei Wicklung 1 und 2



Verschaltung bei Wicklung 1



4. Lastentwicklung

Das Ziel der Lastentwicklung ist die Berechnung des Lastflusses in Verteilnetzen unter Berücksichtigung von

- Laststeigerungen,
- Leistungsvorgaben und
- Inbetriebnahme- und Stilllegungsdatum.

Die Belastung in diesen Netzen kann dadurch für zukünftige Zeitpunkte bestimmt werden. Die Basis für die Lastentwicklungsberechnung ist eine ausführliche Netzanalyse.

Die Funktionalität der Lastentwicklung wird im Kapitel Anwendungsbeispiel für Lastentwicklung auf einfache Weise näher gebracht.

Prinzipieller Rechnungsablauf Lastentwicklung

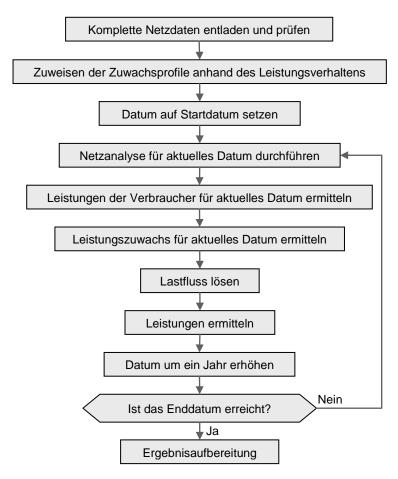


Bild: Ablaufdiagramm

4.1 Vorgaben für die Laststeigerung

Die Laststeigerungen können absolut oder bezogen eingegeben werden.

Beispiel relative Laststeigerung mit Faktoren

Die relative Laststeigerung mit Faktoren wird ohne weitere Umrechnung in die Lastentwicklungsberechnung mit einbezogen.

Datum	Faktor	Leistungsänderung seit 1.1.2000
1.1.2000	1,02	1,00
1.1.2001	1,02	1,02
1.1.2002	1,025	1,0404
1.1.2003	1,03	1,06641

Beispiel relative Laststeigerung mit Leistungsvorgabe

Die relative Laststeigerung mit Leistungsvorgabe wird für die Lastentwicklungsberechnung in eine relative Laststeigerung mit Faktoren umgerechnet.

Datum	Р	Q	äquivalenter Faktor	Leistungsänderung seit 1.1.2000 mit Basisleistung 100
1.1.2000	102	0	1,02	1,0
1.1.2001	104	0	1,0196	1,02
1.1.2002	107	0	1,0288	1,0399
1.1.2003	110	0	1,0280	1,0698

Beispiel absolute Laststeigerung mit Leistungsvorgabe

Bei der Laststeigerung mit absoluter Leistung wird die vorgegebene Wirk- und Blindleistung zum angegebenen Zeitpunkt direkt verwendet.

Datum	Ρ	Q	Leistungsänderung P seit 1.1.2000	Leistungsänderung Q seit 1.1.2000
1.1.2000	100	30	0	0
1.1.2001	103	30	3	0
1.1.2002	112	34	12	4
1.1.2003	120	35	20	5

4.2 Ermittlung der Verbraucherleistung über die Laststeigerung

Bevor eine gesteigerte Leistung ermittelt werden kann, muss das Bezugsdatum für die Leistungsangabe bei den Verbrauchern bestimmt werden.

Errichtungszeitpunkt ist angegeben

Das Bezugsdatum für die Leistungsangabe ist das Errichtungsdatum.

Errichtungszeitpunkt ist nicht angegeben

Das Bezugsdatum für die Leistungsangabe ist das Bezugsdatum aus den Berechnungsparametern.

Nach der Bestimmung des Bezugsdatums kann über die zugeordnete Laststeigerung die Verbraucherleistung für das aktuelle Datum bestimmt werden. Dazu müssen die Zeitsegmente der Laststeigerung, die in dem Zeitraum zwischen Bezugsdatum der Verbraucherleistung und aktuellem Datum liegen, herangezogen werden. Es sind dabei die folgenden Fälle zu unterscheiden:

Das Zeitsegment der Laststeigerung liegt komplett zwischen Bezugsdatum und aktuellem Datum.

Der Steigerungsfaktor ist vollständig zu berücksichtigen.

Das Zeitsegment der Laststeigerung liegt teilweise zwischen Bezugsdatum und aktuellem Datum.

Der Steigerungsfaktor ist anteilig zu berücksichtigen. Die Ermittlung des Anteils erfolgt über das Verhältnis der Zeiträume.

$$f_{Anteil} = f_{Reihe} \frac{t_{Verbraucher}}{t_{Reihe}}$$

 f_{Anteil} ... Anteilig zu berücksichtigender Faktor f_{Reihe} ... Kompletter Faktor aus Laststeigerung

t_{Verbraucher} ... Anteiliger Zeitraum aus Bezugsdatum und aktuellem Datum

t_{Reihe} ... Kompletter Zeitraum aus Laststeigerung

Das aktuelle Datum liegt hinter der letzten Datumsangabe der Laststeigerung.

Der Steigerungsfaktor wird anteilig aus Zeitraum und Faktor des letzten angegebenen Intervalls wie folgt ermittelt.

$$f_{Zukunft} = f_{Reihe} \frac{t_{Zukunft}}{t_{Reihe}}$$

f_{Zukunft} Zu berücksichtigender Faktor für Zeitintervall nach dem letzten Datum der

Laststeigerung

 f_{Reihe} ... Kompletter Faktor des letzten Intervalls der Laststeigerung $t_{\text{Verbraucher}}$ Zeitraum zwischen aktuellem Datum und letztem Datum der

Laststeigerung

t_{Reihe} ... Kompletter Zeitraum des letzten Intervalls der Laststeigerung

Ein Spezialfall ergibt sich bei Vorgabe von nur einem Faktor und einem Zeitpunkt in der Laststeigerung. In diesem Fall wird als Zeitraum für die Steigerung ein Jahr angesetzt.

Durch die gewählte Implementierung ist folgendes Verhalten nachgebildet: Eine konstante Lastentwicklung über die Zeit ergibt eine exponentiell steigende Last über die Zeit.

4.3 Zuordnung der Laststeigerung zu den Verbrauchern

Die Zuordnung der Laststeigerung zu den Verbrauchern erfolgt über die Angabe des Leistungsverhaltens. In PSS SINCAL kann das Leistungsverhalten über folgende Möglichkeiten den Verbrauchern zugewiesen werden:

- Lastpolygon
- Netzelementgruppe
- direkt am Verbraucher

Zuordnung über ein Lastpolygon

In der Netzgrafik wird ein Polygon erfasst. Alle Lasten, die an Knoten hängen, die innerhalb des Lastpolygons liegen, erhalten die gleiche Lastentwicklung.

Zuordnung über eine Netzelementgruppe

In der Netzgrafik wird eine Netzelementgruppe mit dem Typ Lastgruppe angelegt und dieser Gruppe werden Lasten zugewiesen. Alle Lasten, die in der Gruppe enthalten sind, erhalten die gleiche Lastentwicklung. Wenn die Lasten der Gruppe auch in einem Lastpolygon enthalten sind, wird die Lastentwicklung der Gruppe herangezogen.

Direkt am Verbraucher

In den Basisdaten der Last wird die Laststeigerung direkt zugeordnet. Wenn die Last auch in einem Leistungspolygon liegt oder in einer Lastgruppe enthalten ist, so wird die direkte zugeordnete Lastentwicklung herangezogen.

4.4 Nutzung von Leistungsvorgaben

PSS SINCAL kennt folgende Arten von Leistungsvorgaben:

- Zuwachsleistungen
- Gesicherte Leistungen

Die Funktionalität der Leistungsvorgaben ist komplett unterschiedlich.

Zuwachsleistung

Mit Hilfe einer Zuwachsleistung können Lasten eines Lastpolygons oder einer Lastgruppe zu einem bestimmten Zeitpunkt mit einer Zusatzleistung anteilig beaufschlagt werden. Die beaufschlagte Leistung unterliegt ab dem Zeitpunkt der Beaufschlagung dem gleichen Zuwachs wie die Basisleistung.

Gesicherte Leistung

Die gesicherte Leistung ist die maximale Leistung, die innerhalb eines zuvor definierten Leistungspolygons abgenommen werden darf.

5. Lastprofil

Das Ziel der Lastprofilberechnung ist die Berechnung des Lastflusses in Niederspannungsverteilnetzen unter Berücksichtigung von

- Lastprofile,
- Gleichzeitigkeiten von Verbrauchern und
- Kundendaten je Verbraucheranschluss.

Die Belastung in diesen Netzen kann dadurch exakter bestimmt werden. Die Basis für die Lastprofilberechnung ist eine ausführliche Netzanalyse.

Die Funktionalität des Lastprofiles wird im Kapitel Anwendungsbeispiel für Lastprofil auf einfache Weise näher gebracht.

Prinzipieller Rechnungsablauf Lastprofil

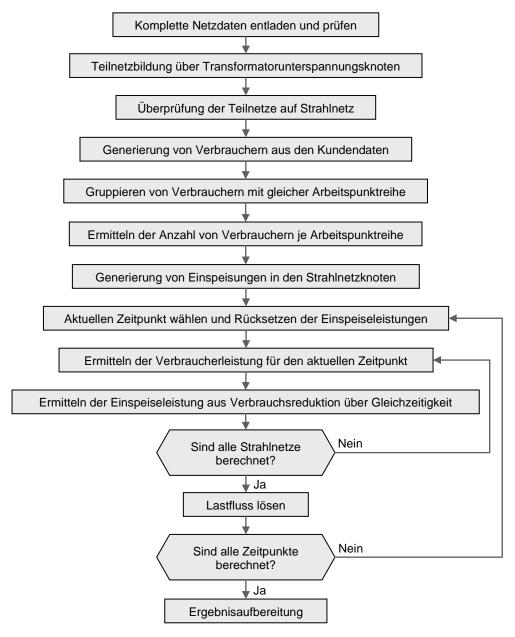


Bild: Ablaufdiagramm

5.1 Strahlnetzbildung

Das Netz wird hinter jeden unterspannungsseitigen Transformatorknoten einer Überprüfung auf ein Strahlnetz unterzogen.

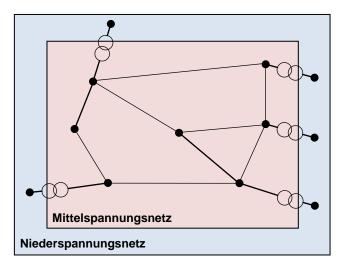


Bild: Mittelspannungsnetz mit Transformatorstationen

Liegt ein Strahlnetz vor, so werden für diesen Netzteil Gleichzeitigkeitsfaktoren für Verbraucher mit gleichem Lastprofil berücksichtigt.

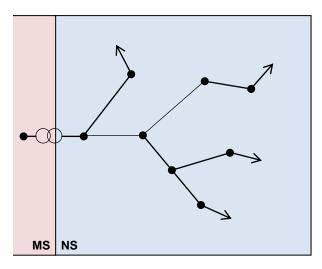


Bild: Strahlnetz hinter Transformatorstation

In solchen Netzteilen werden an Lastprofilen gekoppelte Verbrauchsdaten mit Gleichzeitigkeitsfaktoren behandelt.

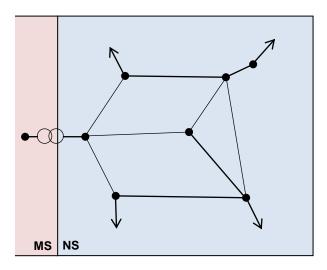


Bild: Vermaschtes Netz hinter Transformatorstation

In solchen Netzteilen werden an Lastprofilen gekoppelte Verbrauchsdaten ohne Gleichzeitigkeitsfaktoren behandelt.

5.2 Zyklische Behandlung von Lastprofilen

Mit einem Lastprofil können zeitliche Verläufe für verschiedene Netzelemente vorgegeben werden. Die Bearbeitung der Lastprofile erfolgt über den Menüpunkt **Daten – Lastfluss – Lastprofile**. Eine detaillierte Beschreibung der Eingabedaten der Lastprofile ist im Kapitel Lastprofile des Handbuches Eingabedaten zu finden.

Im Zuge der Lastprofilberechnung wird das Betrachtungsdatum aus den Basisdaten der Berechnungsparameter berücksichtigt. D.h. das Netz wird entsprechend dem gewählten Datum aufgebaut und das Lastprofil beginnt dann mit dem angegebenen Datum.



Bild: Ergebnisdiagramm aus Lastprofilberechnung mit Datumsangabe

Der Startzeitpunkt und die Zeitdauer der Lastprofilberechnung müssen nicht mit den vorgegebenen Zeiten der Lastprofile übereinstimmen. Lastprofile werden zyklisch wiederholt und können dadurch korrekt über alle Rechenzeitpunkte abgebildet werden.

Beispiel

Als einfaches Beispiel ist ein 8 Stunden Zyklus innerhalb eines Tages nachgebildet. Der Zyklus beginnt mit Schichtbeginn um 06:00 Uhr und endet mit Schichtende um 14:00 Uhr.

Zeitpunkt	Faktor	Verlauf
06:00	0,25	kontinuierlich
07:00	1,00	kontinuierlich
13:00	1,25	kontinuierlich
14:00	0,25	kontinuierlich

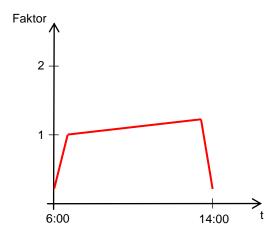


Bild: Einzelintervall

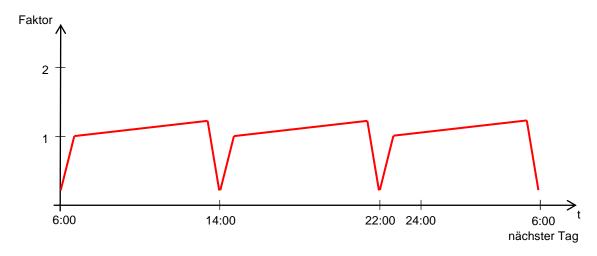


Bild: Einzelintervall im Tagesablauf

Wie aus den Bildern ersichtlich ist, kann für jede Startzeit und jeden Rechenzeitpunkt der Faktor eindeutig bestimmt werden.

Der Zyklus ist dabei an den Zeitraum (Tag, Woche, Jahr) der Lastprofile gebunden. Das Einzelintervall wird in Richtung frühere Zeitpunkte und in Richtung spätere Zeitpunkte zyklisch wiederholt. Die Anzahl der Wiederholungen ergibt sich aus Startzeitpunkt, Rechendauer, den Zeitpunkten des Einzelintervalls und dem Zeitraum der Lastprofile.

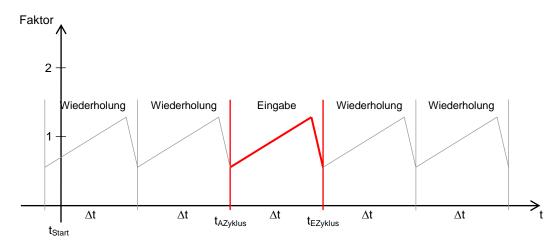


Bild: Wiederholungszyklus

5.3 Generierung von Verbrauchern aus den Kundendaten

An jedem Verbraucher kann in PSS SINCAL eine beliebige Anzahl von Kunden mit unterschiedlichen Lastprofilen hinterlegt werden. Jeder einzelne Kunde enthält dabei die vollständigen Angaben für die Ermittlung des Verbrauchs. Der Verbrauch ist selbstverständlich in Wirk- und Blindleistung geteilt. Der Einfachheit halber ist in nachfolgenden Bildern und Formeln nur jeweils die Wirkleistung angeführt. Für die Blindleistung kann analog zur Wirkleistung verfahren werden.

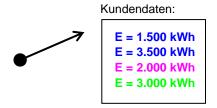


Bild: Netzknoten mit Verbraucher mit Kundendaten

Der Anschluss ist für jeden Kunden eines Verbrauchers gleich. Die Topologie ist daher nur ein einziges Mal hinterlegt.

Über die folgenden Formeln wird aus dem Energieverbrauch eine Leistung ermittelt. Die Parameter für die Leistungsermittlung (a1 und b1) sind bei den Lastprofilen hinterlegt.

$$P = a1 * \left(1 - e^{-\frac{E}{b1}}\right)$$

mit

$$a1 = 10$$

und

$$b1 = 8760$$

$$P = 10 * \left(1 - e^{-\frac{1500}{8760}}\right) = 1,573 \text{ kW}$$

$$P = 10 * \left(1 - e^{-\frac{3500}{8760}}\right) = 3,294 \text{ kW}$$

mit

$$a1 = 15$$

und

$$b1 = 8760$$

$$P = 15 * \left(1 - e^{-\frac{2000}{8760}}\right) = 3,062 \text{ kW}$$

mit

$$a1 = 18$$

und

$$b1 = 8760$$

$$P = 18 * \left(1 - e^{-\frac{3000}{8760}}\right) = 5,219 \text{ kW}$$

Aus den Kundendaten können in der Berechnung somit einzelne Verbraucher generiert werden. Wenn die Lastprofile bezogene Daten enthalten, so ist die ermittelte Leistung jene für 100 Prozent. Je nach Prozentvorgabe für den aktuellen Zeitpunkt variiert der Verbrauch bei der Berechnung.

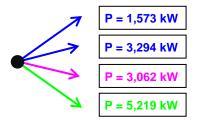


Bild: Netzknoten mit aus Kundendaten generierten Verbrauchern

5.4 Ermitteln der Anzahl von Verbrauchern je Lastprofil

Die Anzahl der Verbraucher für die Ermittlung der Gleichzeitigkeit wird bei den Strahlnetzendknoten gestartet. Es werden jeweils nur Verbraucher mit gleichem Lastprofil betrachtet. Beendet wird die Ermittlung der Anzahl bei dem jeweiligen Transformatorunterspannungsknoten.

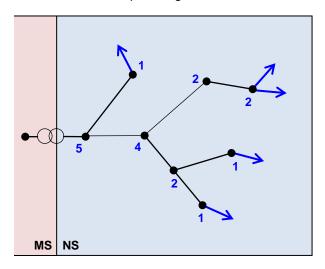


Bild: Anzahl der Verbraucher für Gleichzeitigkeit

5.5 Generierung von Einspeisungen in den Strahlnetzknoten

An jedem Knoten, wo sich die Anzahl der Verbraucher für die Ermittlung der Gleichzeitigkeit ändert, reduziert sich die abgenommene Leistung wegen der Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit alleine durch die Anzahl der Verbraucher. Die Kirchhoff'schen Maschen- und Knotengleichungen müssen jedoch immer erfüllt sein. Die Lösung dieses Problems ist die Generierung von Einspeisungen in diesen Knoten. Diese Einspeisungen müssen später die über die Gleichzeitigkeit reduzierte Leistung der Verbraucher einspeisen.

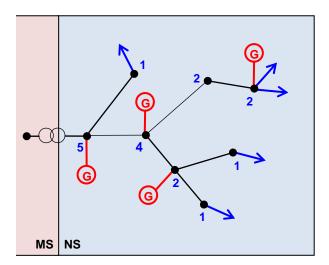


Bild: Strahlnetz mit generierten Einspeisungen

Die Einspeisungen werden nur im Zuge des Rechenablaufs generiert. In der Netzgrafik sind sie nicht ersichtlich.

5.6 Ermittlung der Einspeiseleistung aus Verbrauchsreduktion über Gleichzeitigkeit

Die Ermittlung der Einspeiseleistung erfolgt getrennt nach Lastprofil. Als Basis dazu dient

- die Anzahl der Verbraucher,
- die Leistung der Verbraucher und
- die Einspeiseleistung am vorherigen Knoten.

Über die folgenden Formeln wird aus der Leistung und der Anzahl der Verbraucher je Lastprofil die Einspeiseleistung ermittelt. Die Parameter für Reduktionsfaktor Gleichzeitigkeit (a2 und b2) sind bei den Lastprofilen hinterlegt.

$$F = 0.15 + (1 - 0.15) * e^{-\frac{2 - 1}{10}} = 0.9191$$

$$P = (1,0-0,9191)*(1,573+3,294) = 0,394$$

mit

$$a2 = 0,15$$

und

$$b2 = 10$$

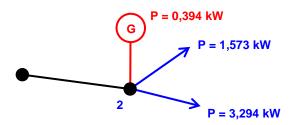


Bild: Netz mit ermittelten Einspeiseleistungen

Die Ermittlung der Einspeiseleistungen startet ebenfalls bei den Strahlnetzendknoten und endet bei den Transformatorknoten. Bei jenen Knoten, wo sich das erste Mal eine Anzahl größer als 1 ergibt, kann die Einspeiseleistung direkt ermittelt werden. Bei allen andern Knoten ist nur mehr die Differenz der Einspeiseleistung zu den vorherigen anzusetzen.

5.7 Lastfluss lösen

Die Lösung des Lastflussproblems erfolgt mit dem in den Berechnungsparametern voreingestellten Lastflussverfahren. Die Ergebnisse werden wie üblich für jedes Element zur Verfügung gestellt und grafisch visualisiert.

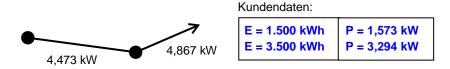


Bild: Netz mit Lastflussergebnissen

In der Netzgrafik ist nun deutlich ersichtlich, dass Verbraucher mit einer Gesamtleistung von 1,573 kW + 3,294 kW = 4,867 kW alleine durch einen Leistungszufluss von 4,473 kW vollständig versorgt werden. Die Belastungen der Betriebsmittel im Netz sind dadurch natürlich deutlich geringer als bei Versorgung ohne Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit.

Arbeitspunkte

6. Arbeitspunkte

Das Ziel der Arbeitspunktberechnung ist die Berechnung des Lastflusses auf Basis von stationären Arbeitspunkten. Dies ermöglicht es, verschiedene stationäre Betriebsfälle gleichzeitig zu berechnen und anschließend zu vergleichen.

Durch die zeitunabhängige Definition von Arbeitspunkten ist Folgendes möglich:

- Unterschiedliche Betriebsfälle nachzubilden und zu vergleichen
- Kurzfristige zeitliche Abläufe nachzubilden
- Langfristige zeitliche Zuwächse nachzubilden

Die Ergebnisse werden dabei in Form von

- stationären Einzelergebnissen,
- Diagrammen und
- Berichten

zur Verfügung gestellt.

Die Funktionalität der Arbeitspunkte wird im Kapitel Anwendungsbeispiel für die Arbeitspunktberechnung auf einfache Weise näher gebracht.

Arbeitspunkte

Prinzipieller Rechnungsablauf Arbeitspunkte

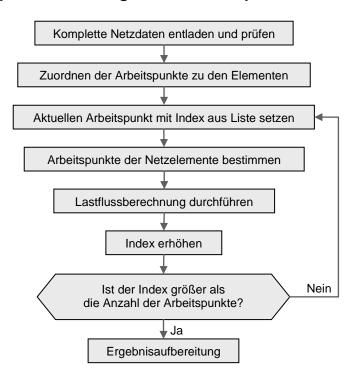


Bild: Ablaufdiagramm Arbeitsreihenberechnung

6.1 Bestimmung des Faktors bei Arbeitspunkten

Der Faktor ergibt sich aus dem aktuell betrachteten Arbeitspunkt. Ist der betrachtete Arbeitspunkt in der Reihe enthalten, so kann der Faktor direkt aus den Reihendaten genommen werden.

Beispiel

Arbeitspunkt	Faktor
Α	1,10
В	1,25
С	1,75

Arbeitspunkte

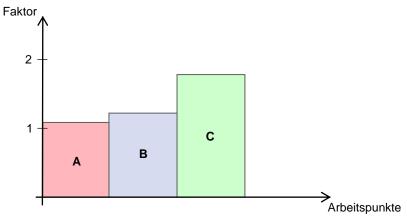


Bild: Verlauf Arbeitspunkte

Für Arbeitspunkt **B** ergibt sich ein Faktor von **1,25**.

Ist der betrachtete Arbeitspunkt nicht in den Reihendaten enthalten, wird er auf 1,0 gesetzt.

7. Lastermittlung

Das Ziel der Lastermittlung ist die Ermittlung eines Lastzustandes unter Berücksichtigung von Messwerten. Bei den Messwerten handelt es sich in der Praxis um Maximalwerte. Das Ergebnis der Lastermittlung ist daher ein Lastzustand, der die maximale Belastung des Netzes an den Messpunkten widerspiegelt.

Die Basis für die Lastermittlung ist eine ausführliche Netzanalyse, wo den vorgegebenen Messwerten die zu trimmenden Lasten zugeordnet werden.

Die Funktionalität der Lastermittlung wird im Kapitel Anwendungsbeispiel für Lastermittlung auf einfache Weise dargestellt.

Prinzipieller Rechnungsablauf Lastermittlung

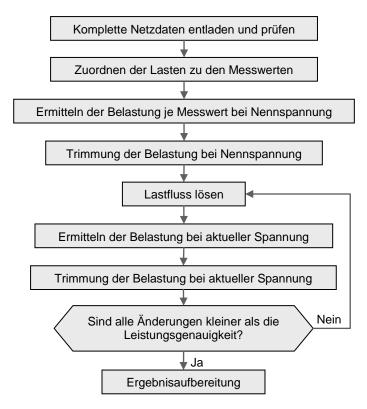


Bild: Ablaufdiagramm

7.1 Vorgaben für die Lastermittlung

Die Lastermittlung basiert auf der Zuordnung von Messwerten, welche den Betriebszustand des Netzes dokumentieren. Hierbei wird unterschieden zwischen

- Messwerten von Messgeräten und
- Messwerten von Lasten

unterschieden.

Das folgende Bild zeigt ein einfaches Netz zur Lastermittlung.

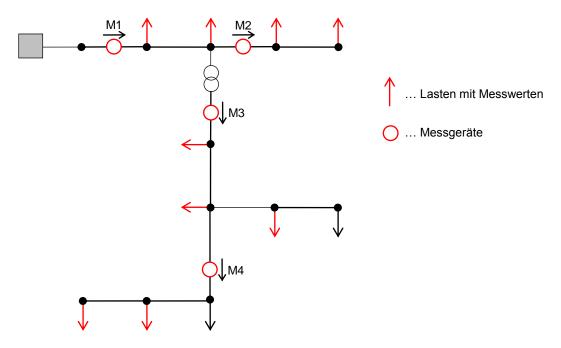


Bild: Netz mit Messgeräten und Lasten

Im dargestellten Bild sind die rot markierten Lasten jene, die zur Trimmung herangezogen werden. D.h. bei diesen Lasten wurde im Register **Messwerte** eine maximale Leistung vorgegeben, welche die Grundlage für die weitere Trimmung bildet.

Die im Netz platzierten Messgeräte beinhalten die Maximalmesswerte. Anhand dieser Messwerte wird die eigentliche Trimmung durchgeführt.

Messwerte bei allgemeinen Lasten

Als Messwerte können nur Ströme angegeben werden. Der Strom dient zur Ermittlung der Trimmung mit Nennspannung und zur relativen Trimmung der Lasten zueinander. Der Leistungsfaktor bleibt während der Trimmung konstant.

Als Ergebnis der Trimmung erhält man den vorgegebenen Leistungsfaktor und einen Strom, der sich einstellt, um die Stromvorgabe bei den Messgeräten zu erfüllen.

Messwerte bei Messgeräten

Als Messwerte können Leistungen oder Ströme angegeben werden. Der Leistungsfaktor der Messwerte dient nur zur Ermittlung der Trimmung mit Nennspannung vor der ersten Lastflussberechnung. Ohne diese Trimmung könnte sich eine viel zu hohe Belastung ergeben.

Als Ergebnis der Trimmung erhält man die vorgegebene Leistung oder den vorgegebenen Strom am Messgeräteeinbauort und den Leistungsfaktor, der sich auf Grund der Belastungen ergibt.

Zuordnung der Verbraucher zu den Messgeräten

Alle Verbraucher, die in der Messrichtung eines Messgerätes liegen, werden über die Netztopologie dem Messgerät zugeordnet. Jedem Messgerät können beliebig viele Lasten zugeordnet werden. Wie bereits erwähnt werden nur Lasten mit Messwerten in die Lastermittlung mit einbezogen. Lasten ohne Messwerte verbleiben mit ihrer vorgegebenen Leistung als konstante Last im Netz.

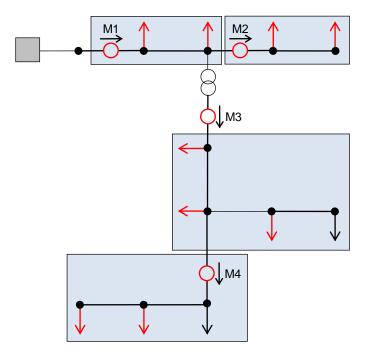


Bild: Netz mit Messgeräten und zugeordneten Lasten

Alle Messgeräte, die in der Messrichtung eines anderen Messgerätes liegen, werden dem jeweiligen Messgerät als untergeordnetes Messgerät zugeordnet. Die Ermittlung der untergeordneten Messgeräte erfolgt ebenfalls über die Netztopologie. Jedem Messgerät können beliebig viele Messgeräte untergeordnet werden. Auch in der Unterordnung von bereits untergeordneten Messgeräten gibt es keine Beschränkung.

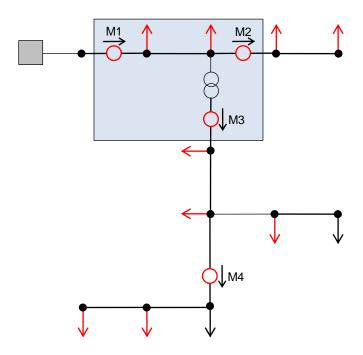


Bild: Netz mit untergeordneten Messgeräten zu Messgerät M1

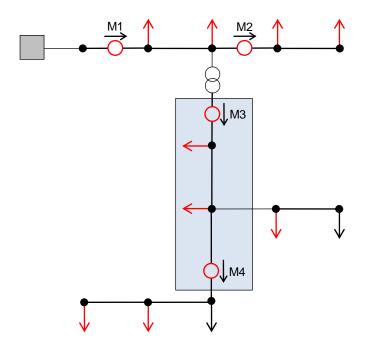


Bild: Netz mit untergeordneten Messgeräten zu Messgerät M3

Die Leistungen bzw. Ströme der untergeordneten Messgeräte werden bei der Lastermittlung korrekt mit einbezogen. Die einem Messgerät zugeordneten Verbraucher entnehmen nur jene Leistung, die sich aus der Differenz zu den untergeordneten Messgeräten ergibt.

Die Versorgung einer Last muss eindeutig über ein Messgerät erfolgen. Über die Messrichtung der Messgeräte darf sich daher keine Masche bilden. In diesem Fall kann keine Lastermittlung durchgeführt werden.

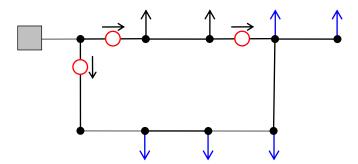


Bild: Netz mit unzulässiger Netztopologie

Bei den im dargestellten Bild blau gekennzeichneten Verbrauchern ist nicht klar definiert, über welches Messgerät diese versorgt werden. Daher kann bei einer derartigen Netzkonstellation keine Lastermittlung durchgeführt werden.

Behandlung von dezentralen Einspeisungen

Hinter den Messgeräten können sich auch dezentrale Einspeisungen (DC-Einspeisungen, Windkraftwerke, etc.) befinden. Diese dezentralen Einspeisungen werden genauso wie die Verbraucher einem Messgerät zugeordnet. Die dezentrale Einspeisung muss daher eindeutig über ein Messgerät mit einer Spannungsquelle verbunden sein.

Üblicherweise fließt die Leitung am Messpunkt in Richtung der Verbraucher. Je nach Leistung der dezentralen Einspeisungen kann sich die Energieflussrichtung am Messpunkt aber auch umkehren. Für diesen Fall sind die Ströme bzw. Leistungen beim Messgerät negativ anzugeben.

7.2 Ergebnisse der Lastermittlung

Von der Lastermittlung wird ein Lastflussergebnis bereitgestellt, welches den Netzzustand mit getrimmten Lasten dokumentiert.

Zusätzlich wird auch für alle Lasten mit Messwerten ein erweitertes Trimmergebnis zur Verfügung gestellt, welches dokumentiert, in welchem Umfang die Lastwerte abgeändert wurden. Diese Lastermittlungsergebnisse sind im Kapitel Spezielle Ergebnisse, Abschnitt Lastermittlung detaillierter beschrieben.

8. Tap-Zone Ermittlung

Die Tap-Zone Ermittlung ist ein spezielles Lastflussverfahren zum Bestimmen von Transformatorstufenstellungen in Abgängen. Dabei wird versucht, die Stufenstellungen der Transformatoren im Abgang so einzustellen, dass die Spannung der versorgten Abnehmer sowohl bei Minimal- als auch bei Maximallast im zulässigen Spannungsband liegt.

Im Wesentlichen ist die Tap-Zone Ermittlung eine Kombination aus einer einfachen Optimierung in Verbindung mit einer Lastermittlung für den minimalen und maximalen Betriebszustand.

Als Ergebnisse der Tap-Zone Ermittlung werden die optimalen Stufenstellungen der Transformatoren sowie die Lastflussergebnisse bei Minimal- und Maximalbelastung zur Verfügung gestellt.

Die Funktionalität der Tap-Zone Ermittlung wird im Kapitel Anwendungsbeispiel für die Tap-Zone Ermittlung auf einfache Weise dargestellt.

Prinzipieller Rechnungsablauf Tap-Zone Ermittlung

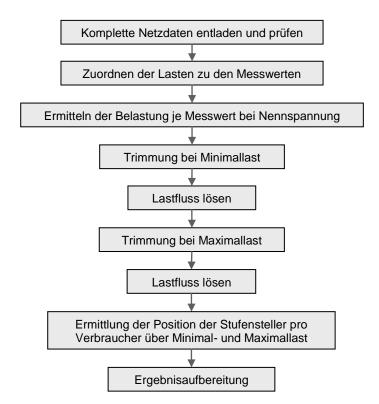


Bild: Ablaufdiagramm

Tap-Zone Ermittlung

8.1 Vorgaben für die Tap-Zone Ermittlung

Die Tap-Zone Ermittlung basiert auf einer vereinfachten Netzmodellierung. Dabei werden die Abgänge, in denen sich die Transformatoren sowie die zu versorgenden Verbraucher befinden, nur vereinfacht modelliert. Im Wesentlichen werden hierbei sowohl der Transformator als auch die zu versorgenden Verbraucher durch eine einfache Last (mit erweiterten Eingabedaten) modelliert.

Das folgende Bild zeigt ein vereinfachtes Netz zur Bestimmung der optimalen Transformatorstufenstellungen.

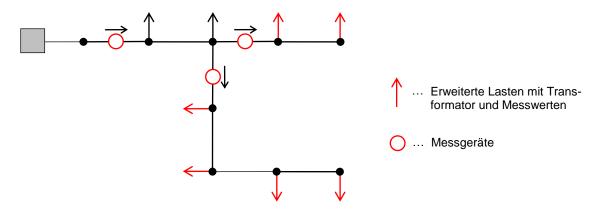


Bild: Netz für Tap-Zone Ermittlung

Im dargestellten Bild sind die rot markierten Lasten eine Kombination aus Transformator und Abnehmern. D.h. durch diese Last wird die komplette Auskopplung der Niederspannung modelliert. Bei dieser Last werden neben der Abnahmeleistung auch die Vorgaben zur Trimmung sowie die Charakteristik des Transformatorreglers hinterlegt.

Die im Netz platzierten Messgeräte beinhalten die an den Abgängen gemessenen Leistungen. Diese bilden die Grundlage für die weitere Trimmung der Lasten.

Zuordnung des Transformatorreglers zu den Lasten

Über die Kennlinie des Transformatorreglers wird bei der allgemeinen Last das Verhalten der Stufensteller eines Transformators simuliert. Als Eingabedaten werden die Zusatzspannungen benötigt.

Messwerte bei den Lasten

Als Messwerte können nur Ströme angegeben werden. Über den Strom und minimalen Strom wird analog zur Lastermittlung der minimale und maximale Leistungsfaktor bestimmt.

Als Ergebnis der Tap-Zone Ermittlung erhält man den minimalen und maximalen vorgegebenen Leistungsfaktor sowie den Strom und minimalen Strom, der sich einstellt, um die Stromvorgabe bei den Messgeräten zu erfüllen.

Messwerte bei den Messgeräten

Als Messwerte können Leistungen oder Ströme angegeben werden. Über den Strom und minimalen Strom wird analog zur Lastermittlung der minimale und maximale Leistungsfaktor bestimmt.

Als Ergebnis der Tap-Zone Ermittlung erhält man die minimale und maximale vorgegebene Leistung sowie den Strom und minimalen Strom am Messgeräte-Einbauort, der sich auf Grund der Belastungen ergibt.

8.2 Berechnung der optimalen Transformatorstufenstellungen

Trimmung für Minimal- und Maximallast

Im ersten Schritt wird im Netz sowohl für die Minimal- als auch Maximalwerte eine Lastermittlung durchgeführt. Dazu ist es erforderlich, das Netz topologisch zu analysieren, um festzustellen, wie Messgeräte und Lasten miteinander im Bezug stehen.

Alle Verbraucher, die in der Messrichtung eines Messgerätes liegen, werden über die Netztopologie dem Messgerät zugeordnet. Jedem Messgerät können beliebig viele Lasten zugeordnet werden. Lasten mit Messwerten werden in die Tap-Zone Ermittlung mit einbezogen. Lasten ohne Messwerte verbleiben mit ihrer vorgegebenen Leistung als konstante Last im Netz. Im folgenden Bild werden diese Zuordnungen durch Hervorhebung visualisiert.

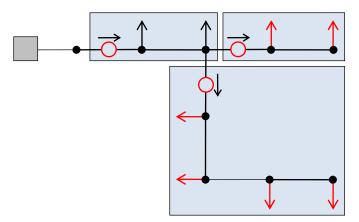


Bild: Zuordnung der Verbraucher zu den Messgeräten

Alle Messgeräte, die in der Messrichtung eines anderen Messgerätes liegen, werden dem jeweiligen Messgerät als untergeordnetes Messgerät zugeordnet. Die Ermittlung der untergeordneten Messgeräte erfolgt ebenfalls über die Netztopologie. Jedem Messgerät können beliebig viele Messgeräte untergeordnet werden. Auch in der Unterordnung von bereits untergeordneten Messgeräten gibt es keine Beschränkung.

Tap-Zone Ermittlung

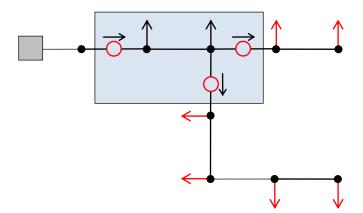


Bild: Zuordnung der Messgeräte zueinander

Bestimmung der optimalen Transformatorstufenstellungen

Nach der Lastermittlung wird jeweils eine Lastflussberechnung für Minimal- und Maximallast durchgeführt. Die Lastflussergebnisse werden bei den Verbrauchern hinterlegt. Darauf aufbauend wird die Stufenstellung so bestimmt, dass die trafounterseitige Spannung am Verbraucher sowohl für Minimal- als auch Maximalbelastung im zulässigen Spannungsband liegt. Das zulässige Spannungsband wird mit Hilfe der Berechnungsparameter Lastfluss definiert.

8.3 Ergebnisse der Tap-Zone Ermittlung

Von der Tap-Zone Ermittlung werden zwei Lastflussergebnisse bereitgestellt, welche den Netzzustand bei Minimal- und Maximalbelastung dokumentieren.

Die ermittelten optimalen Transformatorstufenstellungen werden für alle Knoten bereitgestellt, an denen entsprechende Verbraucher angeschlossen sind. Diese Tap-Zone Ergebnisse sind im Kapitel Spezielle Ergebnisse, Abschnitt Tap-Zone Ermittlung detaillierter beschrieben.

Darüber hinaus kann die Netzgrafik mit Hilfe der Auswertung Tap-Zone Ergebnisse eingefärbt werden. Hierbei werden Netzbereiche mit gleichen Transformatorstufenstellungen mit identischen Farben coloriert.

Zum genauen Beurteilen der Trafostufenstellungen sind spezielle Spannungsverlaufsdiagramme verfügbar, die den Spannungsverlauf im Abgang zeigen.

Tap-Zone Ermittlung

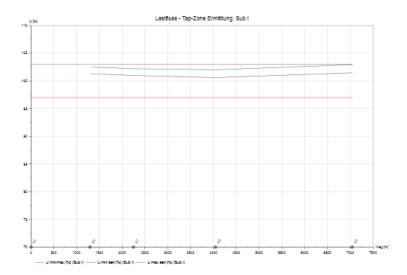


Bild: Diagramm Tap-Zone Ermittlung

9. Last anschließen

Das Ziel dieses Berechnungsverfahren ist es, dem Netzplaner einen Überblick der Auswirkungen der Versorgung einer neuen Last auf das Netz zu geben. Die Ergebnisse sind die wichtigsten Netzgrößen (kleinste Spannung, Änderung der Verluste, Auslastung, etc.) bei Anschluss einer Last an verschiedenen Punkten im Netz.

Voraussetzung für diese Berechnungsmethode ist ein lagerichtiges Netz mit einer unversorgten Last. Die genaue Vorgehensweise zum Anschließen der Last wird im Kapitel Anwendungsbeispiel für Last anschließen dargestellt.

Prinzipieller Rechnungsablauf Last anschließen

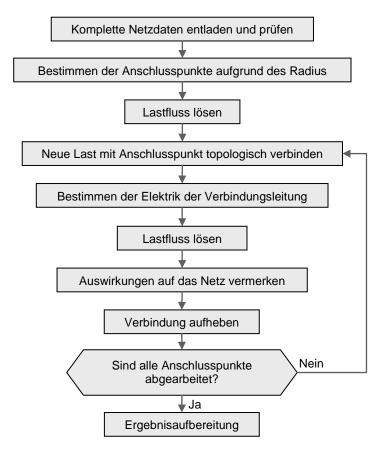


Bild: Ablaufdiagramm

9.1 Bestimmen der Anschlusspunkte im Netz

Über die grafischen Daten der lagerichtigen Knoten, Sammelschienen und Leitungen im Netz werden die möglichen Anschlusspunkte der neuen Last im Netz bestimmt.

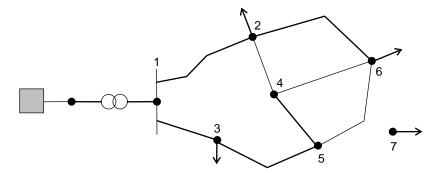


Bild: Lagerichtiges Netz mit neuer Last

Ausgehend vom Knoten der neuen Last werden über einem vom Benutzer vorzugebenden Anschlussradius die möglichen Anschlusspunkte bestimmt.

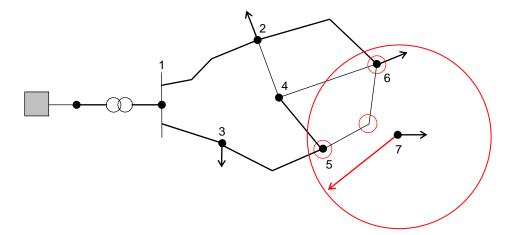


Bild: Anschlusspunkte auf Grund des Anschlussradius

9.2 Temporäres Anschließen der Last

Die Last wird an jeden möglichen Anschlusspunkten immer mit einer direkten Verbindungsleitung temporär angeschlossen, wenn Spannungsebene und Phasenangabe übereinstimmen.

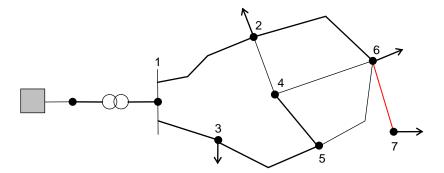


Bild: Temporär angeschlossene Last am Knoten 6

Bei Anschluss im Verlauf einer bestehenden Leitung wird diese unterteilt. Dadurch entsteht ein neuer temporärer Knoten für das Anschließen der Last über eine ebenfalls direkte Verbindungsleitung.

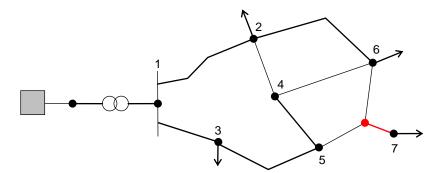


Bild: Temporär angeschlossene Last auf Leitung zwischen Knoten 5 und 6

Nach dem temporären Anschließen wird eine Lastflussberechnung durchgeführt. Die wichtigsten Netzgrößen dieser Lastflussberechnung werden als Ergebnis bereitgestellt.

9.3 Bestimmen der Elektrik der Verbindungsleitung

Die Verbindungsleitung wird elektrisch identisch zur stärksten am Anschlusspunkt bereits bestehenden Leitung ausgeführt.

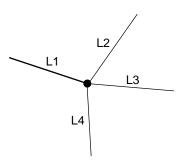


Bild: bestehende Leitungen am Anschlusspunkt

Die Auswahl erfolgt über den Absolutwert der Leitungsimpedanz. Die Verbindungsleitung wird elektrisch identisch zu jener mit der kleinsten absoluten Impedanz ausgeführt.

Leitung	Тур	Querschnitt	R	Х	Z
L1	NA2XSY	95	0,323	0,123	0,345
L2	NAKBA	95	0,323	0,100	0,338
L3	NKBA	120	0,157	0,097	0,184
L4	NYSY	120	0,169	0,200	0,261

Tabelle: Leitungsdaten für Bestimmen der Elektrik der Verbindungsleitung

Bei obiger Netzkonfiguration wird die Verbindungsleitung analog zur Leitung L3 ausgeführt.

9.4 Ergebnisse Last anschließen

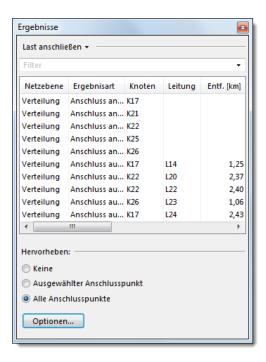


Bild: Ergebnisse Last anschließen

Für alle möglichen Anschlusspunkte im voreingestellten Suchradius wird ein Ergebnisdatensatz bereitgestellt. Dieser enthält die wichtigsten Attribute, die notwendig sind, um die vorgeschlagenen Anschlusspunkte zu beurteilen. Eine detaillierte Beschreibung der Ergebnisse ist im Kapitel Spezielle Ergebnisse, Abschnitt Last anschließen zu finden.

PV Kurven

10. PV Kurven

Die Berechnung der PV Kurven ist ein praktisches Hilfsmittel, um das Verhalten des Netzes bei Steigerung der Belastung an ausgewählten Lasten zu beurteilen. Dabei werden anhand der getroffenen Vorgaben die Abnahmeleistungen schrittweise erhöht und das Verhalten des Netzes durch eine Lastflussberechnung überprüft. Als Ergebnis werden Diagramme bereitgestellt, die das Verhalten des Netzes bei den verschiedensten Belastungspunkten dokumentieren.

Die genaue Vorgehensweise zum Berechnen der PV Kurven wird im Kapitel Anwendungsbeispiel für PV Kurven dargestellt.

Prinzipieller Rechnungsablauf PV Kurven

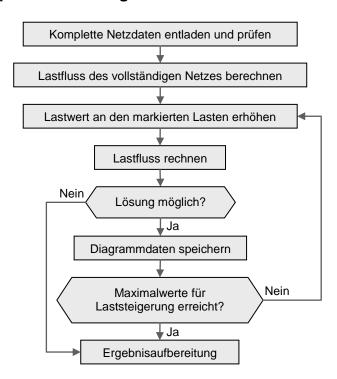


Bild: Ablaufdiagramm

10.1 Vorgaben für die Berechnung von PV Kurven

Die Berechnung der PV Kurven erfolgt an vordefinierten Lasten. Diese müssen im Grafikeditor markiert werden. An diesen Lasten kann dann die gewünschte Steigerung der Belastung getrennt für Wirk- und Blindleistung in Form von pu Faktoren vorgegeben werden.

PV Kurven

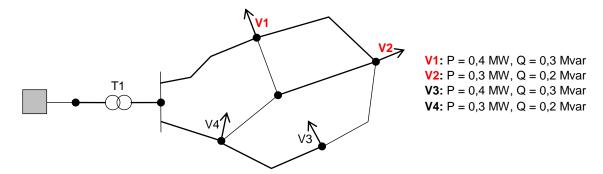


Bild: Netz mit ausgewählten Lasten zur Berechnung der PV Kurven

Im vorgegebenen Beispiel wurden die Lasten V1 und V2 ausgewählt. Die Lastwerte werden dabei wie folgt gesteigert:

- Faktor maximale Wirkleistung: fP = 3,0 pu
- Faktor maximale Blindleistung: fQ = 2,0 pu

10.2 Berechnung der PV Kurven

Zur Berechnung der PV Kurven wird zunächst ein gültiger Ausgangszustand benötigt. Hierzu wird eine Lastflussberechnung mit dem Originalnetz ohne Modifikationen durchgeführt.

Anschließend wird der Lastwert von allen ausgewählten Lasten so lange schrittweise gesteigert, bis der vorgegebene Grenzwert für die Wirk- und Blindleistung erreicht wird. Die Steigerung der Lasten erfolgt dabei nach folgender Methode:

$$P_{i \text{ neu}} = P_i * fP * \frac{Umlauf_{Akt}}{Umlauf_{Max}}$$

$$Q_{i neu} = Q_{i} * fQ * \frac{Umlauf_{Akt}}{Umlauf_{Max}}$$

Falls das Netz die geforderte Leistung für die Lasten nicht bereitstellen kann, wird die Berechnung abgebrochen.

Am Ende der Lastflussberechnungen ergeben sich folgende Lastwerte.

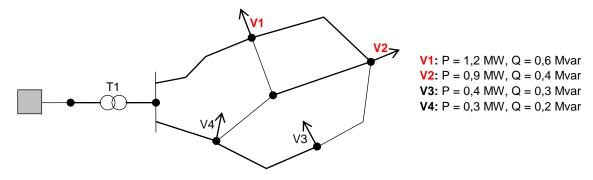


Bild: Netz mit maximalen Lastwerten

PV Kurven

Die Berechnung der PV Kurven kann (genauso wie die normale Lastflussberechnung auch) mit den Berechnungsparametern detailliert parametriert werden. Die Auswahl der Lastflussmethode, die Berücksichtigung von Grenzwerten und natürlich das Verhalten der Regelung erfolgt entsprechend der getroffenen Voreinstellungen. Somit kann z.B. die Simulation wahlweise mit/ohne Regelung von Generatoren und Stufenstellern erfolgen, je nachdem, welche Untersuchung durchgeführt wird.

10.3 Ergebnisse der PV Berechnung

Die Berechnungsergebnisse werden in Form von PV Diagrammen bereitgestellt. Diese werden automatisch für alle zur Laststeigerung ausgewählten Lasten und alle Einspeisungen im Netz generiert. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, erweiterte Diagramme für Netzelemente zu generieren. Hierzu muss bei diesen Elementen die entsprechende Kennung zur Generierung von Diagrammen aktiviert werden und auch in den Berechnungsparametern muss die entsprechende Option zur erweiterten Diagrammgenerierung ausgewählt werden.

Neben den Ergebnissen in Form von PV Diagrammen werden auch normale Lastflussergebnisse für den letzten Berechnungspunkt bereitgestellt. Damit kann dann die Strom- und Spannungsverteilung beim maximalen Belastungswert beurteilt werden.

11. Wiederversorgung

Das Ziel der Wiederversorgung ist es, bei Ausfall von Netzelementen alle versorgten Abnehmer (Lasten, Asynchronmaschinen, etc.) in einem gültigen Betriebszustand wieder zu versorgen. Dies erfolgt in erste Linie durch Schließen von Schaltern.

Sollte sich durch das Schließen von Schaltern kein gültiger Netzzustand einstellen, so werden Abnehmer auch reduziert oder abgeworfen, um einen gültigen Netzzustand für die restlichen Abnehmer zu erreichen.

Als Ergebnis werden alle durchgeführten Maßnahmen – inklusive der ausgefallenen Elemente – zur Verfügung gestellt.

Die Funktionalität der Wiederversorgung wird im Kapitel Anwendungsbeispiel für Wiederversorgung auf einfache Weise näher gebracht.

Prinzipieller Rechnungsablauf Wiederversorgung

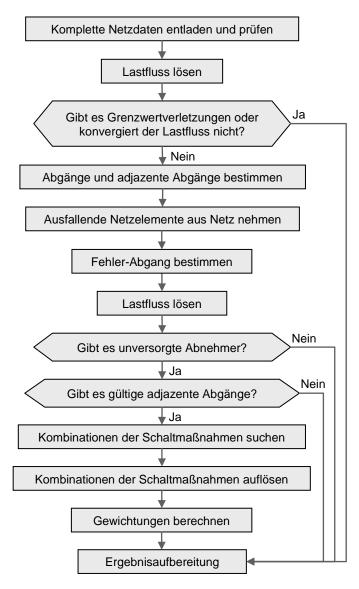


Bild: Ablaufdiagramm

11.1 Bestimmen des Ausgangszustandes

Der Ausgangszustand ist ein gültiger Lastfluss eines bestehenden Netzes. Alle in diesem Zustand versorgten Abnehmer müssen bei Ausfall eines Netzelementes wiederversorgt werden.

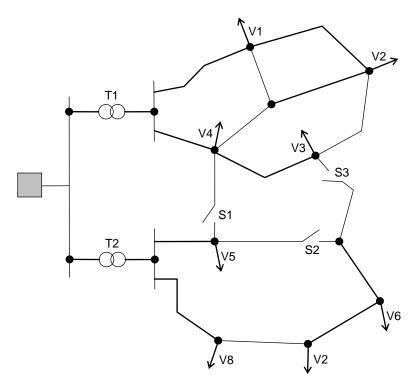


Bild: Netz vor Ausfall

Alle Netzelemente werden über die Transformatoren T1 und T2 vollständig versorgt.

11.2 Bestimmen der unversorgten Elemente bei Ausfall

Bei Ausfall des Transformators T1 ist der komplette dahinter liegende Netzteil unversorgt.

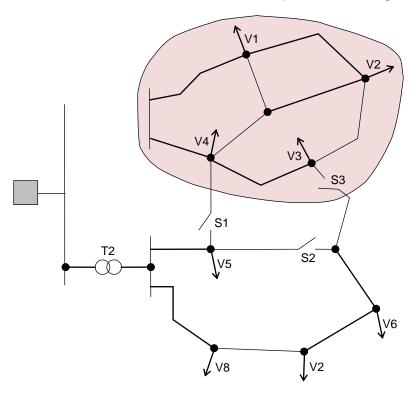


Bild: Teilweise versorgtes Netz bei Ausfall T1

Die Abnehmer V1 bis V4 müssen durch Schaltmaßnahmen wieder versorgt werden.

11.3 Bestimmen der Schaltmaßnahmen

Bei der Wiederversorgung wird zwischen dem Standardmodus und dem abgangsbasierenden Modus unterschieden.

Standardmodus

Durch eine Netzverfolgung beginnend von den ausgefallenen Abnehmern können alle jene offenen Schalter im Netz gefunden werden, die eine Wiederversorgung ermöglichen könnten.

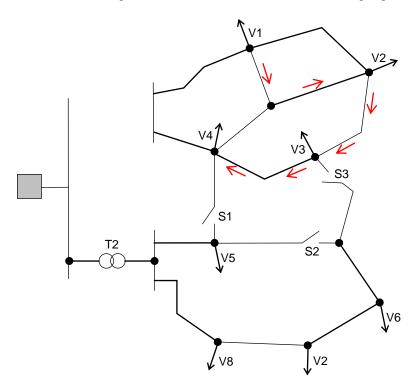


Bild: Netzverfolgung zum Finden von Schaltern für Wiederversorgung

Im dargestellten Fall wird die Netzverfolgung vom Verbraucher V1 begonnen, um die Schalter S1 und S3 zu ermitteln. Für den Algorithmus ist es jedoch egal, bei welchem Verbraucher begonnen wird. Es werden immer die begrenzenden Schalter gefunden.

Die so gefundenen Schalter S1 und S3 werden nun in der Wiederversorgungsberechnung geschlossen.

Abgangsbasierender Modus

Dieser Modus basiert auf einem Netz, welches mit Abgängen modelliert ist. Ausgehend von der Struktur der Abgänge wird versucht, die ausgefallenen Netzelemente durch Zuschaltung von ein oder mehreren adjacenten Abgängen zu versorgen. Hierzu wird folgendermaßen vorgegangen:

- Alle Abgänge mit deren benachbarten Abgängen werden bestimmt.
- Jener Abgang wird gesucht, der das Fehlerelement enthält.
- Alle Schalter, welche den Fehlerabgang von den anderen trennen, werden gesucht.
- Davon werden jene Schalter herausgefiltert, welche sich nach dem Fehlerelement befinden.

• Diese Schalter haben die Möglichkeit, den unversorgten Netzteil wieder zu versorgen.

Das folgende Bild zeigt einen Fehler in der Mitte eines Abganges, der verursacht, dass Lasten unversorgt sind. Mit Hilfe der Wiederversorgung soll nun sicher gestellt werden, dass alle Lasten korrekt versorgt werden und das Netz in einem zulässigen Betriebszustand ist.

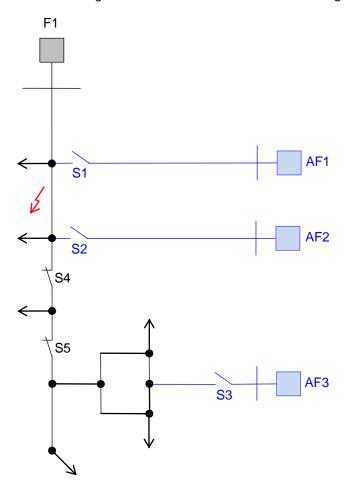


Bild: Abgangsbasierende Netzverfolgung zum Finden von gültigen Schaltern

Es wird davon ausgegangen, dass der Fehler im Abgang F1 freigeschaltet wird. D.h. die fehlerbehaftete Leitung ist komplett abgeschaltet. Dies bewirkt, dass die Lasten nach dem Fehler unversorgt sind.

Im dargestellten Fall werden drei adjacente Abgänge ermittelt (AF1, AF2 und AF3). Die zur Wiederversorgung geeigneten Abgänge sind AF2 und AF3, da sich die Trennstellen S2 und S3 nach dem Fehler befinden. Damit können die dem Fehler nachgeschalteten unversorgten Lasten versorgt werden.

Der Wiederversorgungsalgorithmus versucht nun mittels Zuschaltung des Abganges AF2 durch Schließen des Schalters S2 einen korrekten Betriebszustand wieder herzustellen. Falls der Abgang AF2 durch die Anzahl der zusätzlich zu versorgenden Lasten überlastet wird, muss versucht werden, mittels Zuschaltung eines weiteren adjacenten Abganges die Last zu verteilen. Im dargestellten Beispiel würde dann der Abgang AF3 durch Schließen des Schalters S3 zugeschaltet werden. Gleichzeitig wird aber sicher gestellt, dass die beiden adjacenten Abgänge nicht zusammen geschaltet werden. D.h. die passenden Trennstellen im Abgang F1 werden geöffnet. Im Beispiel sind dies die Trennstellen S4 und S5. Das Öffnen erfolgt so, dass sowohl die zu versorgenden Lasten möglichst optimal auf die adjacenten Abgänge aufgeteilt werden als auch möglichst wenige Schaltmaßnahmen durchgeführt werden müssen.

11.4 Prüfen der Wiederversorgung

Nach dem Schließen der Schalter wird eine neuerliche Lastflussberechnung durchgeführt.

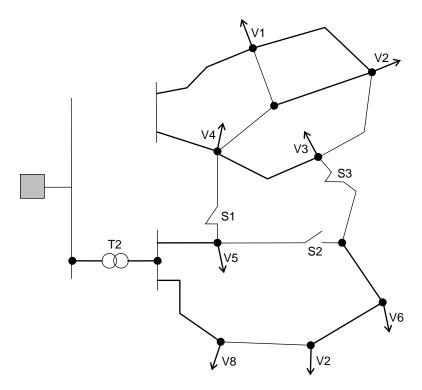


Bild: Netz bei Wiederversorgungslastfluss

Können alle Abnehmer ohne Probleme in diesem Netzzustand versorgt werden, so kann die Wiederversorgungsberechnung beendet werden.

11.5 Lastreduktion

Bei Problemen im Wiederversorgungslastfluss wird zuerst die erweiterte Impedanzlastumwandlung aktiviert. Dadurch werden die abgenommenen Leistungen in Abhängigkeit der Spannung reduziert.

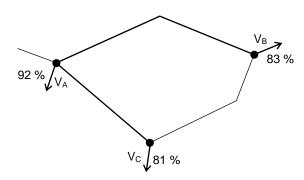


Bild: Netzausschnitt mit Spannungen bei Leistungsreduktion

Die Abnehmer V_B und V_C sind an einem Knoten mit einer Spannung kleiner 85 Prozent angeschlossen und werden reduziert. Dieser Netzzustand steht nach der Wiederversorgungsberechnung in Form von Lastflussergebnissen zu Verfügung.

11.6 Abwurf

Die Spannungsgrenze für den Abwurf ist bei den Lastfluss Berechnungsparametern unter **Untergrenze Spannung** und **Obergrenze Spannung** anzugeben. Werden trotz erweiterter Impedanzlastumwandlung die Spannungsgrenzen verletzt, werden Abnehmer komplett aus dem Netz genommen.

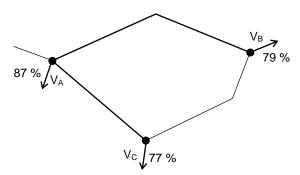


Bild: Netzausschnitt mit Spannungen bei Abwurf

Bei einer Vorgabe von 80 % für die untere Spannungsgrenze tritt im obigen Netzausschnitt eine Verletzung der Spannungsgrenze in zwei Knoten auf, da die Abnehmer V_B und V_C an einem Knoten mit einer Spannung kleiner 80 Prozent angeschlossen sind. Dieser Netzzustand ist nicht direkt in Form von Lastflussergebnissen verfügbar. Er kann jedoch während der Wiederversorgungsberechnung auftreten. Der Abnehmer V_C liegt am Knoten mit der kleineren Spannung und wird daher zuerst abgeworfen, um wieder zu einem gültigen Betriebszustand zu gelangen.

Für den Abwurf werden die Abnehmer in folgende Gruppen eingeteilt:

Bevorzugte Abnehmer für den Abwurf: Dies sind all iene Abnehmer die bei dem zu untersueber

Dies sind all jene Abnehmer, die bei dem zu untersuchenden Ausfall temporär unversorgt waren.

• Allgemeine Abnehmer für den Abwurf:

Dies sind all jene Abnehmer, die bei dem zu untersuchenden Ausfall immer versorgt waren (alle nicht bevorzugten).

Erst wenn keine Abnehmer aus der bevorzugten Gruppe für den Abwurf anstehen, werden auch Abnehmer aus der allgemeinen Gruppe abgeworfen. Der Abwurf der Abnehmer erfolgt immer nur einzeln. Nach dem Abwurf eines Abnehmers wird sofort wieder versucht, den Lastfluss mit den jeweiligen verbleibenden Abnehmern zu lösen.

11.7 Ergebnisse Wiederversorgung

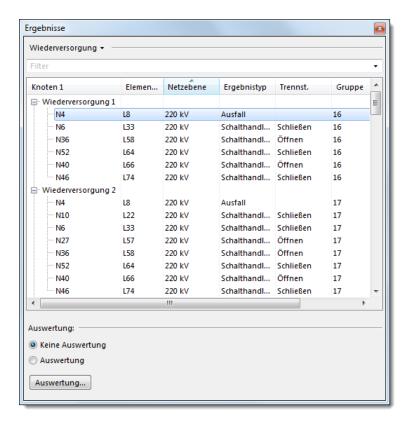


Bild: Ergebnisse Wiederversorgung

In diesem Ergebnisfenster werden alle erforderlichen Maßnahmen zur Wiederversorgung dokumentiert. Dabei werden jeweils das entsprechende Netzelement sowie die Wiederversorgungsmaßnahme ausgewiesen. Eine detaillierte Beschreibung der Ergebnisse ist im Kapitel Ergebnisse der Lastflussberechnung, Abschnitt Wiederversorgung zu finden.

12. Anschlussbedingungen prüfen

Mit diesem Berechnungsverfahren werden die Anschlussbedingungen für eine Erzeugungsanlage anhand der bdew Richtlinie "Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz – Richtlinie für Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz" überprüft.

Im Zuge des Berechnungsverfahrens werden dabei folgende Überprüfungen vorgenommen:

- Auslastung der Netzelemente
- Spannungsänderung
- Schnelle Spannungsänderung
- Langzeitflicker
- Oberschwingungen

Die Ergebnisse der Prüfung werden sowohl übersichtlich in der Ergebnisansicht visualisiert, als auch in Form eines umfassenden Word Dokumentes zur Verfügung gestellt.

Die Prüfung der Anschlussbedingungen erfolgt durch die Kombination der Berechnungsverfahren Lastfluss, Kurschluss und Oberschwingungen sowie diverser temporärer Änderungen der Netzkonfiguration. D.h. um eine Prüfung der Anschlussbedingungen durchführen zu können, sind die entsprechenden Berechnungslizenzen erforderlich.

Voraussetzungen für das Berechnungsverfahren

Wie bereits in der Einleitung dargestellt, basiert das Berechnungsverfahren auf einer bdew Richtlinie, die den Anschluss von Erzeugungsanlagen in Mittelspannungsnetzen regelt. Davon ausgehend müssen bei der Modellierung des Netzes folgende Punkte beachtet werden:

- Eine separate Modellierung des Mittelspannungs- und des Niederspannungsnetzes muss vorliegen, da die Bewertung auch separat für diese Netze durchgeführt wird.
- Das untergelagerte Niederspannungsnetz sollte so modelliert sein, dass auf der Mittelspannungsseite des Netztransformators eine Netzeinspeisung vorliegt. Dies garantiert, dass das Mittelspannungsnetz bei der Bewertung im Niederspannungsnetz nicht mit einfließt.

Bei der Modellierung der Transformatoren müssen folgende Punkte beachtet werden:

- Das Mittelspannungsnetz muss mit Zweiwicklungstransformatoren gespeist werden, Dreiwicklungstransformatoren werden nicht unterstützt!
- Die Regelung der Transformatoren sollte auf 100 % 100 % eingestellt sein. Damit lassen sich dann Ergebnisse leichter nachvollziehen.

Bei der Modellierung der Generatoren müssen folgende Punkte beachtet werden:

- Die zu untersuchenden Generatoren müssen als Eingabeformat P und Q haben.
- Blockgeneratoren im Mittelspannungsnetz werden noch nicht unterstützt. Daher müssen Mittelspannungseinspeisungen als direkt angeschlossene Generatoren modelliert werden.

Anschlussbedingungen prüfen

12.1 Steuerdaten für die Prüfung

Die Berechnung der Anschlussbedingungen wird mit einem speziellen Steuerdialog parametriert. In diesem können alle relevanten Daten zur Prüfung definiert werden. Die hier vorgenommenen Einstellungen werden in einer XML Datei im _files Verzeichnis des PSS SINCAL Netzes gespeichert.

Im Steuerdialog sind folgende Register verfügbar, in denen die unterschiedlichen Daten eingegeben werden können:

- Projektdaten
- Technische Daten
- Erweiterte Daten

Wenn alle erforderlichen Optionen im Steuerdialog definiert wurden, kann die eigentliche Berechnung durch Klicken des Knopfes **Berechnen** gestartet werden. Die im Dialog vorgenommenen Einstellungen werden hierbei automatisch gespeichert.

Falls nur die geänderten Eingabedaten gespeichert werden sollen (ohne die Berechnung zu starten), kann hierzu der Knopf **Speichern** verwendet werden. Damit wird der Dialog geschlossen und alle Einstellungen werden gespeichert.

Projektdaten

In diesem Register des Steuerdialoges werden die allgemeinen Projektdaten definiert.

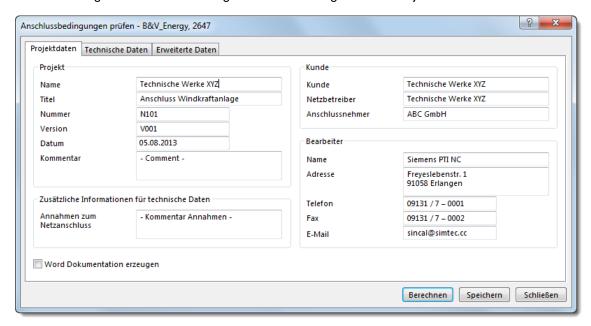


Bild: Projektdaten von Anschlussbedingungen prüfen

Die hier definierten Daten werden im Titelblatt der Word Dokumentation ausgewiesen. Mit der Option **Word Dokumentation** erzeugen kann gesteuert werden, ob das Dokument direkt im Anschluss an die Berechnung generiert werden soll. Falls die Option nicht aktiv ist, kann die Word Dokumentation später auch jederzeit manuell generiert werden. Hierzu ist in der Ergebnisansicht eine spezielle Funktion verfügbar.

Technische Daten

In diesem Register werden die technischen Daten der anzuschließenden Erzeugungsanlage definiert.

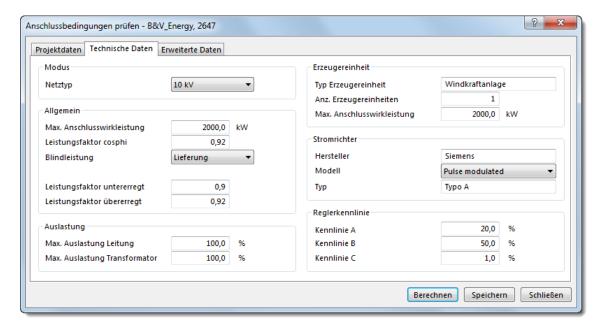


Bild: Technische Daten von Anschlussbedingungen prüfen

Mit den hier definierten Daten werden die grundlegenden technischen Eigenschaften der Erzeugungsanlage beschrieben. Anhand dieser Daten erfolgt dann auch die Bewertung der Zulässigkeit des Anschlusses am gewählten Einbauort.

Modus

Im Feld **Netztyp** wird die Netzebene der Erzeugeranlage angegeben. Abhängig von diesem Typ sind manche Einträge im Bericht und Einschränkungen bei den Berechnungen.

Allgemein

Die **Max.** Anschlusswirkleistung ist die Summe der Anschlusswirkleistungen aller Erzeugereinheiten.

Im Feld **Leistungsfaktor cosphi** wird der Leistungsfaktor für die zu bewertende Maschine angegeben.

Über die Auswahlliste **Blindleistung** kann das Verhalten der Maschine festgelegt werden. Hier kann zwischen **Lieferung** und **Bezug** von Blindleistung gewählt werden.

Die Werte **Leistungsfaktor untererregt** und **Leistungsfaktor übererregt** dienen nur zu Dokumentationszwecken.

Anschlussbedingungen prüfen

Auslastung

Die Felder Max. Auslastung Leitung und Max. Auslastung Transformator bestimmen die maximal erlaubten Auslastungen der Elemente bei der Lastflussberechnung.

Erzeugereinheit

Der Typ der Erzeugereinheit wird nur zu Dokumentationszwecken benutzt.

Ist die **Anzahl der Erzeugereinheiten** größer als 1, bedeutet das, dass das Modell der Erzeugeranlage in PSS SINCAL mehrere Einheiten darstellt. Dabei wird im Abschnitt **Allgemein** als **Max. Anschlusswirkleistung** die Summe der Anschlusswirkleistungen aller Einheiten angegeben.

Als **Max. Anschlusswirkleistung** im Abschnitt **Erzeugereinheit** wird die Wirkleistung der größten Einheit definiert. Diese Zahl wird sowohl bei der Oberschwingungsberechnung als auch bei der Flickerberechnung und den schnellen Spannungsänderungen berücksichtigt. Bei der Oberschwingungsberechnung und Flickerberechnung wird angenommen, dass alle Erzeugereinheiten die gleiche Größe aufweisen.

Stromrichter

Die Felder **Hersteller**, **Modell** und **Typ** bestimmen, wie die Oberschwingungsströme mehrerer Erzeugereinheiten addiert werden.

Reglerkennlinie

Die Daten in den Feldern **Kennlinie A**, **Kennlinie B** und **Kennlinie C** bestimmen die Reglerkennlinie. Mit diesen Daten wird die Simulation durchgeführt und der entsprechende Graph für Spannungsänderungen wird erzeugt, sofern diese Einstellungen bei der Erzeugeranlage vorhanden sind.

Erweiterte Daten

In diesem Register werden die Steuerparameter für die verschiedenen Überprüfungen definiert.

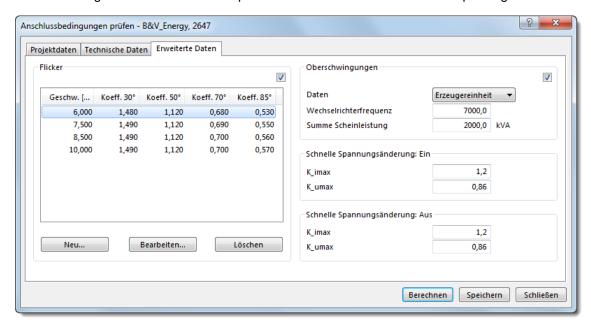


Bild: Erweiterte Daten von Anschlussbedingungen prüfen

Die Überprüfung der Auslastung sowie jene der Spannungsänderungen werden immer durchgeführt. Die Überprüfung auf Einhaltung der Grenzwerte für Flicker und Oberschwingungen kann wahlweise aktiviert oder deaktiviert werden.

Flicker

Wird die Option **Flicker** ausgewählt, so wird die Flickerberechnung durchgeführt. Dafür müssen die Flickerkoeffizienten in der Tabelle eingetragen werden. Die Flickerberechnung wird für jede angegebene Windgeschwindigkeit durchgeführt.

Durch Klicken des Knopfes Neu kann ein neuer Flickerkoeffizient erstellt werden.

Wird der Knopf **Bearbeiten** angeklickt, so wird ein Dialog zum Bearbeiten des selektierten Flickerkoeffizienten geöffnet.

Mit dem Knopf Löschen kann der selektierte Flickerkoeffizient aus der Liste entfernt werden.

Oberschwingungen

Ist die Option **Oberschwingungen** aktiviert, so wird die Oberschwingungsberechnung durchgeführt. Diese Ergebnisse werden dann anhand der BDEW Richtlinien beurteilt.

Im Feld **Daten** kann gewählt werden, ob die Oberschwingungsströme für eine Erzeugereinheit oder für eine ganze Erzeugeranlage angegeben werden. In beiden Fällen ist die Erzeugeranlage in PSS SINCAL als eine Erzeugereinheit modelliert.

Anschlussbedingungen prüfen

Sind die Oberschwingungsdaten für die Erzeugeranlage angegeben, dann findet keine Addierung statt. Sind die Oberschwingungsdaten für die Erzeugereinheit angegeben, dann werden diese nach den BDEW Richtlinien addiert. Die **Wechselrichterfrequenz** bestimmt, wie die Oberschwingungsströme oberhalb der 2. Ordnung berechnet werden.

Die **Summe der Scheinleistung** gibt an, wie hoch die anschließbare oder geplante Einspeiseleistung an diesem Verknüpfungspunkt ist.

Schnelle Spannungsänderungen

In diesen Bereichen werden minimal und maximal zulässige Faktoren für die schnelle Spannungsänderung angegeben.

12.2 Ergebnisse Anschlussbedingungen prüfen

Die Ergebnisse des Berechnungsverfahrens werden in der Ergebnisansicht visualisiert.

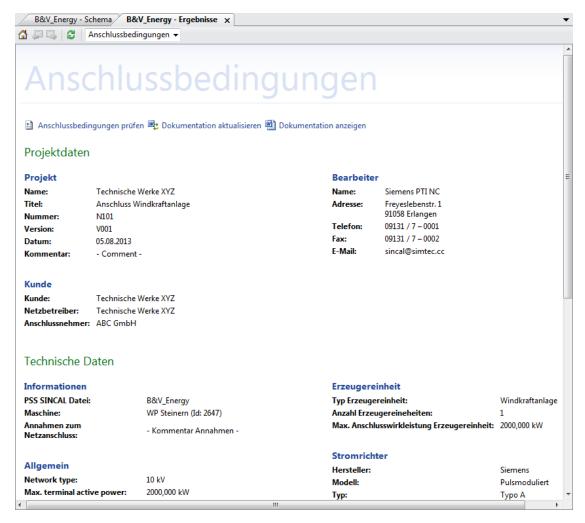


Bild: Ergebnisse Anschlussbedingungen prüfen

Anschlussbedingungen prüfen

Die Ansicht enthält die wichtigsten Eingabedaten und stellt im Abschnitt **Results** dar, ob die durchgeführten Prüfungen erfolgreich waren oder fehlgeschlagen sind. Dies ermöglicht eine schnelle Bewertung der Zulässigkeit des Anschlusses der Erzeugungsanlage.

Direkt in der Ergebnisansicht sind auch Steuerknöpfe verfügbar.

Anschlussbedingungen pr üfen

Der Knopf **Anschlussbedingungen prüfen** öffnet den Dialog mit den Steuerdaten und ermöglicht es, diese zu ändern sowie die Berechnung erneut zu starten.

Dokumentation aktualisieren

Mit dem Knopf **Dokumentation aktualisieren** kann die Word Dokumentation aktualisiert bzw. neu erstellt werden.

Dokumentation anzeigen

Der Knopf **Dokumentation anzeigen** öffnet das Word Dokument, welches eine detaillierte Aufstellung der durchgeführten Prüfungen sowie die entsprechenden Ergebnisse enthält.

Spezielle erweiterte Berechnungen

13. Spezielle erweiterte Berechnungen

Im Anschluss an die symmetrische Lastflussberechnung können erweiterte Berechnungen von diversen Kenngrößen aktiviert werden. Anhand dieser so errechneten Kenngrößen kann eine erweiterte Beurteilung des Netzes vorgenommen werden.

Die erweiterten Berechnungen werden in den Berechnungsparametern aktiviert. Zurzeit sind folgenden Berechnungen verfügbar:

- Belastungsfaktor
- Nodal Transmission Loss Factor (TLF)

13.1 Belastungsfaktor

Der Belastungsfaktor ist das Existenzmaß für die Lösung der Lastflussgleichung. Mit diesem kann bestimmt werden, ob eine Lösung des Lastflussproblems überhaupt möglich ist. D.h. wenn der Belastungsfaktor die Existenzgrenze erreicht, dann ist ein Knoten nicht weiter belastbar. Wird die Last am Knoten dennoch weiter erhöht, dann kann die Lastflussgleichung nicht gelöst werden.

Der Belastungsfaktor wird für alle Knoten des Netzes bestimmt. Hierzu wird nach der Lastflussberechnung der Belastungsfaktor mit einem speziellen Gauß-Seidel-Algorithmus errechnet.

Im Folgenden wird die Berechnung des Belastungsfaktors näher erläutert. Ausgangspunkt ist die quadratische Netzleistungsgleichung in der folgenden Formulierung:

$$\underline{V}_{j}^{*}[-\underline{Y}_{j1}-\underline{Y}_{j2}\ldots+\underline{Y}_{jj}\ldots-\underline{Y}_{jn}]\begin{bmatrix}\underline{V}_{1}\\\vdots\\\underline{V}_{n}\end{bmatrix}=\underline{S}_{j}^{*}$$

$$j = 1, 2 \dots n$$

mit

$$\underline{Y} = [\underline{Y}_{ji}], \underline{Y}_{ji} = G_{ji} + iB_{ji} = Y_{ji}e^{i\Phi_{ji}}$$

$$i = 1, 2 ... n$$

$$\underline{V}_j = V_j e^{i\Phi_j}$$

$$\underline{S}_{j} = S_{j}e^{i\sigma_{j}} = P_{j} + iQ_{j}$$

Y ... Knotenadmittanzmatrix

V_i ... Knotenspannung

Si ... Knotenleistung

Gesucht sind nun für das gesamte Netz (außer den Slack-Knoten) alle Spannungen nach Betrag und Leiter. Zur Lösung wird die Lastflussgleichung durch Einführung der Lastrestnetzspannung entkoppelt. Dabei werden alle Nachbarknoten, mit denen der Knoten j verbunden ist, zusammengefasst. Der Konten j sieht dann nur einen Ersatznachbarn:

$$\underline{E}_{j} = E_{j} e^{i\Phi_{j}} = \sum_{k=1}^{n} \frac{\underline{Y}_{jk}}{\underline{Y}_{jj}} \underline{V}_{k}$$

$$k \neq j$$

Damit ergibt sich die folgende Netzleistungsgleichung:

$$\underline{V}_{j}^{*}\underline{V}_{j}-\underline{E}_{j}\underline{V}_{j}^{*}=\frac{1}{Y_{jj}}\underline{S}_{j}^{*}e^{-i\Phi_{jj}}$$

In weiterer Folge ergibt sich eine dimensionslose quadratische Gleichung, die den bezogenen Knotenwerten die knotenorientierten Leistungen Pjj und Qjj zuordnet.

$$\begin{bmatrix} P_{jj} \\ Q_{jj} \end{bmatrix} = \frac{1}{Y_{jj}E_j^2} \begin{bmatrix} \cos\Phi_{jj} & -\sin\Phi_{jj} \\ \sin\Phi_{jj} & \cos\Phi_{jj} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_j \\ Q_j \end{bmatrix}$$

Per Definition muss, wenn eine Lösung existieren soll, die folgende Bedingung erfüllt sein:

$$\frac{\left|Q_{jj}\right|}{e_{i}} \leq 1$$

$$e_i \ge 0$$

Hier kann nun der Belastungsfaktor wie folgt formuliert werden:

$$\Delta_{jj} = \frac{P_{jj}^2 + Q_{jj}^2}{(1 + 2P_{jj})^2} \ge 0$$

Eine reelle Lösung für das Lastflussproblem existiert nur, wenn für den Belastungsfaktor die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$\Delta_{jj} \leq \frac{1}{4}$$

Neben der reinen Existenzprüfung ist der Belastungsfaktor aber auch ein sehr sensitives Maß, um die Auswirkung der Belastung der Knoten zu analysieren. Hierbei kann durch Variation der Lastwerte an einem Knoten untersucht werden, wie signifikant diese Änderung tatsächlich ist. Speziell für die Einhaltung der Betriebssicherheit des Netzes ist die Kenntnis der möglichen Grenzbelastung der Knoten von großer Bedeutung. Durch Variation der Belastung mit Kontrolle des Belastungsfaktors kann dieser Grenzwert bestimmt werden.

Spezielle erweiterte Berechnungen

Das Verfahren zur Ermittlung des Belastungsfaktors basiert auf der Dissertation von Dr. Erwin Lerch mit dem Thema "Ein neues Verfahren zur robusten Lösung stationärer Arbeitspunktprobleme im elektrischen Energienetz".

Belastungsfaktor in PSS SINCAL

Der Belastungsfaktor in PSS SINCAL wird bei den Lastfluss-Knotenergebnissen im Feld **Faktor erw. Berechnung** zur Verfügung gestellt.

Wie bereits erwähnt, bewegt sich der Belastungsfaktor im Bereich von 0,0 bis 0,25. Zur besseren Ablesbarkeit wird dieser aber auf den Bereich von 0 bis 100 skaliert. Ein Wert von 100 würde also dem maximalen Belastungsfaktor von 0,25 entsprechen.

13.2 Nodal Transmission Loss Factor (TLF)

Die Zielsetzung dieses Berechnungsverfahrens ist es, einen Satz von durchschnittlichen Übertragungsverlustfaktoren für Knoten zu bestimmen. Diese Verlustfaktoren beinhalten die Stromwärmeverluste und weitere Wirkverluste. Die Verluste werden dabei global mit dem Faktor 0,5 skaliert.

Die Übertragungsverlustfaktoren (TLF) werden für jeden Knoten im Netz ermittelt. Der dem Knoten zugeordnete TLF ist definiert als inkrementelle Änderung der Netzverluste L bei einer zusätzlichen Einspeisung von Energie Pn.

$$TLF_n = \frac{\Delta L}{\Delta P_n}$$

Die TLF beinhalten nur die Wirkverluste – induktive und kapazitive Netzverluste werden nicht berücksichtigt. Wie bereits erwähnt, werden diese Verluste wie folgt unterteilt:

- Stromwärmeverluste (abhängig vom Belastungszustand des Netzes)
- Konstante Verluste (unabhängig vom Belastungszustand)

In einem Netz mit der Gesamtzahl der Stromkreise M sind die gesamten Stromwärmeverluste die Summe der Verluste der einzelnen Stromkreise k:

$$L^h = \sum_{k=1}^M L^h_k$$

Anhand obiger Gleichung kann der TLF für einen Knoten wie folgt ausgedrückt werden:

$$\mathsf{TLF}_n = \frac{\Delta L^h}{\Delta P_n} = \frac{\Delta}{\Delta P_n} (\sum_{k=1}^M L^h_k) = \sum_{k=1}^M \frac{\Delta L^h_k}{\Delta P_n}$$

Spezielle erweiterte Berechnungen

Nodal Transmission Loss Factor in PSS SINCAL

Der TLF in PSS SINCAL wird bei den Lastfluss-Knotenergebnissen im Feld **Faktor erw. Berechnung** zur Verfügung gestellt.

Folgendes ist zu beachten: Der TLF wird nur bei symmetrischen Netzen berechnet.

Ergebnisse der Lastflussberechnung

14. Ergebnisse der Lastflussberechnung

Das Berechnungsverfahren Lastfluss stellt verschiedenste Ergebnisse zur Beurteilung und Analyse des Netzbetriebszustandes zur Verfügung. Zum besseren Verständnis werden hier die folgenden Ergebnisse genauer beschrieben:

- Lastflussergebnisse Genauigkeit
- Lastflussergebnisse Teilnetzverluste
- Lastflussergebnisse Leistungsdaten
- Lastflussergebnisse Leistungsbilanz
- Lastflussergebnisse Regelstufe
- Lastflussergebnisse Netzbereich
- Lastflussergebnisse Netzbereich Transfer
- Knotenergebnisse Lastfluss
- Knotenergebnisse Unsymmetrischer Lastfluss
- Zweigergebnisse Lastfluss
- Zweigergebnisse Unsymmetrischer Lastfluss
- Ergebnisse Lastermittlung
- Ergebnisse Tap-Zone Ermittlung
- Ergebnisse Last anschließen
- Ergebnisse Wiederversorgung
- Ergebnisse übernehmen

Lastflussergebnisse Genauigkeit

Die Genauigkeit gibt einen Überblick über den Erfolg der Lastflussberechnung. Die folgenden Ergebnisse werden für die Genauigkeit bereitgestellt.

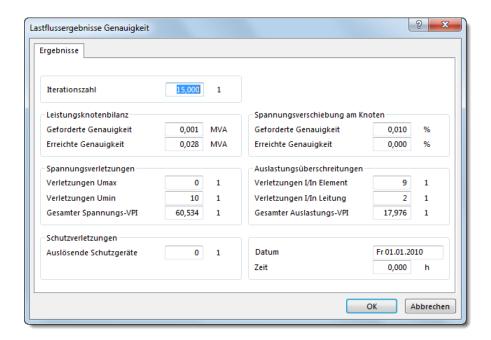


Bild: Datenmaske Lastflussergebnisse - Genauigkeit

Die Konvergenz der Lastflussberechnung wurde nach den im Feld **Iterationszahl** ausgewiesenen Iterationen erreicht.

Leistungsknotenbilanz

Die in der Leistungsbilanz **geforderte Genauigkeit** ist die maximale Summe der zu- und abfließenden Leistungen an einem Knoten. Sie muss unterschritten sein, damit die Lastflussberechnung erfolgreich beendet werden kann.

Die in der Leistungsbilanz **erreichte Genauigkeit** ist die maximale Summe der zu- und abfließenden Leistungen an einem Knoten nach der letzten Iteration.

Spannungsverschiebung am Knoten

Die in der Spannungsverschiebung am Knoten **geforderte Genauigkeit** ist die maximale Differenz einer Knotenspannung zwischen der aktuellen und der vorhergehenden Iteration. Sie muss unterschritten sein, damit die Lastflussberechnung erfolgreich beendet werden kann.

Die in der Spannungsverschiebung am Knoten **erreichte Genauigkeit** ist die maximale Differenz einer Knotenspannung zwischen der letzten und vorletzten Iteration.

Spannungsverletzungen

Unter **Verletzungen Umax** ist die Anzahl der Verletzungen der Spannungsobergrenze (Überschreitung der vorgegebenen maximalen Spannung) in den Knoten angegeben.

Unter **Verletzungen Umin** ist die Anzahl der Verletzungen der Spannungsuntergrenze (Unterschreiten der vorgegebenen minimalen Spannung) in den Knoten angegeben.

Ergebnisse der Lastflussberechnung

Unter **Gesamter Spannungs-VPI** (Gesamter Spannungs-Violation Performance Index) wird ein quadratischer Index für die Knotenspannungen angegeben. Je kleiner der Index ist, umso gleichmäßiger sind die Spannungen im Netz. Eine detaillierte Beschreibung zum VPI ist im Kapitel Violation Performance Indices (VPI) im Handbuch Ausfallanalyse zu finden.

Auslastungsüberschreitungen

Unter **Verletzungen I/In Element** ist die Anzahl der Verletzungen der Auslastungsgrenze (Überschreitung der maximalen Auslastung) von Elementen (Transformatoren, Synchronmaschinen, Asynchronmaschinen, etc.) angegeben.

Unter **Verletzungen I/In Leitung** ist die Anzahl der Verletzungen der Auslastungsgrenze (Überschreitung der maximalen Auslastung) von Leitungen (Freileitungen, Kabel und Verbindungen) angegeben.

Unter **Gesamter Auslastungs-VPI** (Gesamter Auslastungs-Violation Performance Index) wird ein quadratischer Index für die Auslastung der Elemente angegeben. Je kleiner der Index ist, umso kleiner sind die Auslastungen der Elemente.

Schutzverletzungen

Unter **Auslösende Schutzgeräte** ist die Anzahl der auslösenden Schutzgeräte aufgrund der Lastflussströme und Lastflussspannungen angegeben. Die Prüfung der Auslösung aufgrund der Lastflussbedingungen muss bei den Berechnungsparametern Schutzkoordination aktiviert sein.

Das Netz wird zeitlich betrachtet und für das ausgewiesene Datum berechnet. Für die Lastflussberechnung selbst und für fast alle lastflussbasierenden Berechnungen wird das Netz für das bei den Berechnungsparametern Basisdaten angegebene Betrachtungsdatum berechnet. Für die Lastentwicklung wird das Netz für mehrere Zeitpunkte berechnet. Diese Berechnungszeitpunkte ergeben sich aus den Errichtungs- und Stilllegungszeitpunkten der Netzelemente sowie aus dem Zeitraum für die Lastentwicklung. Weitere Informationen zur zeitlichen Betrachtung finden Sie im Kapitel Netzberechnung, Abschnitt Zeitliche Betrachtung des Netzes des Handbuches Eingabedaten.

Für die Lastprofilberechnung wird zusätzlich auch noch die **Zeit** angegeben. Für alle übrigen lastflussbasierenden Berechnungen (Lastentwicklung, Last anschließen, Lasttrimmung, PV-Kurven, ...) beträgt die Zeit 0,0 Stunden.

Lastflussergebnisse Teilnetzverluste

Die Verluste der Netzelemente eines jeden Teilnetzes werden von der Berechnung als Summenwerte ermittelt. Die folgenden Ergebnisse werden für die Teilnetzverluste bereitgestellt.

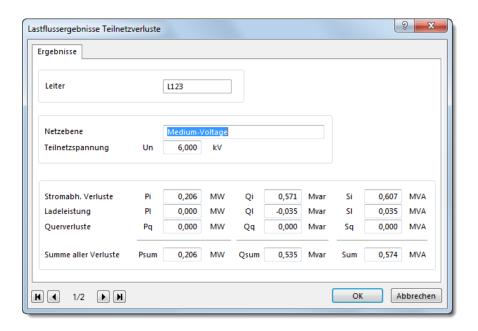


Bild: Datenmaske Lastflussergebnisse - Teilnetzverluste

Die symmetrische Lastflussberechnung stellt die Verluste für alle **Leiter** gemeinsam (L123) zur Verfügung. Die unsymmetrische Lastflussberechnung stellt die Verluste einzeln je Leiter (L1, L2, L3) und als Summe über alle Leiter (L123) zur Verfügung.

Im Feld Netzebene steht der Name der Netzebene zur Identifizierung.

Die Teilnetzspannung ist die verkettete Spannung der Netzebene.

Die **stromabhängigen Verluste** werden als Wirk-, Blind- und Scheinleistungsverluste ausgewiesen. Der Realteil der stromabhängigen Verluste entspricht den Wirkverlusten. Der Imaginärteil der stromabhängigen Verluste entspricht dem Blindleistungsbedarf. Der Absolutwert der stromabhängigen Verluste entspricht den Scheinverlusten. Wirkverluste werden als positiver Wert ausgewiesen. Ein induktiver Blindleistungsbedarf wird positiv und ein kapazitiver Blindleistungsbedarf wird negativ ausgewiesen.

Die **Ladeleistung** wird wegen der Darstellung in Tabellenform ebenfalls als Wirk-, Blind- und Scheinleistung ausgewiesen. Der Realteil der Ladeleistung ist immer gleich 0,0. Der Imaginärteil der Ladeleistung entspricht der kapazitiven Ladeleistung. Analog zum Blindleistungsbedarf wird die kapazitive Ladeleistung als negativer Wert ausgewiesen. Der Absolutwert der Ladeleistung ist bis auf das Vorzeichen identisch mit dem Imaginärteil.

Die **Querverluste** werden als Wirk-, Blind- und Scheinleistungsverluste ausgewiesen. Der Realteil der Querverluste entspricht den Wirkverlusten. Der Imaginärteil der Querverluste entspricht den Blindverlusten. Der Absolutwert der Querverluste entspricht den Scheinverlusten. Die Vorzeichenvereinbarung ist identisch mit den stromabhängigen Verlusten.

Die oben angeführten Verluste werden in dem Ergebnisdialog auch als **Summe aller Verluste** ausgewiesen. Analog ergeben sich dadurch die Summe aller Wirkverluste, die Summe aller Blindverluste und die Summe aller Scheinverluste.

Lastflussergebnisse Leistungsdaten

In die Leistungsdaten fließen (mit Ausnahme der Ladeblindleistung) alle Elemente ein, die nur an einem Knoten angeschlossen sind. Ob es sich um eine Einspeisung oder eine Abnahme handelt, wird nicht über das Netzelement, sondern über das Vorzeichen der Leistung (Induktive Belastung – negativ) entschieden.

Die folgenden Ergebnisse werden für die Leistungsdaten bereitgestellt.

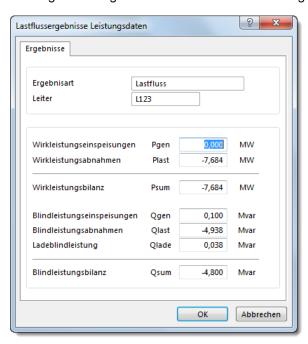


Bild: Datenmaske Lastflussergebnisse - Leistungsdaten

Für die Bilanzleistung werden die Werte Einspeisungen, Abnahmen und Ladeleistung einfach aufsummiert.

Die hier ausgewiesene **Ladeblindleistung** wird mit der Nennspannung berechnet. Einspeiseleistungen und Abnahmeleistungen werden – falls notwendig (Impedanzlast) – ebenfalls mit der Nennspannung berechnet.

Die **Ergebnisart** wird durch die durchgeführte Berechnung (Lastfluss, Lastprofil, Lastentwicklung, Motoranlauf, ...) festgelegt.

Die symmetrische Lastflussberechnung stellt die Leistungsdaten für alle **Leiter** gemeinsam (L123) zur Verfügung. Die unsymmetrische Lastflussberechnung stellt die Leistungsdaten einzeln je Leiter (L1, L2, L3) und als Summe über alle Leiter (L123) zur Verfügung.

Die **Wirkleistungseinspeisungen** sind die Summe der Wirkleistungen von allen Netzelementen, die nur an einem Knoten angeschlossenen sind und Wirkleistung einspeisen.

Die **Wirkleistungsabnahmen** sind die Summe der Wirkleistungen von allen Netzelementen, die nur an einem Knoten angeschlossenen sind und Wirkleistung benötigen.

Die **Wirkleistungsbilanz** ist die Summe aus Wirkleistungseinspeisungen und Wirkleistungsabnahmen. Die Wirkleistungsbilanz ist der Richtwert für die von den bilanzierenden Netzelementen (Einspeisungen mit Vorgabe von Spannungsbetrag und Spannungswinkel) zu übernehmende Wirkleistung.

Die **Blindleistungseinspeisungen** sind die Summe der Blindleistungen von allen Netzelementen, die nur an einem Knoten angeschlossenen sind und kapazitive Blindleistung einspeisen.

Die **Blindleistungsabnahmen** sind die Summe der Blindleistungen von allen Netzelementen, die nur an einem Knoten angeschlossenen sind und induktive Blindleistung benötigen.

Die **Blindleistungsbilanz** ist die Summe aus Blindleistungseinspeisungen und Blindleistungsabnahmen. Die Blindleistungsbilanz ist der Richtwert für die von den bilanzierenden Netzelementen (Slacks – Einspeisungen mit Vorgabe von Spannungsbetrag und Spannungswinkel) zu übernehmende Blindleistung.

Lastflussergebnisse Leistungsbilanz

In der Leistungsbilanz werden die Leistungen der Einspeisungen, Lasten und Slacks aus Elementen, die nur an einem Knoten angeschlossen sind, ermittelt. Die Verluste von Leitungen, Transformatoren, Drosseln und Kondensatoren werden ebenfalls ermittelt.

Die folgenden Ergebnisse werden für die Leistungsbilanz bereitgestellt.

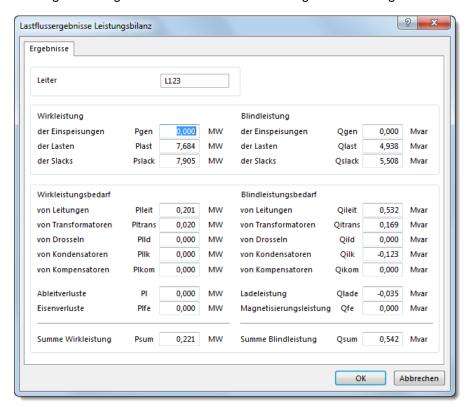


Bild: Datenmaske Lastflussergebnisse - Leistungsbilanz

Die Leistungen können allgemein in eine Beziehung gebracht werden. Es gilt:

Slacks = Lasten – Einspeisungen + Summe der Verluste

Die hier ausgewiesene Ladeleistung wird mit der aktuellen Lastspannung berechnet.

Die symmetrische Lastflussberechnung stellt die Leistungsbilanz für alle **Leiter** gemeinsam (L123) zur Verfügung. Die unsymmetrische Lastflussberechnung stellt die Leistungsbilanz einzeln je Leiter (L1, L2, L3) und als Summe über alle Leiter (L123) zur Verfügung.

Wirkleistung

Unter **Wirkleistung der Einspeisungen** wird die Summe der Wirkleistungen aller nicht bilanzierenden Einspeisungen (Synchronmaschine, Kraftwerksblock, Netzeinspeisung, Asynchronmaschine mit Lastflusstyp DFIG, Kompensatoren, DC-Einspeisung) ausgewiesen.

Unter **Wirkleistung der Lasten** wird die Summe der Wirkleistungen aller Lasten (Allgemeine Last, Variables Querelement, Querimpedanz, Querdrossel, Querkondensator, Quer RLC-Kreis, Querrundsteuersender, Quer Oberschwingungs-Resonanznetz) ausgewiesen.

Unter **Wirkleistung der Slacks** wird die Summe der Wirkleistungen aller bilanzierenden Einspeisungen (Synchronmaschine, Kraftwerksblock, Netzeinspeisung) ausgewiesen.

Blindleistung

Unter **Blindleistung der Einspeisungen** wird die Summe der Blindleistungen aller nicht bilanzierenden Einspeisungen (Synchronmaschine, Kraftwerksblock, Netzeinspeisung, Asynchronmaschine mit Lastflusstyp DFIG, Kompensatoren, DC-Einspeisung) ausgewiesen.

Unter **Blindleistung der Lasten** wird die Summe der Blindleistungen aller Lasten (Allgemeine Last, Variables Querelement, Querimpedanz, Querdrossel, Querkondensator, Quer RLC-Kreis, Querrundsteuersender, Quer Oberschwingungs-Resonanznetz) ausgewiesen.

Unter **Blindleistung der Slacks** wird die Summe der Blindleistungen aller bilanzierenden Einspeisungen (Synchronmaschine, Kraftwerksblock, Netzeinspeisung) ausgewiesen.

Wirkleistungsbedarf

Der Wirkleistungsbedarf von Leitungen, von Transformatoren, von Drosseln, von Kondensatoren und von Kompensatoren entspricht dessen Wirkleistungsverlusten aufgrund des aktuellen Laststromes.

Die **Ableitverluste** der Leitungen sowie die **Eisenverluste** der Transformatoren zählen ebenfalls zu den Wirkverlusten. Diese Verluste entstehen durch Anliegen einer Spannung unabhängig vom aktuellen Laststrom.

Der gesamte Wirkleistungsbedarf des Netzes (gesamte Wirkverluste) wird unter **Summe Wirkleistung** ausgewiesen.

Blindleistungsbedarf

Der Blindleistungsbedarf von Leitungen, von Transformatoren, von Drosseln, von Kondensatoren und von Kompensatoren entspricht dessen induktiven/kapazitiven Blindleistungsverlusten aufgrund des aktuellen Laststromes. Induktive Blindverluste werden positiv und kapazitive Blindverluste werden negativ ausgewiesen.

Die **Ladeleistung** von Leitungen sowie die **Magnetisierungsleistung** von Transformatoren zählen ebenfalls zu den Blindverlusten. Diese Verluste entstehen durch Anliegen einer Spannung unabhängig vom aktuellen Laststrom.

Der gesamte Blindleistungsbedarf des Netzes (gesamte Blindverluste) wird unter **Summe Blindleistung** ausgewiesen.

Lastflussergebnisse Regelstufe

Diese Ergebnisse werden für Transformatoren mit Reglerdaten (unabhängig vom Status der Regelstufe) zur Verfügung gestellt. Die folgenden Ergebnisse werden für die Regelstufe bereitgestellt.

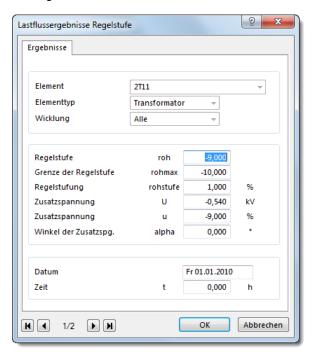


Bild: Datenmaske Lastflussergebnisse - Regelstufe

Unter **Element** steht der Name des Transformators zur Identifizierung zur Verfügung. Der **Elementtyp** dient ebenfalls zur Identifizierung.

Für Transformatoren mit identischer Regelstufe in allen Wicklungen wird im Feld **Wicklung** ein Ergebnis mit **Alle** bereitgestellt. Für Transformatoren mit individueller Regelstufe je Wicklung werden Ergebnisse mit **Wicklung 1**, **Wicklung 2** und/oder **Wicklung 3** bereitgestellt.

Unter **Regelstufe** wird die in der Lastflussberechnung ermittelte Regelstufe ausgewiesen. Für Transformatoren mit fixer Regelstufe entspricht dies der festen Regelstufe aus den Eingabedaten. Für Transformatoren mit variabler Regelung entspricht dies der von der Lastflussberechnung zuletzt verwendeten Regelstufe, um die Randbedingungen der Regelung zu erfüllen.

Die **Grenze der Regelstufe** dient dem Anwender als Information zur Einhaltung der Randbedingungen. Ist die Regelstufe bereits identisch mit der Grenze der Regelstufe, so verbleibt kein Freiraum zum Erfüllen der Randbedingungen des Reglers.

Die **Regelstufung** entspricht bei Transformatoren der Änderung der Zusatzspannung je Regelstufe.

Die **Zusatzspannung** ist die durch den Regler bewirkte komplette zusätzliche Spannung (Leiter-Leiter) in kV und in Prozent. Dieser Absolutwert der Spannung hat bezogen auf den Winkel der Nennspannung der Wicklung noch den **Winkel der Zusatzspannung**.

Querdrosseln und Querkondensatoren:

Die **Regelstufung** entspricht bei Querdrosseln und Querkondensatoren der Änderung der Leistung je Regelstufe bezogen auf deren Nennscheinleistung.

Die **Zusatzleistung je Stufe** entspricht bei Querdrosseln und Querkondensatoren der absoluten Änderung der Leistung je Regelstufe bei Nennspannung.

Die **Zusatzleistung gesamt** ist die durch den Regler bewirkte komplette zusätzliche Leistung bei Nennspannung.

Die Gesamtleistung ist die Summe aus Nennscheinleistung und Zusatzleistung gesamt.

Das Netz wird zeitlich betrachtet und für das ausgewiesene **Datum** berechnet. Für die Lastflussberechnung selbst und für fast alle lastflussbasierenden Berechnungen wird das Netz für das bei den Berechnungsparametern Basisdaten angegebene Betrachtungsdatum berechnet. Für die Lastentwicklung wird das Netz für mehrere Zeitpunkte berechnet. Diese Berechnungszeitpunkte ergeben sich aus den Errichtungs- und Stilllegungszeitpunkten der Netzelemente sowie aus dem Zeitraum für die Lastentwicklung. Weitere Informationen zur zeitlichen Betrachtung finden Sie im Kapitel Netzberechnung, Abschnitt Zeitliche Betrachtung des Netzes des Handbuches Eingabedaten.

Für die Lastprofilberechnung wird zusätzlich auch noch die **Zeit** angegeben. Für alle übrigen lastflussbasierenden Berechnungen (Lastentwicklung, Last anschließen, Lasttrimmung, PV-Kurven, ...) beträgt die Zeit 0,0 Stunden.

Lastflussergebnisse Netzbereich

In die Ergebnisse Netzbereich fließen alle Elemente ein, die dem Netzbereich zugeordnet sind. Diese Ergebnisse werden für jeden Netzbereich bereitgestellt.

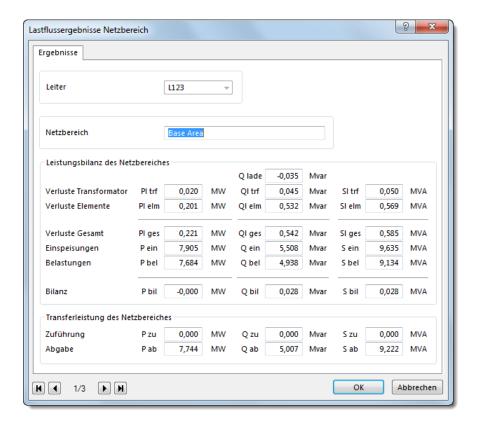


Bild: Datenmaske Lastflussergebnisse - Netzbereich

Die symmetrische Lastflussberechnung stellt die Netzbereichsergebnisse für alle **Leiter** gemeinsam (L123) zur Verfügung. Die unsymmetrische Lastflussberechnung stellt die Netzbereichsergebnisse einzeln je Leiter (L1, L2, L3) und als Summe über alle Leiter (L123) zur Verfügung.

Unter Netzbereich steht der Name des Netzbereichs zur Identifizierung zur Verfügung.

Leistungsbilanz des Netzbereiches

Für die Verluste werden nur die **Verluste von Elementen**, die an mehr als einem Knoten (Leitung, Zweiwicklungstransformator, Längsdrossel, etc.) angeschlossen sind, herangezogen.

Für die Ermittlung der **Einspeisungen** und **Belastungen** werden alle Elemente, die nur an einem Knoten angeschlossen sind, herangezogen. Ob Einspeisung oder Belastung wird nicht über das Netzelement, sondern über das Vorzeichen der Leistung (negativ – vom Knoten weg – Belastung) entschieden.

Die Bilanz wird wie folgt ermittelt:

Bilanz = Einspeisungen – Belastungen – Verluste

Transferleistung des Netzbereiches

Die Ermittlung der **Zuführungen** und **Abgaben** erfolgt über alle Elemente, die an mehr als an einem Knoten angeschlossen sind. Ist ein Knoten einem anderen Netzbereich zugeordnet als die an diesem Knoten angeschlossenen Zweigelemente, dann entsteht je nach Vorzeichen der Leistung am jeweiligen Anschluss eine Zuführung oder Abgabe.

Bei allen Summierungen wird zusätzlich noch die hierarchische Struktur der Netzbereiche berücksichtigt. D.h. jeder Netzbereich enthält auch die Daten aller untergeordneten Netzbereiche.

Lastflussergebnisse Netzbereich Transfer

In die Ergebnisse Netzbereich Transfer fließen alle Zweige des Netzes ein, dessen Knoten wie folgt zugeordnet sind:

- Anfangsknoten zu Netzbereich und Endknoten zu Transfernetzbereich
- Anfangsknoten zu Transfernetzbereich und Endknoten zu Netzbereich

Diese Zweige sind nachfolgend als Transferzweige bezeichnet.

Die folgenden Ergebnisse werden für den Netzbereich Transfer bereitgestellt.

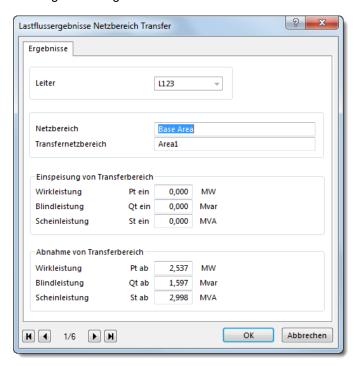


Bild: Datenmaske Lastflussergebnisse - Netzbereich Transfer

Die symmetrische Lastflussberechnung stellt die Ergebnisse Netzbereich Transfer für alle **Leiter** gemeinsam (L123) zur Verfügung. Die unsymmetrische Lastflussberechnung stellt die Ergebnisse Netzbereich Transfer einzeln je Leiter (L1, L2, L3) und als Summe über alle Leiter (L123) zur Verfügung.

Unter **Netzbereich** und **Transfernetzbereich** stehen die Namen der Netzbereiche zur Identifizierung zur Verfügung.

Einspeisung von Transferbereich

Die Einspeisung vom Transferbereich ist die Summe der Leistungen der Transferzweige mit zufließender Leistung an dem Knoten, der dem Netzbereich zugeordnet ist.

Diese Leistung wird als Wirkleistung von Transferbereich, Blindleistung von Transferbereich und Scheinleistung von Transferbereich zur Verfügung gestellt.

Abnahme von Transferbereich

Die Abnahme vom Transferbereich ist die Summe der Leistungen der Transferzweige mit abfließender Leistung an dem Knoten, der dem Netzbereich zugeordnet ist.

Diese Leistung wird als Wirkleistung zu Transferbereich, Blindleistung zu Transferbereich und Scheinleistung zu Transferbereich zur Verfügung gestellt.

Knotenergebnisse Lastfluss

Für jeden an der symmetrischen Lastflussberechnung teilnehmenden Knoten wird ein Knotenergebnis zur Verfügung gestellt.

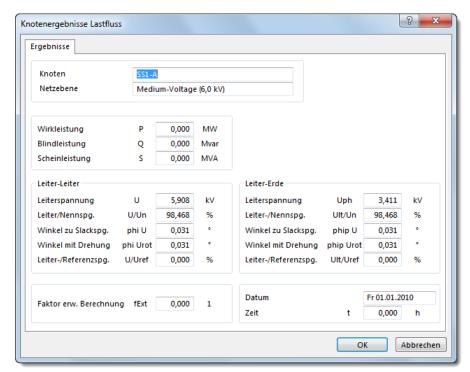


Bild: Datenmaske Knotenergebnisse Lastfluss

Unter **Knoten** bzw. **Netzebene** steht der Name des Knotens bzw. der Netzebene zur Identifizierung zur Verfügung.

Als **Wirkleistung**, **Blindleistung** und **Scheinleistung** des Knotens wird die Summe der Leistungen der am Knoten angeschlossenen Knotenelemente angezeigt. Diese Leistung wird am Knoten aus dem Netz eingespeist bzw. entnommen. Eine positive Wirkleistung entspricht einer Einspeisung und eine negative Wirkleistung entspricht einer Entnahme von Wirkleistung. Eine positive Blindleistung entspricht einer kapazitiven Einspeisung und eine negative Blindleistung entspricht einer induktiven Entnahme von Blindleistung.

Leiter-Leiter

Alle hier angezeigten Ergebnisse sind Effektivwerte der von der symmetrischen Lastflussberechnung ermittelten Leiter-Leiter Spannung des Knotens.

Die aktuelle Spannung in kV wird als Leiterspannung (Leiterspannung am Knoten) angezeigt.

Die aktuelle Spannung in Prozent wird als **Leiter-/Nennspannung** (Leiterspannung zu Knotennennspannung) angezeigt.

Der Winkel der aktuellen Spannung wird ohne Berücksichtigung der Phasendrehung der Transformatoren als **Winkel zu Slackspannung** (Winkel Leiterspannung zu Slackspannung) und mit Berücksichtigung der Phasendrehung der Transformatoren als **Winkel mit Drehung** (Winkel Leiterspannung zu Slackspannung mit Phasendrehung) angezeigt.

Als **Leiter-/Referenzspannung** (Leiterspannung zu Referenzspannung) wird die aktuelle Spannung in kV bezogen auf die bei den Basisdaten der Berechnungsparameter angegebene Bezugsspannung in kV angezeigt.

Leiter-Erde

Alle hier angezeigten Ergebnisse sind Effektivwerte der von der symmetrischen Lastflussberechnung ermittelten Leiter-Erde Spannung des Knotens.

Die aktuelle Spannung in kV wird als Leiterspannung (Leiterspannung am Knoten) angezeigt.

Die aktuelle Spannung in Prozent wird als **Leiter-/Nennspannung** (Leiterspannung zu Knotennennspannung) angezeigt.

Der Winkel der aktuellen Spannung wird ohne Berücksichtigung der Phasendrehung der Transformatoren als **Winkel zu Slackspannung** (Winkel Phasenspannung zu Slackspannung) und mit Berücksichtigung der Phasendrehung der Transformatoren als **Winkel mit Drehung** (Winkel Phasenspannung zu Slackspannung mit Phasendrehung) angezeigt.

Als **Leiter-/Referenzspannung** (Leiterspannung zu Referenzspannung) wird die aktuelle Spannung in kV bezogen auf die bei den Basisdaten der Berechnungsparameter angegebene Bezugsspannung in kV angezeigt.

Je nach Auswahl im Feld **Erweiterte Berechnungen** in den Lastfluss Berechnungsparametern wird unter **Faktor erweiterte Berechnung** der Belastungsfaktor oder der Nodal Transmission Loss Faktor angezeigt.

Das Netz wird zeitlich betrachtet und für das ausgewiesene **Datum** berechnet. Für die Lastflussberechnung selbst und für fast alle lastflussbasierenden Berechnungen wird das Netz für das bei den Berechnungsparametern Basisdaten angegebene Betrachtungsdatum berechnet. Für die Lastentwicklung wird das Netz für mehrere Zeitpunkte berechnet. Diese Berechnungszeitpunkte ergeben sich aus den Errichtungs- und Stilllegungszeitpunkten der Netzelemente sowie aus dem Zeitraum für die Lastentwicklung. Weitere Informationen zur zeitlichen Betrachtung finden Sie im Kapitel Netzberechnung, Abschnitt Zeitliche Betrachtung des Netzes des Handbuches Eingabedaten.

Für die Lastprofilberechnung wird zusätzlich auch noch die **Zeit** angegeben. Für alle übrigen lastflussbasierenden Berechnungen (Lastentwicklung, Last anschließen, Lasttrimmung, PV-Kurven, ...) beträgt die Zeit 0,0 Stunden.

Knotenergebnisse Unsymmetrischer Lastfluss

Für jeden an der unsymmetrischen Lastflussberechnung teilnehmenden Knoten wird ein Knotenergebnis zur Verfügung gestellt.

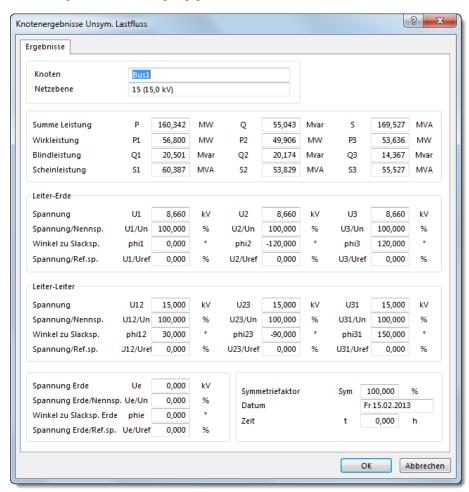


Bild: Datenmaske Knotenergebnisse Unsymmetrischer Lastfluss

Unter **Knoten** bzw. **Netzebene** steht der Name des Knotens bzw. der Netzebene zur Identifizierung zur Verfügung.

Als **Summe Wirkleistung**, **Summe Blindleistung** und **Summe Scheinleistung** des Knotens wird die Summe der kompletten Leistungen (alle Leiter) der am Knoten angeschlossenen Knotenelemente angezeigt. Diese Leistung wird am Knoten aus dem Netz eingespeist bzw. entnommen. Eine positive Wirkleistung entspricht einer Einspeisung und eine negative Wirkleistung entspricht einer Entnahme von Wirkleistung. Eine positive Blindleistung entspricht einer induktiven Entnahme von Blindleistung.

Die Summe Wirkleistung ist die Summe aus **Wirkleistung L1**, **Wirkleistung L2** und **Wirkleistung L3** der jeweiligen Phase.

Die Summe Blindleistung ist die Summe aus Blindleistung L1, Blindleistung L2 und Blindleistung L3 der jeweiligen Phase.

Die Scheinleistung L1, Scheinleistung L2 und Scheinleistung L3 ist die Scheinleistung ermittelt aus Wirk- und Blindleistung der jeweiligen Phase.

Leiter-Erde

Alle hier angezeigten Ergebnisse sind Effektivwerte der von der unsymmetrischen Lastflussberechnung ermittelten Leiter-Erde Spannung in der jeweiligen Phase des Knotens.

Die aktuelle Spannung in den Leitern in kV wird als **Spannung L1**, **Spannung L2** und **Spannung L3** angezeigt.

Die aktuelle Spannung in den Leitern in Prozent wird als **Spannung L1/Nennspannung**, **Spannung L2/Nennspannung** und **Spannung L3/Nennspannung** angezeigt.

Der Winkel der aktuellen Phase-Erde Spannung zu Winkel zu Slackspannung L1, Winkel zu Slackspannung L2 und Winkel zu Slackspannung L3 wird mit Berücksichtigung der Phasendrehung der Transformatoren angezeigt.

Als Spannung L1/Referenzspannung, Spannung L2/Referenzspannung und Spannung L3/Referenzspannung wird die aktuelle Phase-Erde Spannung in kV bezogen auf die bei den Basisdaten der Berechnungsparameter angegebene Bezugsspannung in kV angezeigt.

Leiter-Leiter

Alle hier angezeigten Ergebnisse sind Effektivwerte der von der unsymmetrischen Lastflussberechnung ermittelten Leiter-Leiter Spannung der jeweiligen Leiter des Knotens.

Die aktuelle Spannung zwischen den Leitern in kV wird als **Spannung L1 – L2**, **Spannung L2 – L3** und **Spannung L3 – L1** angezeigt.

Die aktuelle Spannung zwischen den Leitern in Prozent wird als **Spannung L1 – L2/Nennspannung**, **Spannung L2 – L3/Nennspannung** und **Spannung L3 – L1/Nennspannung** angezeigt.

Der Winkel der aktuellen Phase-Phase Spannung zu Winkel zu Slackspannung L1 – L2, Winkel zu Slackspannung L2 – L3 und Winkel zu Slackspannung L3 – L1 wird mit Berücksichtigung der Phasendrehung der Transformatoren angezeigt.

Als **Spannung L12/Referenzspannung**, **Spannung L23/Referenzspannung** und **Spannung L31/Referenzspannung** wird die aktuelle Phase-Phase Spannung in kV bezogen auf die bei den Basisdaten der Berechnungsparameter angegebene Bezugsspannung in kV angezeigt.

Die aktuelle Spannung im Rückleiter in kV wird als Spannung Erde angezeigt.

Die aktuelle Spannung im Rückleiter in Prozent wird als **Spannung Erde/Nennspannung** angezeigt.

Der Winkel der aktuellen Erdespannung zu **Winkel zu Slackspannung Erde** wird mit Berücksichtigung der Phasendrehung der Transformatoren angezeigt.

Als **Spannung Erde/Referenzspannung** wird die aktuelle Erdespannung in kV bezogen auf die bei den Basisdaten der Berechnungsparameter angegebene Bezugsspannung in kV angezeigt.

Der angezeigte **Symmetriefaktor** wird aus den Phase-Erde Spannungen ermittelt. Genaueres zur Berechnung des Symmetriefaktors finden Sie im Kapitel Unsymmetrischer Lastfluss, Abschnitt Berechnungsverfahren.

Das Netz wird zeitlich betrachtet und für das ausgewiesene **Datum** berechnet. Für die Lastflussberechnung selbst und für fast alle lastflussbasierenden Berechnungen wird das Netz für das bei den Berechnungsparametern Basisdaten angegebene Betrachtungsdatum berechnet. Für die Lastentwicklung wird das Netz für mehrere Zeitpunkte berechnet. Diese Berechnungszeitpunkte ergeben sich aus den Errichtungs- und Stilllegungszeitpunkten der Netzelemente sowie aus dem Zeitraum für die Lastentwicklung. Weitere Informationen zur zeitlichen Betrachtung finden Sie im Kapitel Netzberechnung, Abschnitt Zeitliche Betrachtung des Netzes des Handbuches Eingabedaten.

Für die Lastprofilberechnung wird zusätzlich auch noch die **Zeit** angegeben. Für alle übrigen lastflussbasierenden Berechnungen (Lastentwicklung, Last anschließen, Lasttrimmung, PV-Kurven, ...) beträgt die Zeit 0,0 Stunden.

Zweigergebnisse Lastfluss

Für jeden an der symmetrischen Lastflussberechnung teilnehmenden Zweig werden mehrere Zweigergebnisse zur Verfügung gestellt. Die Leistungen, Auslastungen, etc. sind die am angezeigten Anfangsknoten zugeordneten Anschlüsse. Um die Ergebnisse an allen Anschlüssen des Zweiges darzustellen, wird bei den Ergebnissen die Topologie mit wechselndem Knoten (Anfang/Ende bzw. Knoten 1/Knoten 2/Knoten 3 bei Dreiwicklungstransformatoren) angezeigt.

Die folgenden Zweigergebnisse werden für den symmetrischen Lastfluss bereitgestellt.

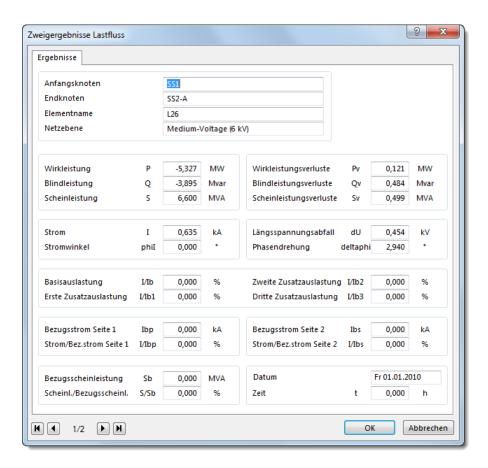


Bild: Datenmaske Zweigergebnisse Lastfluss

Anfangsknoten, **Endknoten**, **Elementname** und **Netzebene** stehen zur Identifizierung des Anschlusses zur Verfügung.

Die am Anschluss anstehende Leistung steht unter **Wirkleistung**, **Blindleistung** und **Scheinleistung** zur Verfügung. Eine positive Wirkleistung entspricht einem Zufluss und eine negative Wirkleistung entspricht einem Abfluss von Wirkleistung. Eine positive Blindleistung entspricht einem kapazitiven Zufluss und eine negative Blindleistung entspricht einem induktiven Abfluss von Blindleistung.

Die Verluste im Zweig werden als **Wirkleistungsverluste**, **Blindleistungsverluste** und **Scheinleistungsverluste** angezeigt.

Der im Anschluss fließende **Strom** wird als Absolutwert in kA mit dem entsprechenden **Stromwinkel** angezeigt.

Der sich aufgrund des Stromes ergebende Spannungsabfall wird als **Längsspannungsabfall** (Leiter-Leiter Wert) in kV mit dazugehörender **Phasendrehung** angezeigt.

Je nach Vorgabe des Bezugswertes für die Auslastungen (Strom oder Leistung) ergeben sich die Basisauslastung, die Erste Zusatzauslastung, die Zweite Zusatzauslastung und die Dritte Zusatzauslastung als Strom/Bezugswert oder Scheinleistung/Bezugswert. Die Anzahl der parallelen Systeme und der Reduktionsfaktor sind ebenfalls berücksichtigt.

Der **Bezugsstrom Seite 1** (primär) wird bei Vorgabe einer Leistung als Bezugswert für die Auslastung über diese Leistung mit der Elementnennspannung Seite 1 ermittelt. Bei Vorgabe eines Stromes als Bezugswert für die Auslastung entspricht dieser Strom dem Bezugsstrom Seite 1. Das Verhältnis **Strom/Bezugsstrom Seite 1** (primär) entspricht der Auslastung aufgrund des Stromes auf Seite 1.

Der Bezugsstrom Seite 2 (sekundär) wird bei Vorgabe einer Leistung als Bezugswert für die Auslastung über diese Leistung mit der Elementnennspannung Seite 2 ermittelt. Bei Vorgabe eines Stromes als Bezugswert für die Auslastung entspricht dieser Strom dem Bezugsstrom Seite 2. Der Strom/Bezugsstrom Seite 2 (sekundär) entspricht der Auslastung aufgrund des Stromes auf Seite 2.

Die **Bezugsscheinleistung** wird bei Vorgabe eines Stromes als Bezugswert für die Auslastung über diesen Strom mit der Elementnennspannung ermittelt. Bei Vorgabe einer Leistung als Bezugswert für die Auslastung entspricht diese Leistung der Bezugsscheinleistung. Das Verhältnis **Scheinleistung/Bezugsscheinleistung** entspricht der Auslastung aufgrund der Leistung im Anschluss.

Je nach aktueller Spannung im Anschluss weichen die Auslastungen Strom/Bezugsstrom Seite 1 (primär), Strom/Bezugsstrom Seite 2 (sekundär) und Scheinleistung/Bezugsscheinleistung voneinander ab. Für die Planung des Netzes sollte immer die höhere Auslastung herangezogen werden.

Das Netz wird zeitlich betrachtet und für das ausgewiesene **Datum** berechnet. Für die Lastflussberechnung selbst und für fast alle lastflussbasierenden Berechnungen wird das Netz für das bei den Berechnungsparametern Basisdaten angegebene Betrachtungsdatum berechnet. Für die Lastentwicklung wird das Netz für mehrere Zeitpunkte berechnet. Diese Berechnungszeitpunkte ergeben sich aus den Errichtungs- und Stilllegungszeitpunkten der Netzelemente sowie aus dem Zeitraum für die Lastentwicklung. Weitere Informationen zur zeitlichen Betrachtung finden Sie im Kapitel Netzberechnung, Abschnitt Zeitliche Betrachtung des Netzes des Handbuches Eingabedaten.

Für die Lastprofilberechnung wird zusätzlich auch noch die **Zeit** angegeben. Für alle übrigen lastflussbasierenden Berechnungen (Lastentwicklung, Last anschließen, Lasttrimmung, PV-Kurven, ...) beträgt die Zeit 0,0 Stunden.

Zweigergebnisse Unsymmetrischer Lastfluss

Für jeden an der unsymmetrischen Lastflussberechnung teilnehmenden Zweig werden mehrere Zweigergebnisse zur Verfügung gestellt. Die Leistungen, Auslastungen, etc. sind die am angezeigten Anfangsknoten zugeordneten Anschlüsse. Um die Ergebnisse an allen Anschlüssen des Zweiges darzustellen, wird bei den Ergebnissen die Topologie mit wechselnden Knoten (Anfang/Ende bzw. Knoten 1/Knoten 2/Knoten 3 bei Dreiwicklungstransformatoren) angezeigt.

Die folgenden Zweigergebnisse werden für den unsymmetrischen Lastfluss bereitgestellt.

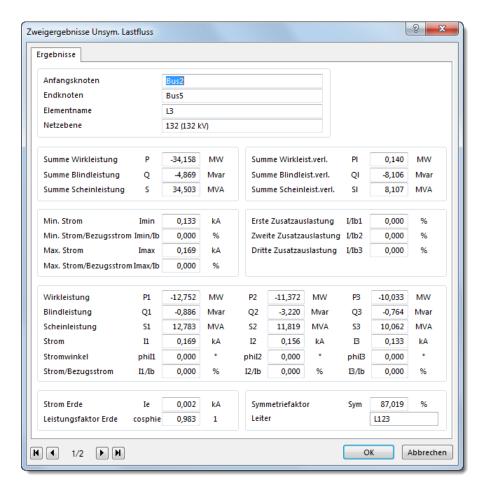


Bild: Datenmaske Zweigergebnisse Unsymmetrischer Lastfluss

Anfangsknoten, **Endknoten**, **Elementname** und **Netzebene** stehen zur Identifizierung des Anschlusses zur Verfügung.

Die am Anschluss anstehende komplette Leistung (alle Leiter) steht unter **Summe Wirkleistung**, **Summe Blindleistung** und **Summe Scheinleistung** zur Verfügung. Eine positive Wirkleistung entspricht einem Zufluss und eine negative Wirkleistung entspricht einem Abfluss von Wirkleistung. Eine positive Blindleistung entspricht einem kapazitiven Zufluss und eine negative Blindleistung entspricht einem induktiven Abfluss von Blindleistung.

Die kompletten Verluste (alle Leiter) im Zweig werden als **Summe Wirkleistungsverluste**, **Summe Blindleistungsverluste** und **Summe Scheinleistungsverluste** angezeigt.

Der Bezugsstrom wird bei Vorgabe einer Leistung als Bezugswert für die Basisauslastung über diese Leistung mit der Elementnennspannung der jeweiligen Seite ermittelt. Bei Vorgabe eines Stromes als Bezugswert für die Auslastung entspricht dieser Strom dem Bezugsstrom.

Als **Minimaler Strom** wird das Minimum der Leiterströme in kA angezeigt. Das Verhältnis **Minimaler Strom/Bezugsstrom** entspricht der minimalen Stromauslastung im Anschluss. Die Anzahl der parallelen Systeme und der Reduktionsfaktor sind ebenfalls berücksichtigt.

Als **Maximaler Strom** wird das Maximum der Leiterströme in kA angezeigt. Das Verhältnis **Maximaler Strom/Bezugsstrom** entspricht der maximalen Stromauslastung im Anschluss. Die Anzahl der parallelen Systeme und der Reduktionsfaktor sind ebenfalls berücksichtigt.

Die zusätzlichen Bezugsströme für die Zusatzauslastungen werden bei Vorgabe einer Leistung als Bezugswerte für die Zusatzauslastungen über diese Leistung mit der Elementnennspannung der jeweiligen Seite ermittelt. Bei Vorgabe von Strömen als Bezugswerte für die Zusatzauslastungen entsprechen diese Ströme den zusätzlichen Bezugsströmen.

Als **Erste Zusatzauslastung**, **Zweite Zusatzauslastung** und **Dritte Zusatzauslastung** wird das Verhältnis Maximaler Strom zu jeweiligem zusätzlichen Bezugsstrom angezeigt. Die Anzahl der parallelen Systeme und der Reduktionsfaktor sind ebenfalls berücksichtigt.

Die Wirkleistung in den einzelnen Leitern wird als Wirkleistung L1, Wirkleistung L2 und Wirkleistung L3 angezeigt. Eine positive Wirkleistung entspricht einem Zufluss und eine negative Wirkleistung entspricht einem Abfluss von Wirkleistung.

Die Blindleistung in den einzelnen Leitern wird als **Blindleistung L1**, **Blindleistung L2** und **Blindleistung L3** angezeigt. Eine positive Blindleistung entspricht einem kapazitiven Zufluss und eine negative Blindleistung entspricht einem induktiven Abfluss von Blindleistung.

Die Scheinleistung in den einzelnen Leitern wird als Scheinleistung L1, Scheinleistung L2 und Scheinleistung L3 angezeigt. Die Scheinleistung der jeweiligen Leiter wird aus den Wirk- und Blindleistungen der jeweiligen Leiter ermittelt.

Die Effektivwerte der Ströme der einzelnen Leiter werden als **Strom L1**, **Strom L2** und **Strom L3** angezeigt, der entsprechende Winkel des Stromes in den Feldern **Stromwinkel L1**, **Stromwinkel L2** und **Stromwinkel L3**.

Als **Strom L1/Bezugsstrom**, **Strom L2/Bezugsstrom** und **Strom L3/Bezugsstrom** werden die Ströme in den einzelnen Leitern auf den Bezugsstrom bezogen. Die Anzahl der parallelen Systeme und der Reduktionsfaktor sind ebenfalls berücksichtigt.

Der Effektivwert des Stromes im Rückleiter wird als **Strom Erde** angezeigt. Der dazugehörende Leistungsfaktor wird als **Leistungsfaktor Erde** angezeigt.

Der angezeigte **Symmetriefaktor** wird aus den Leiterströmen ermittelt. Genaueres zur Berechnung des Symmetriefaktors finden Sie im Kapitel Unsymmetrischer Lastfluss, Abschnitt Berechnungsverfahren.

Als **Leiter** (L1, L2, L3, L12, L23, L31 oder L123) wird jene Leiterbezeichnung angezeigt, die die vorhandenen Leiter des Netzelementes beschreibt.

Ergebnisse Lastermittlung

Von der Berechnungsmethode **Lastermittlung** werden spezielle Ergebnisse generiert, die dokumentieren, wie die Last im Zuge des Berechnungsverfahrens getrimmt wurde.

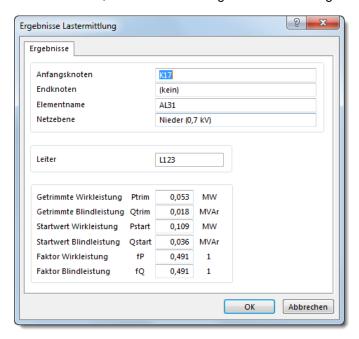


Bild: Datenmaske Ergebnisse Lastermittlung

Die Lastermittlung wird für alle Lasten durchgeführt, bei denen Messwerte zugeordnet sind. D.h. für diese Lasten wird ein spezielles Trimmergebnis bereitgestellt, welches dokumentiert, wie die angegebene Leistung der Last durch die Trimmung abgeändert wurde.

In den Feldern **Getrimmte Wirkleistung** und **Getrimmte Blindleistung** werden die neuen Leistungsdaten der Last ausgewiesen.

Die Felder **Startwert Wirkleistung** und **Startwert Blindleistung** dokumentieren die ursprünglichen Leistungsdaten ohne Trimmung.

Die **Faktoren** für **Wirk-** und **Blindleistung** geben Auskunft über das Trimmungsverhältnis getrimmter Wert zu Startwert.

Ergebnisse Tap-Zone Ermittlung

Von der Berechnungsmethode **Tap-Zone Ermittlung** werden spezielle Ergebnisse für alle Knoten generiert, an denen erweiterte Lasten (vereinfachte Nachbildung aus Last und Transformator) angeschlossen sind.

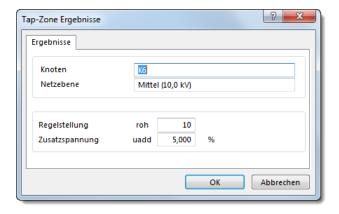


Bild: Datenmaske Tap-Zone Ergebnisse

Das Tap-Zone Ergebnis dokumentiert, welche optimale Stufenstellung für den Transformator gewählt werden muss, damit sowohl bei Minimal- als auch Maximalbelastung des Netzes die sekundärseitige Spannung im zulässigen Spannungsband bleibt.

Im Feld **Regelstufe** wird die Stufenstellung des Transformators ausgewiesen. Diese basiert auf der Transformatorstufensteller-Kennlinie, die bei der angeschlossenen Last hinterlegt ist.

Das Feld **Zusatzspannung** dokumentiert, wie groß die Spannungsänderung durch die gewählte Regelstufe ist.

Ergebnisse Last anschließen

Von der Berechnungsmethode **Last anschließen** werden spezielle Ergebnisse generiert, welche den optimalen Anschlusspunkt einer Last an die bestehende Netztopologie angeben.

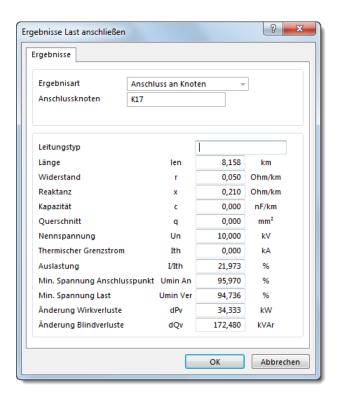


Bild: Datenmaske Ergebnisse Last anschließen

Für alle möglichen Anschlusspunkte im voreingestellten Suchradius wird ein Ergebnisdatensatz bereitgestellt. Dieser enthält die wichtigsten Attribute, die notwendig sind, um die vorgeschlagenen Anschlusspunkte zu beurteilen.

Die Ergebnisart kennzeichnet, ob die neue Last

- an eine bestehende Leitung oder
- an einen existierenden Knoten

angeschlossen werden soll.

Über die Felder **Anschlussknoten** und **Anschlussleitung** wird die Topologie des neuen Anschlusspunktes bestimmt. Dabei wird beim Anschluss auf eine Leitung auch der Abstand zum Anschlussknoten ausgewiesen.

Im **Leitungstyp** wird der Name des Standardleitungstyps ausgewiesen. Dieses Feld ist nur dann befüllt, wenn die Leitung, an der die Last angeschlossen werden soll, einen Standardtyp aufweist.

Im Feld **Länge** wird die Anschlusslänge der erforderlichen Versorgungsleitung zur Last ausgewiesen.

Die Attribute Widerstand, Reaktanz, Kapazität, Querschnitt, Nennspannung und Thermischer Grenzstrom enthalten die charakteristischen Kenndaten der neuen Versorgungsleitung.

Im Feld **Auslastung** wird die Strombelastung der gewählten Anschlussleitung ausgewiesen, wenn die neue Last versorgt wird.

Die **Minimale Spannung am Anschlusspunkt** kennzeichnet jene Spannung, die am Anschlusspunkt der Versorgungsleitung auftritt, wenn die neue Last versorgt wird. Die **Minimale Spannung Last** ist jene Spannung, die an der Last auftritt.

Über die Felder **Änderung Wirkverluste** und **Änderung Blindverluste** wird protokolliert, wie sich die Verluste im Netz ändern, wenn die neue Last versorgt wird.

Ergebnisse Wiederversorgung

Von der Berechnungsmethode **Wiederversorgung** werden spezielle Ergebnisse generiert, welche die erforderlichen Maßnahmen zum Erreichen eines gültigen Netzbetriebszustandes (nach dem Ausfall von Elementen) beschreiben. Dabei werden Gruppenergebnisse bzw. elementbezogene Ergebnisse unterschieden.

Gruppenergebnisse der Wiederversorgung

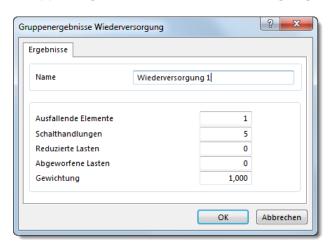


Bild: Datenmaske Gruppenergebnisse Wiederversorgung

In dieser Ergebnismaske werden der Name der Gruppe bzw. die Anzahl der Ausfallenden Elemente, der Schalthandlungen, der Reduzierte Lasten und der Abgeworfene Lasten angezeigt.

Die **Gewichtung** kennzeichnet die Qualität der Wiederversorgungsmaßnahme. D.h. jene Wiederversorgungsmaßnahme, welche die wenigsten Schaltmaßnahmen sowie geringsten Grenzwertverletzungen hat, wird durch die niedrigste Gewichtung repräsentiert. Hierzu wird folgende Bewertung verwendet:

$$\begin{split} &S_O = S_A * w_S \\ &V_O = V_A * w_V \\ &Lred_A = \sum 1 - Lred_L \\ &L_O = \left(Lshed_A + Lred_A + Lun_A \right) * w_L \\ &O = S_O + V_O + L_O \end{split}$$

S_O ... Optimalwert der Schalthandlungen

Lo ... Optimalwert der Lasten

 V_{O} ... Optimalwert der Grenzwertverletzungen

V_A ... Grenzwertverletzungen pro Ergebnis

w_V ... Gewichtung der Grenzwertverletzungen

 $\begin{array}{lll} S_A & & \dots & Schalthandlung \ pro \ Ergebnis \\ w_S & & \dots & Gewichtung \ der \ Schalthandlung \end{array}$

Lred_A ... Reduzierte Lasten pro Ergebnis

Lred_L ... Anteilige Versorgung der reduzierten Lasten

w_L ... Gewichtung der Lasten

Lshed_A ... Abgeworfene Lasten pro Ergebnis

Lun_A ... Unversorgte und mitausfallende Lasten pro Ergebnis

O ... Optimalwert pro Ergebnis

Elementbezogene Ergebnisse der Wiederversorgung

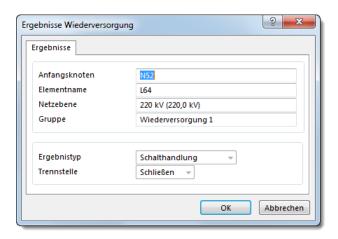


Bild: Datenmaske Ergebnisse Wiederversorgung

Das Berechnungsverfahren generiert Ergebnisdatensätze, die im Wesentlichen eine Topologieinformation (also Knoten und Netzelement) sowie die Wiederversorgungsmaßnahme beinhalten.

Der Name der Gruppe des Elementes wird angezeigt.

Im Feld **Ergebnistyp** wird die Wiederversorgungsmaßnahme beschrieben. Folgende Werte sind möglich:

Ausfall:

Damit wird jenes Element gekennzeichnet, das ausgefallen ist.

Schalthandlung:

Dieser Ergebnistyp kennzeichnet eine Schalthandlung, die vorgenommen werden muss. Das Öffnen oder Schließen des Schalters wird im Feld **Trennstelle** dokumentiert.

• Lastreduktion:

Damit wird eine Reduktion der Versorgung von Verbrauchern dokumentiert.

Mitausfall:

Damit werden jene Elemente gekennzeichnet, die ausgefallen sind, aber nicht das Ausgangselement des Ausfalls.

• Lastabwurf:

Das Element wurde komplett abgeworfen.

Im Feld Trennstelle wird angezeigt, ob der Schalter beim Element geöffnet bzw. geschlossen ist.

Ergebnisse übernehmen

Mit dieser Funktion können die Ergebnisse der Lastflussberechnung in die Eingabedaten der Netzelemente übernommen werden. Dies ermöglicht es beispielsweise, die Startwerte für Knotenspannungen und Generatorleistungen zu übernehmen und somit die Konvergenz im Lastfluss zu verbessern.



Bild: Dialog Ergebnisse übernehmen

In der Auswahlliste des Dialoges werden alle jene Ergebnisse angezeigt, die in die Eingabedaten der Netzelemente übernommen werden.

Folgende Ergebnisdaten können übernommen werden:

Knotenspannungen:

Hierbei wird der Spannungswert und Spannungswinkel des Knotens von den Lastfluss-Knotenergebnissen als Startwert der Knotenspannung importiert.

• Generatorleistungen:

Hierbei werden die errechneten Leistungen der Generatoren von den Lastfluss-Zweigergebnissen als Startwert in die Generatoreingabedaten importiert.

· Regelstufen:

Mit dieser Option werden die errechneten Regelstufen von Transformatoren, Querkondensatoren und Querdrosseln als aktuelle Regelstufe übernommen.

Durch Drücken des Knopfes Übernehmen werden die markierten Ergebnisdaten übernommen.

Konvergenzkontrolle

15. Konvergenzkontrolle

Sollte eine Lastflussberechnung nicht erfolgreich durchführbar sein, so können folgende Maßnahmen zu einer erfolgreichen Lastflussberechnung führen:

- Aktivierung einer Impedanzlastumwandlung
- Aktivierung des Anrechnens
- Vorgabe von Startwerten
- Vorgaben von Leistungs- und Spannungsgrenzen
- Änderung des Regelverhaltens von Einspeisungen
- Erhöhen des Leistungsfehlers
- Erhöhen der Knotengenauigkeit
- Erhöhen der Maschengenauigkeit
- Erhöhen der Iterationsanzahl
- Starre Erdung bei Generatoren
- Starre Erdung bei Transformatoren
- Aktivieren der Ergänzung der Nullsystemdaten mit Z0 = Z1
- Verkleinern der sperrenden Nullimpedanz

15.1 Impedanzlastumwandlung

Die Impedanzlastumwandlung dient zur Verbesserung der Konvergenz, da hierbei die Leistungsabnahme von Verbrauchern in Abhängigkeit von der Spannung angepasst wird. Diese Anpassung erfolgt für folgende Netzelemente:

- allgemeine Lasten
- Asynchronmaschinen
- · variable Querelemente mit konstanter Leistungsvorgabe

Bei nichtkonvergenten Lastflussberechnungen wird empfohlen, zuerst das erweiterte Verhalten zu aktivieren.

Die Impedanzlastumwandlung wird global für das gesamte Netz mit dem Feld Impedanzlastumwandlung in den Lastfluss Berechnungsparametern aktiviert.

Nein:

Beibehaltung des fixen Lastverhaltens. D.h. die Netzelemente nehmen unabhängig von der Knotenspannung die vorgegebene Wirk- und Blindleistung ab.

Normal:

Umwandlung des Lastverhaltens der Netzelemente in ein ideales Impedanzlastverhalten. Die abgenommene Leistung ändert sich quadratisch mit der Spannung.

Erweitert:

Umwandlung des Lastverhaltens in P und Q begrenzt oder I begrenzt wie im Kapitel Lastnachbildung beschrieben.

Konvergenzkontrolle

15.2 Allgemeines

Die Genauigkeiten können dabei sehr groß gewählt werden (z.B. bis zu 100 % oder 10000 MVA), um zu einem Ergebnis zu gelangen. Die erreichten Genauigkeiten werden bei den Lastflussergebnissen ausgewiesen. Knoten mit technisch unmöglichen Belastungen werden bei den Meldungen ausgewiesen.

Weitere Informationen zu den einzelnen Maßnahmen für die Steuerung der Lastflussberechnung sind in den Lastfluss Berechnungsparametern zu finden.

Weitere Informationen bezüglich der Vorgabe von Nullsystemdaten sind in den Basisdaten Berechnungsparametern zu finden.

Weitere Informationen bezüglich Erdung sind bei den Netzelementen Netzeinspeisung, Synchronmaschine, Zweiwicklungstransformator und Dreiwicklungstransformator zu finden.

16. Anwendungsbeispiele

In diesem Kapitel stehen Anwendungsbeispiele für die folgenden Verfahren zur Verfügung:

- Symmetrischer Lastfluss
- Unsymmetrischer Lastfluss
- Lastentwicklung
- Lastprofil
- Lastermittlung
- Tap-Zone Ermittlung
- Last anschließen
- PV Kurven
- Wiederversorgung

16.1 Anwendungsbeispiel für Symmetrischen Lastfluss

Im Folgenden soll das Verfahren **Symmetrischer Lastfluss** in PSS SINCAL anhand einfacher Anwendungsbeispiele dargestellt werden. In den Beschreibungen werden

- das Voreinstellen der Berechnungsparameter,
- das Erfassen von spannungshaltenden Netzelementen,
- das Definieren der zeitlichen Betrachtung,
- das Definieren von Spannungsverläufen durch das Netz,
- das Starten der Berechnung sowie
- das Darstellen und Auswerten der Ergebnisse

dargestellt.

Grundlagen

Alle Beschreibungen basieren auf folgendem Netz.

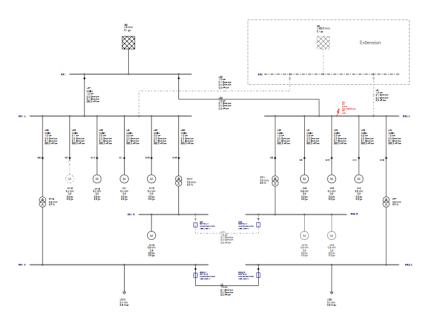


Bild: Musternetz Symmetrischer Lastfluss

Dieses Netz ("Example Ele1") wird bei der Installation von PSS SINCAL automatisch bereitgestellt und kann zum Testen des Simulationsverfahrens eingesetzt werden.

16.1.1 Voreinstellen der Berechnungsparameter

Die Maske zum Einstellen der Berechnungsparameter wird über den Menüpunkt **Berechnen** – **Parameter** geöffnet.

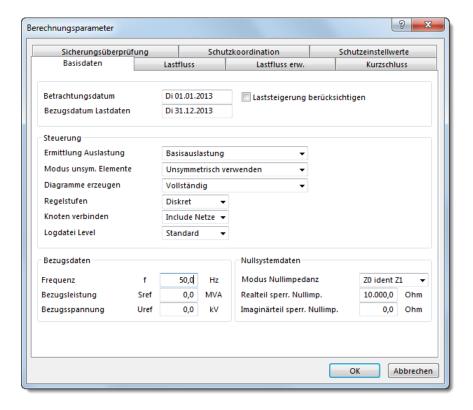


Bild: Berechnungsparameter Basisdaten

Vor der symmetrischen Lastflussberechnung müssen generelle Berechnungsparameter eingestellt werden, vor allem das **Betrachtungsdatum** und das **Bezugsdatum Lastdaten** der Betriebsmittel.

Die speziellen Parameter für den symmetrischen Lastfluss werden im folgenden Register definiert.

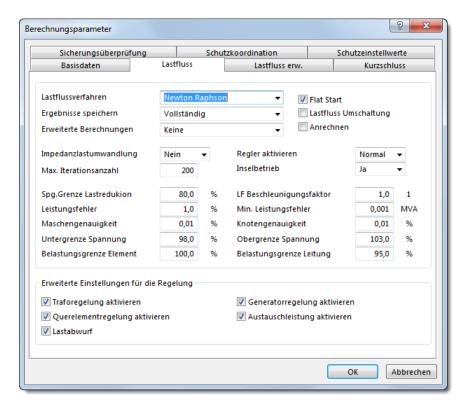


Bild: Berechnungsparameter Lastfluss

In diesem Register werden weitere Parameter für die Berechnung sowie die Grenzwerte für Spannung und Auslastung festgelegt.

16.1.2 Erfassen von spannungshaltenden Netzelementen

Das Erfassen des eigentlichen Netzes ist in der Bedienungsanleitung beschrieben (siehe Handbuch Bedienung, Kapitel Netzbearbeitung anhand eines Beispiels).

Um eine symmetrische Lastflussberechnung durchführen zu können, muss mit Hilfe eines spannungshaltenden Elementes die Spannung und der Spannungswinkel an einem Knoten im Netz vorgegeben werden. Hierzu wird im Netz mindestens eine Einspeisung mit Lastflusstyp Spannung und Spannungswinkel an einem Knoten erfasst.

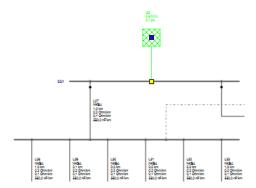


Bild: Netz mit erfasster spannungshaltender Einspeisung

Alle übrigen Elemente, die mit diesem spannungshaltenden Element verbunden sind, nehmen an der symmetrischen Lastflussberechnung teil.

16.1.3 Definieren der zeitlichen Betrachtung

In der Datenmaske von jedem Netzelement können im Register **Elementdaten** der Errichtungsund Stilllegungszeitpunkt angegeben werden.

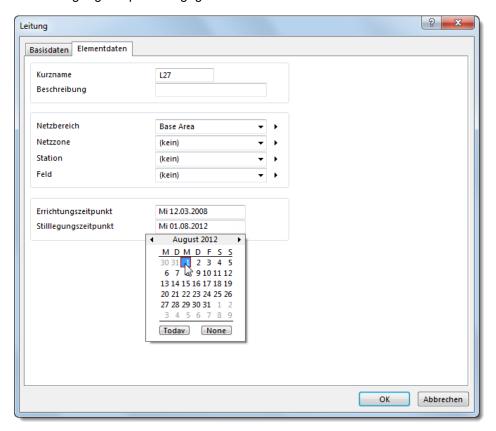


Bild: Definition von Errichtungs- und Stilllegungszeitpunkt

Mit den Feldern **Errichtungszeitpunkt** und **Stilllegungszeitpunkt** werden jene Zeitpunkte definiert, an denen das Netzelement fertig gestellt bzw. stillgelegt wird.

Weitere Hinweise zur zeitlichen Betrachtung finden Sie bei den Berechnungsparametern und im Kapitel Zeitliche Betrachtung des Netzes in Handbuch Eingabedaten.

16.1.4 Definieren von Spannungsverläufen durch das Netz

Die Strecken für Spannungsverlaufsdiagramme werden am einfachsten über den Menüpunkt **Bearbeiten – Markieren – Strecke markieren** grafisch im Netz markiert.

Nach dem Aktivieren dieser Funktion kann mit Hilfe des Cursors die Strecke grafisch markiert werden. Dabei wird zuerst das Element am Anfang der Strecke selektiert und danach jenes, das das Ende des Markierungsbereiches kennzeichnet. Das System sucht nun die kürzeste Verbindung zwischen den beiden definierten Elementen und markiert diese Strecke.

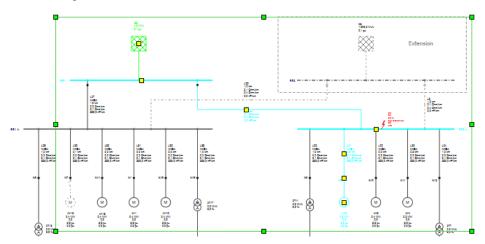


Bild: markierte Strecke für Spannungsverlaufsdiagramm

Nach dem Markieren der Strecke muss diese einer Netzelementgruppe mit Gruppenart **Spannungsverlauf** zugeordnet werden. Hierzu wird der Menüpunkt **Einfügen** – **Netzelementgruppe** aktiviert und im Netzbrowser der Knopf **Neu** angeklickt.

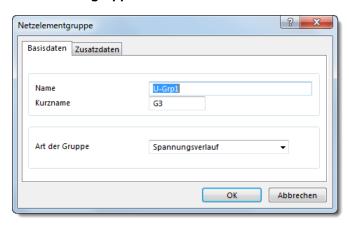


Bild: Anlegen einer neuen Gruppe

In der Datenmaske werden der Name und die Gruppenart **Spannungsverlauf** angegeben. Durch Drücken des Knopfes **OK** wird die neue Gruppe angelegt.

Über den Knopf **Markierung einfügen** werden alle aktuell markierten Elemente der neuen Gruppe zugeordnet.



Bild: Neue Netzelementgruppe mit zugewiesenen Netzelementen

Nach der Definition wird das Spannungsverlaufsdiagramm automatisch von der symmetrischen Lastflussberechnung generiert.

Sollte das Diagramm nicht den gewünschten Startknoten haben, so kann bei der Netzelementgruppe über die Funktion **Reihenfolge in der Gruppe** die Reihenfolge explizit festgelegt werden. Beinhaltet die Gruppe nur den Startknoten eines Abgangs, so wird das Diagramm automatisch für den kompletten Abgang erzeugt.

16.1.5 Starten der Berechnung

Die Berechnung des symmetrischen Lastflusses wird über das Menü **Berechnen** – **Lastfluss** – **Standard** gestartet.

16.1.6 Darstellen und Auswerten der Ergebnisse

Die wichtigsten Ergebnisse der symmetrischen Lastflussberechnung sind in der Netzgrafik verfügbar.

Spezielle Ergebnisse stehen über dem Menüpunkt **Berechnen** – **Ergebnisse** zur Verfügung. Eine Kontrolle der erfolgreich durchgeführten Berechnung erfolgt über dem Menüpunkt **Berechnen** – **Ergebnisse** – **LF Genauigkeit**.

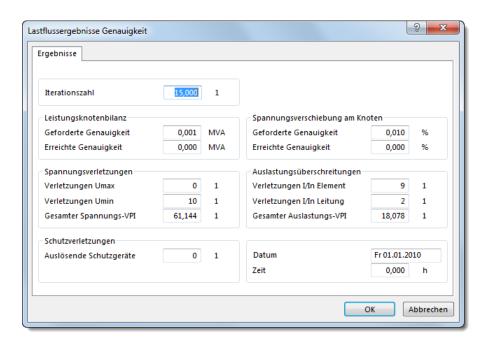


Bild: Ergebnisse Genauigkeit der symmetrischen Lastflussberechnung

Bei diesen Ergebnissen sind die erreichte Rechengenauigkeit, die Anzahl der Grenzwertverletzungen und die Anzahl der auslösenden Schutzgeräte verfügbar.

Zusätzlich zu den Ergebnissen in der Netzgrafik werden auch Ergebnisse in Diagrammform generiert. Diese können über den Menüpunkt **Ansicht** – **Diagramm** betrachtet werden.

Die Ergebnisdiagramme der Spannungsverläufe sind unter dem Diagrammtyp **Spannungsverlauf** verfügbar.

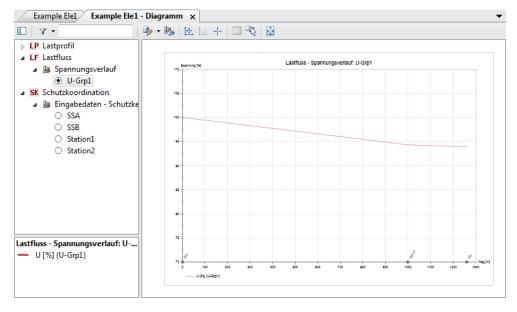


Bild: Spannungsverlaufsdiagramm

16.2 Anwendungsbeispiel für Unsymmetrischen Lastfluss

Im Folgenden soll das Verfahren **Unsymmetrischer Lastfluss** in PSS SINCAL anhand einfacher Anwendungsbeispiele dargestellt werden. In den Beschreibungen werden

- das Voreinstellen der Berechnungsparameter,
- das Erfassen von Netzelementen mit unsymmetrischen Daten
- das Starten der Berechnung sowie
- das Darstellen und Auswerten der Ergebnisse

dargestellt.

Grundlagen

Alle Beschreibungen basieren auf folgendem Netz.

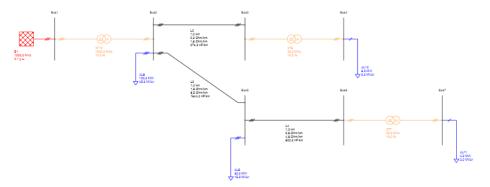


Bild: Musternetz Unsymmetrischer Lastfluss

Dieses Netz ("Example Ele4") wird bei der Installation von PSS SINCAL automatisch bereitgestellt und kann zum Testen des Simulationsverfahrens eingesetzt werden.

16.2.1 Voreinstellen der Berechnungsparameter

Die Berechnung des unsymmetrischen Lastflusses in Netzen erfordert ein höheres Maß an Eingabedaten als bei symmetrischen Netzen. Hierbei müssen vor allem die Nullsystemdaten bei Netzelementen angegeben werden, da es ansonsten nicht möglich ist, einphasige Lasten zu berechnen.

Um eine Berechnung auch dann zu ermöglichen, wenn nicht bei allen Netzelementen Nullsystemdaten angegeben sind, können über die Berechnungsparameter entsprechende Werte für diese Netzelemente vorgegeben werden. Die Maske zum Einstellen der Berechnungsparameter wird über den Menüpunkt **Berechnen – Parameter** geöffnet.

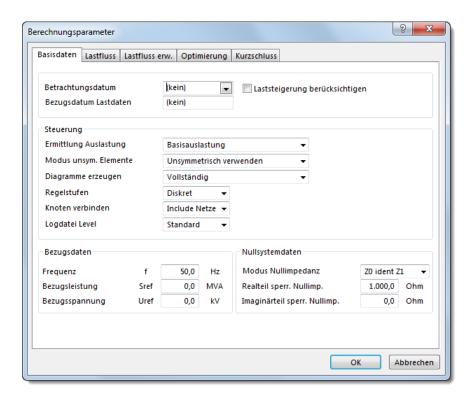


Bild: Berechnungsparameter Basisdaten

Im Register **Basisdaten** können die erweiterten Steuerparameter für dieses Berechnungsverfahren angegeben werden. Hierbei wird über den **Modus Nullimpedanz** voreingestellt, wie Netzelemente ohne Nullsystemdaten in der Berechnung berücksichtigt werden.

16.2.2 Erfassen von Netzelementen mit unsymmetrischen Daten

Im folgenden Beispiel wird nur das Erfassen und Bearbeiten von Netzelementen mit unsymmetrischen Daten gezeigt. Das Erfassen des eigentlichen Netzes ist in der Bedienungsanleitung beschrieben (siehe Handbuch Bedienung, Kapitel Netzbearbeitung anhand eines Beispiels).

Die Netzdaten für unsymmetrische Elemente werden in denselben Datenmasken wie jene von symmetrischen Elementen angegeben. Der einzige Unterschied hierbei ist die Anschlussart des Elementes.

Im folgenden Beispiel soll eine einphasige Last an der Sammelschiene **Bus4** erfasst werden. Hierzu wird über die Symbolleiste **Netzelemente** an der Sammelschiene die Last angeschlossen. Dies bewirkt, dass die Eingabedatenmaske der allgemeinen Last geöffnet wird.

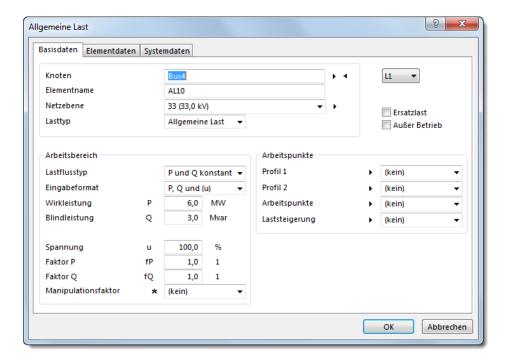


Bild: Datenmaske Allgemeine Last

In dieser Maske können die Eingabedaten der Last angegeben werden.

Die Last muss nun an die gewünschten Leiter angeschlossen werden. Am einfachsten erfolgt dies direkt über das Register **Basisdaten**.

Direkt neben den Topologiefeldern wird eine Auswahlliste mit den möglichen Anschlussarten angezeigt. Die hier getroffene Auswahl wird für alle Anschlüsse des Netzelementes übernommen.

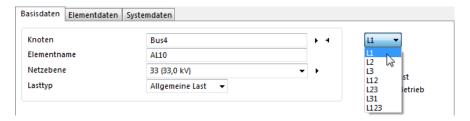


Bild: Auswahl der Anschlussart im Register Basisdaten

Auswahl der Anschlussart über die Anschluss-Datenmaske

Wahlweise kann die Anschlussart von Netzelementen auch über die Anschluss-Datenmaske eingestellt werden. Hierzu muss der Anschluss des Netzelementes geöffnet werden.

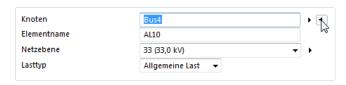


Bild: Öffnen des Anschlusses

Es erscheint die Datenmaske Anschluss.

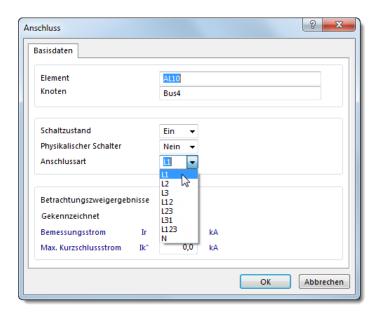


Bild: Datenmaske Anschluss

In dieser Maske kann die gewünschte Anschlussart definiert werden. Hierbei kann

- ein einphasiger Anschluss an den Leitern L1, L2 oder L3,
- ein Anschluss zwischen zwei Leitern (L12, L23, L31) oder
- ein Anschluss an allen Leitern (L123)
- ein Anschluss an einem Rückleiter (N)

ausgewählt werden.

Die Voreinstellung für die Anschlussart beim Erfassen von neuen Netzelementen ist ein symmetrischer Anschluss an allen Leitern L123.

16.2.3 Starten der Berechnung

Die Berechnung des unsymmetrischen Lastflusses wird über das Menü **Berechnen – Lastfluss – Standard** gestartet.

16.2.4 Darstellen und Auswerten der Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in der Netzgrafik verfügbar.

In PSS SINCAL werden alle Netzelemente immer in vereinfachter Form dargestellt, d.h. es folgt keine detaillierte Darstellung ein-, zwei- oder dreiphasiger Netzelemente. Zur Kennzeichnung der Anschlussart von Netzelementen gibt es in PSS SINCAL eine spezielle Funktion. Diese kann über den Dialog **Ansicht formatieren** aktiviert werden. Durch Klicken des Knopfes **Optionen** erscheint ein Dialog zur Einstellung der Ansichtsoptionen.

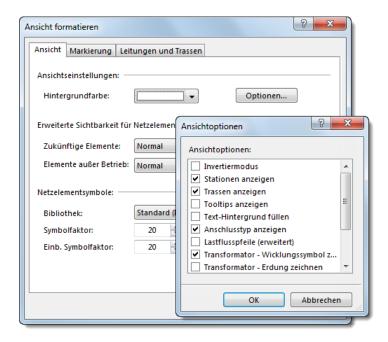


Bild: Dialog Ansicht formatieren

Mit der Option **Anschlusstyp anzeigen** wird die Kennzeichnung der Anschlussart für alle Netzelemente aktiviert.

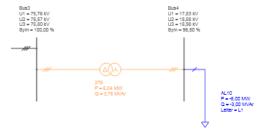


Bild: Netz mit aktivierter Kennzeichnung der Anschlussart

16.3 Anwendungsbeispiel für Lastentwicklung

Im Folgenden soll das Verfahren **Lastentwicklung** anhand eines einfachen Anwendungsbeispieles dargestellt werden. In den Beschreibungen werden

- das Voreinstellen der Berechnungsparameter,
- das Erfassen der erforderlichen Eingabedaten,
- das Definieren der Lastentwicklung,
- das Starten der Berechnung sowie
- das Darstellen und Auswerten der Ergebnisse

dargestellt.

Grundlagen

Alle Beschreibungen basieren auf folgendem Netz.

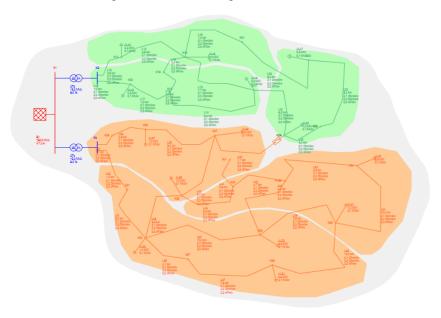


Bild: Lastentwicklungsnetz mit Eingabedaten

Dieses Netz ("Example LD") wird bei der Installation von PSS SINCAL automatisch bereitgestellt und kann zum Testen des Simulationsverfahrens eingesetzt werden.

16.3.1 Voreinstellen der Berechnungsparameter

Das Verfahren Lastentwicklung ermittelt die Laständerungen über die Zeit. Dazu ist es erforderlich, einen Betrachtungszeitraum zu definieren. Dies erfolgt über die **Berechnungsparameter**, Register **Lastfluss erweitert**.

Die Maske zum Einstellen der Berechnungsparameter wird über den Menüpunkt **Berechnen** – **Parameter** aufgerufen.

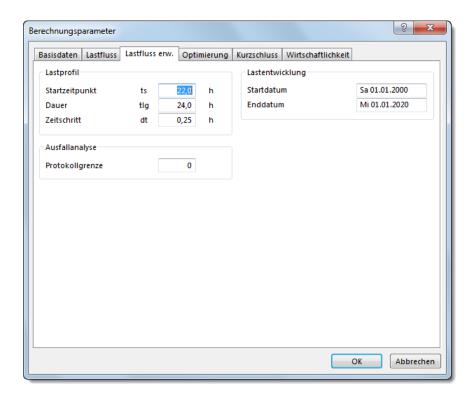


Bild: Berechnungsparameter Lastfluss erweitert

Mit den Feldern **Startdatum** und **Enddatum** wird der Betrachtungszeitraum für die Lastentwicklung definiert.

16.3.2 Erfassen der Eingabedaten

Neben den Berechnungsparametern kann zusätzlich jedem Netzelement (Einspeisungen, Verbraucher, Transformatoren, Lasten) ein individueller Errichtungs- und Stilllegungszeitpunkt zugeordnet werden. Diese beiden Zeitpunkte definieren, in welchem Teil des Betrachtungszeitraumes das jeweilige Netzelement aktiv ist. Wird bei beiden Feldern kein Datum zugeordnet, dann ist das Netzelement für den gesamten Betrachtungszeitraum aktiv.

Die Zuordnung dieses Datums erfolgt über das Register **Elementdaten** in der jeweiligen Datenmaske.

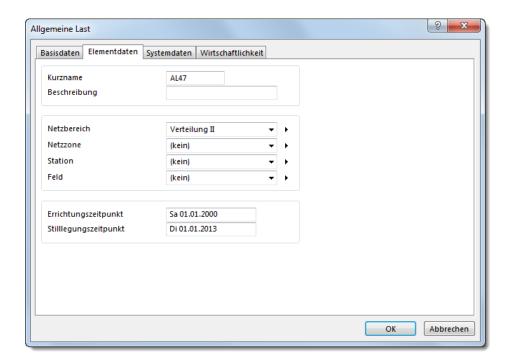


Bild: Datenmaske Allgemeine Last - Register Elementdaten

In der Datenmaske von Knoten- und Zweigelementen werden im Register **Elementdaten** die topologischen Informationen des Netzelementes angezeigt. Zusätzlich enthält dieses Register auch die für die Lastentwicklung wesentlichen Datumsfelder **Errichtungszeitpunkt** und **Stilllegungszeitpunkt**.

Eine genaue Beschreibung hierzu ist im Handbuch Eingabedaten, Kapitel Basisdaten des Netzelementes zu finden.

Lastpolygon und Leistungspolygon

Diese Polygone dienen zur Gruppierung der Verbraucher für die Lastentwicklungsberechnung. Alle Verbraucher, die innerhalb eines Last- bzw. Leistungspolygons liegen, werden diesem zugeordnet.

Last- und Leistungspolygon basieren auf der grafischen Elementgruppe.

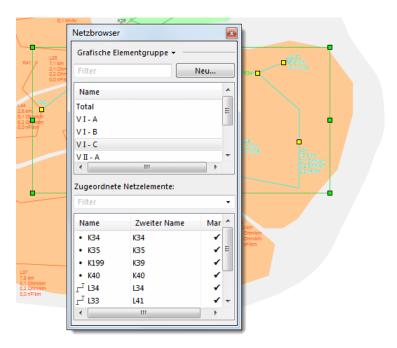


Bild: Grafische Elementgruppe

Mit Hilfe der grafischen Elementgruppe werden beliebige Netzelemente durch ein umschließendes Polygon zu einer Gruppe zusammengefasst. Die Beschreibung der grafischen Elementgruppe ist im Handbuch Eingabedaten, Kapitel Netzaufbau, Abschnitt Grafische Elementgruppe verfügbar.

Zur Definition eines Last- bzw. Leistungspolygons muss eine Verbindung zur grafischen Elementgruppe hergestellt werden. Dies erfolgt über das Leistungsverhalten.

Eine besonders komfortable Methode, diese Zuordnung herzustellen, bietet der Einfügemodus **Leistungsverhalten**. Hierbei wird die Funktion über das Menü **Einfügen** – **Einfügemodi** (siehe Handbuch Bedienung, Kapitel Einfügemodi) aktiviert.

Lastgruppe

Die Lastgruppe dient zur Gruppierung von Netzelementen für die Lastentwicklungsberechnung. Hierbei werden aber im Gegensatz zum Last- und Leistungspolygon die Netzelemente direkt zugeordnet. Diese Zuordnung erfolgt mit Hilfe der in PSS SINCAL verfügbaren Netzelementgruppe.

Der Netzbrowser für die **Netzelementgruppe** wird über den Menüpunkt **Einfügen** – **Netzelementgruppe** geöffnet.

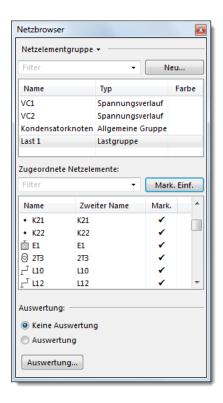


Bild: Netzbrowser Netzelementgruppe

16.3.3 Definieren der Lastentwicklung

PSS SINCAL bietet ein flexibles System zur Definition der Lastentwicklung, um die verschiedensten Szenarien möglichst detailliert nachbilden zu können. Hierzu stehen folgende Daten zur Verfügung:

- Leistungsverhalten
- Laststeigerungen
- Zuwachsleistungen
- Gesicherte Leistung

Leistungsverhalten

Mit dem Leistungsverhalten können die charakteristischen Daten der Lastentwicklung einem räumlichen Gebiet (Polygon) oder einer Netzelementgruppe zugeordnet werden.

Die Datenmaske **Leistungsverhalten** kann bequem mit Hilfe des Menüpunktes **Daten – Lastfluss – Leistungsverhalten** geöffnet werden.

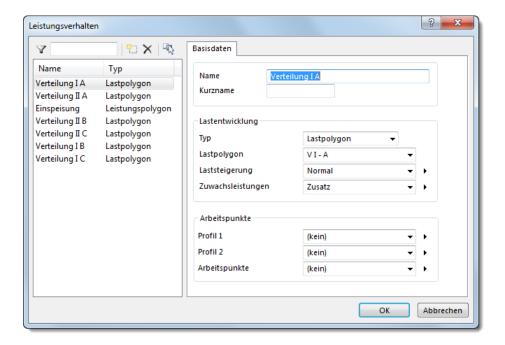


Bild: Datenmaske Leistungsverhalten

Mit dieser Datenmaske können vordefinierte Lastprofile, Laststeigerungen und Leistungsvorgaben Netzelementen zugeordnet werden. Diese Zuordnung erfolgt entweder über

- · ein Lastpolygon,
- ein Leistungspolygon oder
- eine Lastgruppe.

Bei einem **Lastpolygon** wird Verbrauchern eine Laststeigerung zugeordnet. Alle Lasten innerhalb dieses Lastpolygons werden auf die gleiche Art und Weise in die Lastentwicklungsberechnung mit einbezogen. Alle vom Lastpolygon umschlossenen Verbraucher werden diesem zugeordnet.

Das **Leistungspolygon** funktioniert genauso wie das Lastpolygon, allerdings wird hier die gesicherte Leistung zugeordnet.

Die **Lastgruppe** dient wie das Lastpolygon zur Zuordnung der Laststeigerung. Hierbei werden allerdings die Verbraucher direkt über eine entsprechende Netzelementgruppe bestimmt.

Eine genaue Beschreibung der Felder in der Datenmaske **Leistungsverhalten** ist im Handbuch Eingabedaten, Kapitel Lastfluss, Abschnitt Leistungsverhalten zu finden.

Laststeigerungen

Mit diesem Element werden die Laststeigerungen über die Zeit definiert.

Die Datenmaske **Laststeigerung** kann bequem mit Hilfe des Menüpunktes **Daten** – **Lastfluss** – **Laststeigerungen** geöffnet werden.

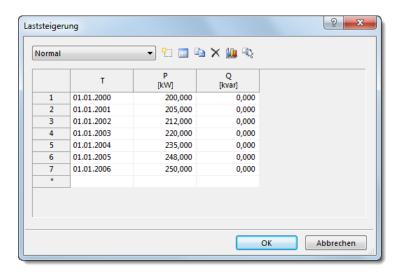


Bild: Datenmaske Laststeigerung

Alle Laststeigerungen werden für ein bestimmtes Datum hinterlegt. Diese Daten können absolut oder relativ angegeben werden.

Eine genaue Beschreibung ist im Kapitel Vorgaben für die Laststeigerung zu finden.

Zuwachsleistungen

Mit diesem Element werden Leistungszuwächse definiert.

Die Datenmaske **Zuwachsleistungen** kann bequem mit Hilfe des Menüpunktes **Daten – Lastfluss – Zuwachsleistungen** geöffnet werden.

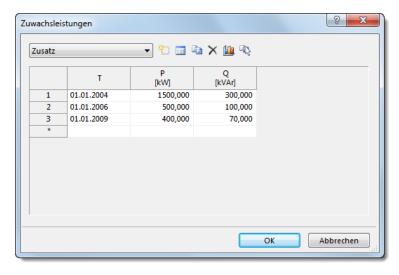


Bild: Datenmaske Zuwachsleistungen

Mit der Zuwachsleistung können Lasten eines Lastpolygons oder einer Lastgruppe zu einem bestimmten Zeitpunkt mit einer Zusatzleistung anteilig beaufschlagt werden.

Gesicherte Leistung

Mit diesem Element werden gesicherte Leistungen über die Zeit definiert.

Die Datenmaske **Gesicherte Leistung** kann bequem mit Hilfe des Menüpunktes **Daten** – **Lastfluss** – **Gesicherte Leistung** geöffnet werden.

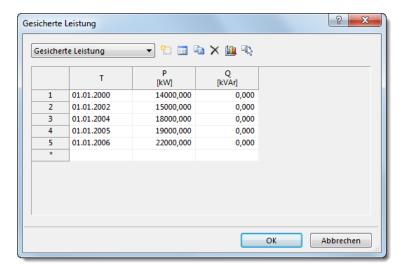


Bild: Datenmaske Gesicherte Leistung

Die gesicherte Leistung bestimmt jene maximale Leistung, die innerhalb eines definierten Leistungspolygons zu einem bestimmten Zeitpunkt abgenommen werden darf. Diese Leistungsvorgabe hat keinen direkten Einfluss auf die Lastentwicklungsberechnung. Sie wird nur zur Kontrolle der Ergebnisse benötigt. Dazu wird diese in den Ergebnisdiagrammen der Lastprofilberechnung angezeigt.

16.3.4 Starten der Berechnung

Die Berechnung der Lastentwicklung wird über den Menüpunkt **Berechnen – Lastfluss – Lastentwicklung** gestartet.

16.3.5 Darstellen und Auswerten der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Lastentwicklung werden

- in der Netzgrafik und
- in Form von Diagrammen

bereitgestellt.

Ergebnisse in der Netzgrafik

Da bei der Lastentwicklung unter Umständen sehr viele verschiedene Lastflussberechnungen (über die Zeit) durchgeführt werden, kann individuell gesteuert werden, welche Ergebnisse von den Berechnungsmethoden in der Datenbank gespeichert werden. Dies erfolgt über die Lastfluss Berechnungsparameter.

Über das Feld Daten in Datenbank speichern kann gesteuert werden, ob

- die Ergebnisse je nach Methode,
- alle Ergebnisse,
- nur jene Ergebnisse, bei denen Grenzwerte verletzt werden, oder
- alle Ergebnisse, sofern eine Grenzwertverletzung vorliegt,

gespeichert werden.

Die Ergebnisse können für jeden Berechnungszeitpunkt über den Dialog **Eingabedaten und Ergebnisse** angezeigt werden.

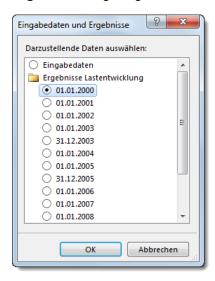


Bild: Dialog Eingabedaten und Ergebnisse

Ergebnisse in Form von Diagrammen

Zusätzlich zu den Ergebnissen in der Netzgrafik werden auch Ergebnisse in Diagrammform generiert. Diese können über den Menüpunkt **Ansicht** – **Diagramm** betrachtet werden.

Die Diagramme sind unter dem Punkt **Lastentwicklung** im Diagrammbrowser verfügbar. Hierbei wird zwischen frei definierbaren Ergebnisdiagrammen sowie automatisch generierten Diagrammen für Eingabedaten unterschieden.

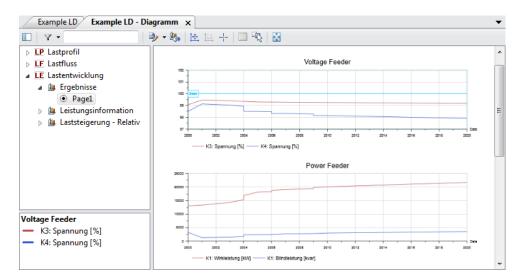


Bild: Ergebnisdiagramme Lastentwicklung

Im Zuge der Lastentwicklungsberechnung werden vielfältige Diagramme für Knoten, Netzelemente und das Netz generiert. Diese Diagramme können individuell auf einer Diagrammseite zusammengestellt werden. Dazu wird der Punkt **Ergebnisse** im Browser angewählt und über das Kontextmenü der Menüpunkt **Diagrammseite zusammenstellen** aktiviert. Eine ausführliche Beschreibung finden Sie im Kapitel Zusammenstellen von Ergebnisdiagrammseiten des Handbuches Bedienung.

16.4 Anwendungsbeispiel für Lastprofil

Im Folgenden soll das Verfahren **Lastprofil** anhand eines einfachen Anwendungsbeispieles dargestellt werden. In den Beschreibungen werden

- das Voreinstellen der Berechnungsparameter,
- das Zuweisen eines Lastprofils,
- das Erfassen von Kundendaten,
- das Starten der Berechnung sowie
- das Darstellen und Auswerten der Ergebnisse

dargestellt.

Grundlagen

Alle Beschreibungen basieren auf folgendem Netz.

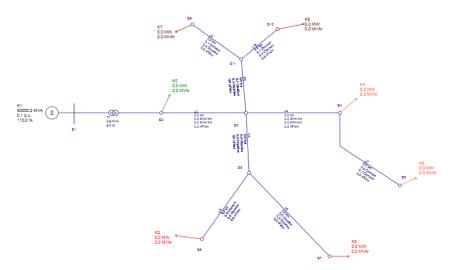


Bild: Strahlnetz für Lastprofil

Dieses Netz ("Example LP") wird bei der Installation von PSS SINCAL automatisch bereitgestellt und kann zum Testen des Simulationsverfahrens eingesetzt werden.

Die Farben im Netz sind so gewählt, dass gleiche Farben gleiche Lastprofile für die Simulation darstellen.

16.4.1 Voreinstellen der Berechnungsparameter

Die Maske zum Einstellen der Berechnungsparameter wird über den Menüpunkt **Berechnen** – **Parameter** aufgerufen.

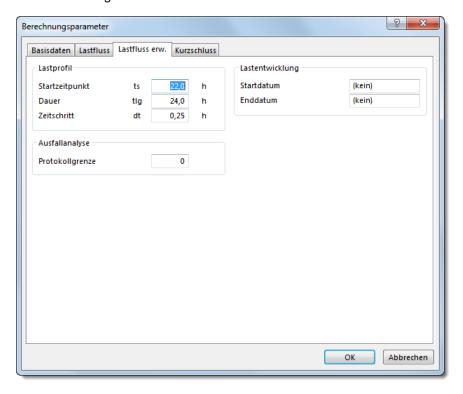


Bild: Berechnungsparameter Lastfluss erweitert

Im Register Lastfluss erweitert können die erforderlichen Steuerparameter zur Konfiguration der Lastprofilberechnung eingegeben werden.

Die wesentlichen Parameter sind im Abschnitt Lastprofil verfügbar. Über die Felder Startzeitpunkt und Dauer wird der Zeitraum für die Lastprofilberechnung festgelegt. Innerhalb dieses Zeitraumes werden mit dem Zeitschritt Lastflussberechnungen durchgeführt. Wahlweise können die Traforegelung, die Querelementregelung und die Generatorregelung aktiviert bzw. deaktiviert werden, je nachdem, welches Regelverhalten zur Analyse benötigt wird.

Darüber hinaus kann der in der Datenbank verfügbare Ergebnisumfang festgelegt werden. Dies erfolgt im Register **Lastfluss**.

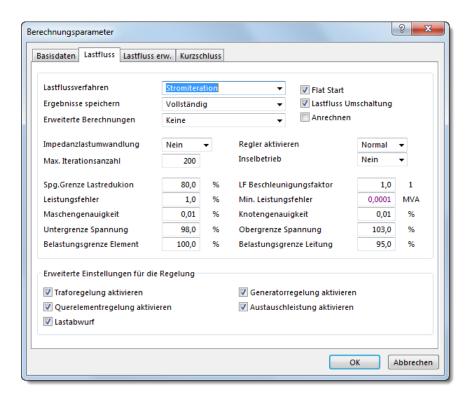


Bild: Berechnungsparameter Lastfluss

Mit dem Feld **Daten in Datenbank speichern** kann bei speziellen Lastflussverfahren, die sehr große Ergebnismengen produzieren, gesteuert werden, ob die Berechnungsergebnisse in der Datenbank gespeichert werden. Dieses Steuerfeld betrifft vor allem die Simulationsverfahren Lastprofil und Lastentwicklung. Folgende Optionen stehen zur Auswahl:

- Je nach Methode:
 - Diese Option bewirkt, dass die Speicherung der Ergebnisse je nach Simulationsmethode automatisch gewählt wird.
- Alle:
 - Alle Ergebnisse werden in der Datenbank gespeichert.
- Elemente außerhalb der Grenzen:
 Es werden nur die Ergebnisse jener Netzelemente gespeichert, bei denen eine Grenzwertverletzung vorliegt.
- Alle bei Grenzwertverletzung:
 Hier werden beim Auftreten einer Grenzwertverletzung die Ergebnisse für das ganze Netz gespeichert.

Informationen zu allen verfügbaren Parametern finden Sie im Handbuch Eingabedaten, Kapitel Lastfluss Berechnungsparameter und Erweiterte Lastfluss Berechnungsparameter.

16.4.2 Zuweisen von Lastprofilen

Um das Lastprofil zu berechnen, werden zuerst die Lastprofile erfasst und anschließend zugeordnet.

Im folgenden Beispiel wird das Zuordnen der Lastprofile beschrieben. Das Erfassen der Arbeitspunkte/Profile ist im Handbuch Eingabedaten, Kapitel Lastfluss beschrieben.

Das Zuweisen erfolgt direkt über die Datenmaske der Allgemeinen Last im Register Basisdaten.

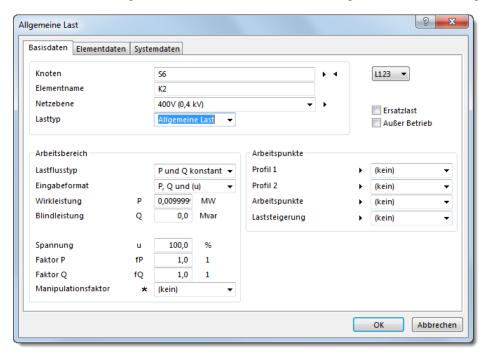


Bild: Datenmaske Allgemeine Last

Die Zuweisung wird über die Auswahllisten im Abschnitt Arbeitspunkte durchgeführt.

Durch Anwahl des Bearbeitungsknopfes kann die Datenmaske des jeweiligen Profils direkt geöffnet werden.

16.4.3 Erfassen von Kundendaten

Das Erfassen von Kundendaten erfolgt direkt über die Datenmaske der Allgemeinen Last im Register **Basisdaten**. Als Lasttyp muss **Hausanschluss** ausgewählt werden.

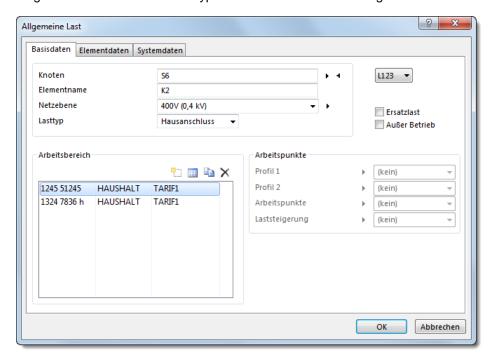


Bild: Datenmaske Allgemeine Last mit Kundendaten

Im Bereich **Kundendaten** besteht die Möglichkeit, Kundendaten neu anzulegen, zu kopieren, zu bearbeiten oder zu löschen. Einer Last können beliebig viele Kundendaten zugeordnet werden.

Durch einen Doppelklick auf einen Eintrag in der Liste **Kundendaten** kann die entsprechende Datenmaske direkt geöffnet werden.

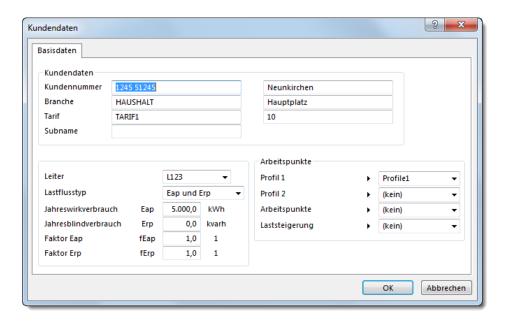


Bild: Datenmaske Kundendaten

Für jeden Kunden muss über die Felder **Profil 1** und **Profil 2** das Zeitprofil zugeordnet werden. Durch Anwahl des Bearbeitungsknopfes kann die Datenmaske des jeweiligen Profils direkt geöffnet werden.

Im Abschnitt **Kundendaten** können Zusatzinformationen hinterlegt werden, welche von der Berechnung nicht berücksichtigt werden. Mit diesen Zusatzinformationen ist es unter anderem möglich, eine Ankopplung/Verbindung zu externen Informationssystemen (GIS/NIS, Verbrauchsabrechnung) herzustellen.

16.4.4 Starten der Berechnung

Die Berechnung des Lastprofils wird über den Menüpunkt **Berechnen – Lastfluss – Lastprofil** gestartet.

16.4.5 Darstellen und Auswerten der Ergebnisse

Die Ergebnisse des Lastprofils werden

- in der Netzgrafik und
- in Form von Diagrammen

bereitgestellt.

Ergebnisse in der Netzgrafik

Die Ergebnisse können für jeden Berechnungszeitpunkt über den Dialog **Eingabedaten und Ergebnisse** angezeigt werden.

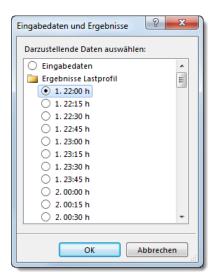


Bild: Dialog Eingabedaten und Ergebnisse

Ergebnisse in Form von Diagrammen

Zusätzlich zu den Ergebnissen in der Netzgrafik werden auch Ergebnisse in Diagrammform generiert. Diese können über den Menüpunkt **Ansicht** – **Diagramm** betrachtet werden.

Die Diagramme sind unter dem Punkt **Lastprofil** im Diagrammbrowser verfügbar. Hierbei wird zwischen frei definierbaren Ergebnisdiagrammen sowie automatisch generierten Diagrammen für Eingabedaten unterschieden.

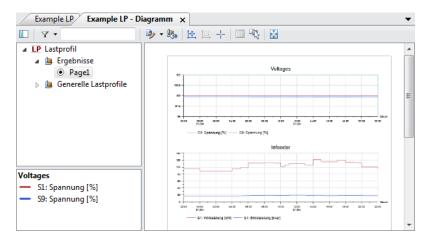


Bild: Ergebnisdiagramme Lastprofil

Im Zuge der Lastprofilberechnung werden vielfältige Diagramme für Knoten, Netzelemente und das Netz generiert. Diese Diagramme können individuell auf einer Diagrammseite zusammengestellt werden. Dazu wird der Punkt **Ergebnisse** im Browser angewählt und über das Kontextmenü der Menüpunkt **Diagrammseite zusammenstellen** aktiviert. Eine ausführliche Beschreibung finden Sie im Kapitel Zusammenstellen von Ergebnisdiagrammseiten des Handbuches Bedienung.

16.5 Anwendungsbeispiel für die Arbeitspunktberechnung

Im Folgenden soll das Verfahren **Arbeitspunktberechnung** in PSS SINCAL anhand einfacher Anwendungsbeispiele dargestellt werden. In den Beschreibungen werden

- das Anlegen eines Arbeitspunktes,
- das Definieren von Arbeitspunkten,
- das Zuordnen von Arbeitspunkten,
- das Definieren von Spannungsverläufen durch das Netz,
- das Starten der Berechnung sowie
- das Darstellen und Auswerten der Ergebnisse

dargestellt.

Grundlagen

Alle Beschreibungen basieren auf folgendem Netz.

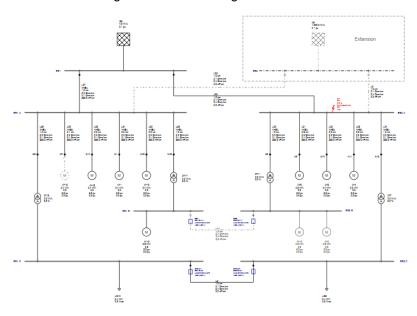


Bild: Musternetz für Arbeitspunktberechnung

Dieses Netz ("Example Ele1") wird bei der Installation von PSS SINCAL automatisch bereitgestellt und kann zum Testen des Simulationsverfahrens eingesetzt werden.

16.5.1 Anlegen eines Arbeitspunktes

Über den Menüpunkt **Daten** – **Lastfluss** – **Arbeitspunkt** wird der Dialog zum Anlegen von Arbeitspunkten geöffnet.

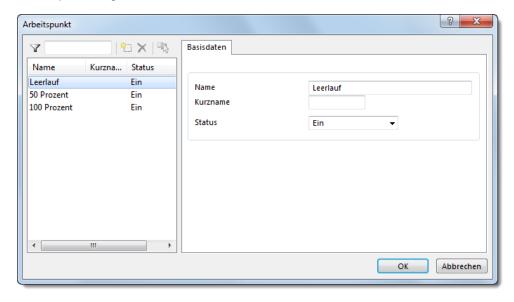


Bild: Anlegen von Arbeitspunkten

Mit Hilfe dieses Dialoges können Arbeitspunkte erzeugt, bearbeitet und auch gelöscht werden.

16.5.2 Definieren von Arbeitspunkten

Über den Menüpunkt **Daten – Lastfluss – Arbeitspunkte/Profile** wird der Dialog zur Definition von Arbeitspunkte geöffnet.

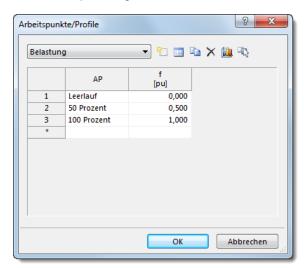


Bild: Definition von Arbeitspunkten

Mit Hilfe dieses Dialoges können Arbeitspunkte erzeugt, bearbeitet und auch gelöscht werden. Genauere Information zur Bedienung dieses Dialoges finden Sie im Kapitel Arbeitspunkte/Profile.

16.5.3 Zuordnen von Arbeitspunkten

Arbeitspunkte können den einzelnen Netzelementen direkt zugeordnet werden. Diese Zuordnung erfolgt über das Register **Basisdaten** des Netzelementes in der jeweiligen Datenmaske.

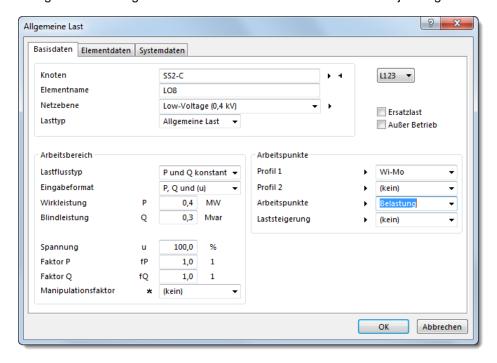


Bild: Zuordnung von Arbeitspunkten zu einer Allgemeinen Last

Die zugeordneten Arbeitspunkte wirken als Faktor auf die Basisdaten des Netzelementes. Auf welche Basisdaten der einzelnen Netzelemente die Faktoren aus den Arbeitspunkten wirken, ist abhängig von der Arbeitspunktdefinition.

16.5.4 Definieren von Spannungsverläufen durch das Netz

Die Strecken für Spannungsverlaufsdiagramme werden am einfachsten über den Menüpunkt **Bearbeiten – Markieren – Strecke markieren** grafisch im Netz markiert.

Nach dem Aktivieren dieser Funktion kann mit Hilfe des Cursors die Strecke grafisch markiert werden. Dabei wird zuerst das Element am Anfang der Strecke selektiert und danach jenes, das das Ende des Markierungsbereiches kennzeichnet. Das System sucht nun die kürzeste Verbindung zwischen den beiden definierten Elementen und markiert diese Strecke.

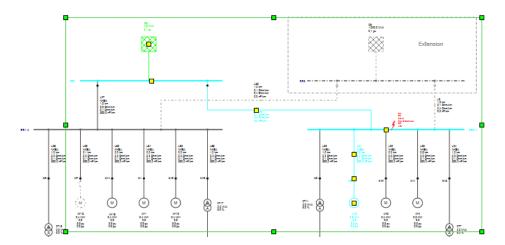


Bild: markierte Strecke für Spannungsverlaufsdiagramm

Nach dem Markieren der Strecke muss diese einer Netzelementgruppe mit Gruppenart Spannungsverlauf zugeordnet werden. Hierzu wird der Menüpunkt Einfügen – Netzelementgruppe aktiviert und im Netzbrowser der Knopf Neu angeklickt.

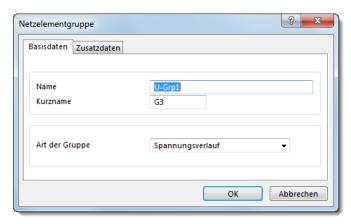


Bild: Anlegen einer neuen Gruppe

In der Datenmaske werden der Name und die Gruppenart **Spannungsverlauf** angegeben. Durch Drücken des Knopfes **OK** wird die neue Gruppe angelegt.

Über den Knopf **Markierung einfügen** werden alle aktuell markierten Elemente der neuen Gruppe zugeordnet.

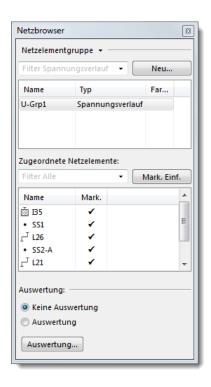


Bild: Neue Netzelementgruppe mit zugewiesenen Netzelementen

Nach der Definition wird das Spannungsverlaufsdiagramm automatisch von der symmetrischen Lastflussberechnung generiert.

Sollte das Diagramm nicht den gewünschten Startknoten haben, so kann bei der Netzelementgruppe über die Funktion **Reihenfolge in der Gruppe** die Reihenfolge explizit festgelegt werden. Beinhaltet die Gruppe nur den Startknoten eines Abgangs, so wird das Diagramm automatisch für den kompletten Abgang erzeugt.

16.5.5 Starten der Berechnung

Die Arbeitspunktberechnung wird über den Menüpunkt **Berechnen – Lastfluss – Arbeitspunkte** gestartet.

16.5.6 Darstellen und Auswerten der Ergebnisse

Nach dem Berechnen werden die Ergebnisse für die Arbeitspunktberechnung in der Netzgrafik und in Form von Diagrammen zur Verfügung gestellt.

Die Ergebnisse der einzelnen Arbeitspunkte können über den Dialog **Eingabedaten und Ergebnisse** in der Netzgrafik angezeigt werden. Hierzu wird der Menüpunkt **Ansicht** – **Eingabedaten und Ergebnisse** aktiviert.

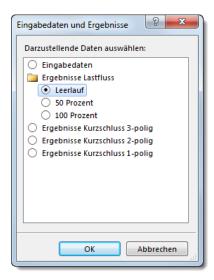


Bild: Dialog Eingabedaten und Ergebnisse

Zusätzlich zu den Ergebnissen in der Netzgrafik werden auch Ergebnisse in Diagrammform generiert. Diese können über den Menüpunkt **Ansicht** – **Diagramm** betrachtet werden.

Die Ergebnisdiagramme für die Arbeitspunktberechnung sind unter dem Diagrammtyp **Lastfluss** – **Arbeitspunkte** verfügbar.

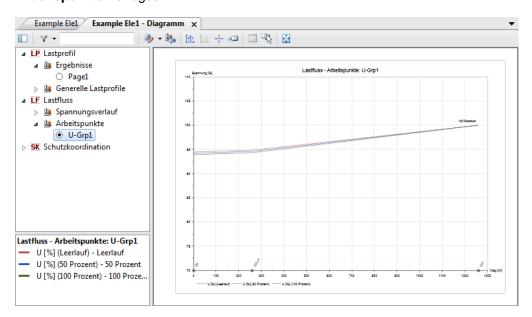


Bild: Diagramm Arbeitspunkte

Die Namen der einzelnen Arbeitspunkte sind in den Diagrammen ersichtlich.

16.6 Anwendungsbeispiel für Lastermittlung

Im Folgenden soll das Verfahren **Lastermittlung** anhand eines einfachen Anwendungsbeispieles dargestellt werden. In den Beschreibungen werden

das Voreinstellen der Berechnungsparameter,

- das Erfassen von Messwerten,
- das Zuweisen von Messwerten bei allgemeinen Lasten,
- das Starten der Berechnung sowie
- das Darstellen und Auswerten der Ergebnisse

dargestellt.

Grundlagen

Alle Beschreibungen basieren auf folgendem Netz.

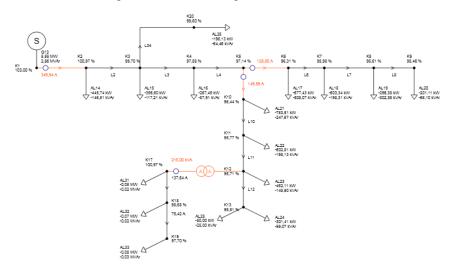


Bild: Netz für Lastermittlung

Dieses Netz ("Example LA") wird bei der Installation von PSS SINCAL automatisch bereitgestellt und kann zum Testen des Simulationsverfahrens eingesetzt werden.

Voraussetzung für die Berechnung der Lastermittlung ist, dass der Punkt Lastermittlung und Tap-Zone Ermittlung im Menü Berechnen – Methoden (siehe Handbuch Bedienung, Kapitel Benutzeroberfläche, Abschnitt Voreinstellen der Berechnungsmethoden) aktiviert ist.

16.6.1 Voreinstellen der Berechnungsparameter

Für die Berechnung der Lastermittlung gelten die gleichen Berechnungsparameter wie für die Lastflussberechnung.

16.6.2 Erfassen von Messwerten

Um die Lastermittlung zu berechnen, werden zuerst Messwerte an beliebigen Anschlüssen im Netz erfasst.

Am einfachsten kann das Erfassen der Messwerte über das Kontextmenü durchgeführt werden. Hierbei wird das Kontextmenü durch Drücken der rechten Maustaste über dem Anschluss jenes Netzelementes aufgeklappt, auf dem der Messwert erfasst werden soll.

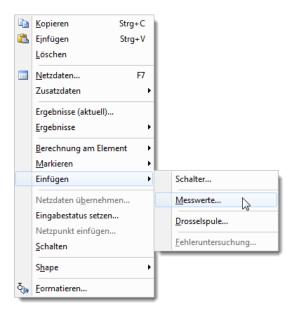


Bild: Erfassen eines Messwertes über das Kontextmenü

Danach erscheint die Eingabemaske für den Messwert.

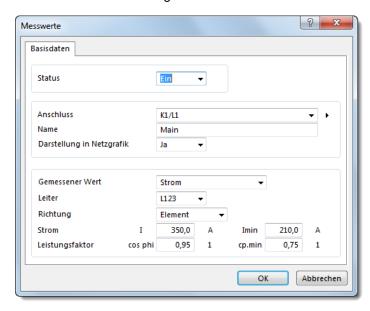


Bild: Datenmaske Messwerte

Eine genaue Beschreibung der Eingabedaten für Messwerte ist im Handbuch Eingabedaten, Kapitel Allgemeine Steuer- und Eingabedaten, Abschnitt Messwerte zu finden.

16.6.3 Zuweisen von Messwerten bei allgemeinen Lasten

Das Zuweisen von Messwerten erfolgt direkt über die Datenmaske der Allgemeinen Last im Register **Messwerte**. Als Lasttyp muss **Allgemeine Last** ausgewählt werden.

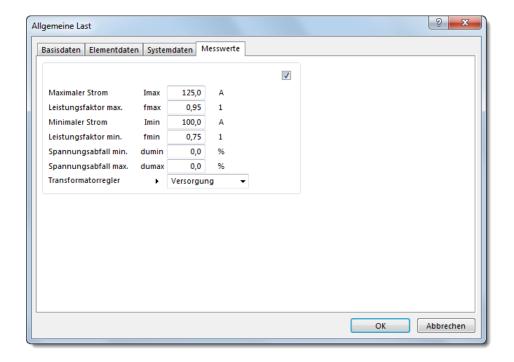


Bild: Datenmaske Allgemeine Last mit Messwerten

Hier können die Startwerte für die Lastermittlung angegeben werden. Eine genaue Beschreibung finden Sie im Handbuch Eingabedaten, Kapitel Allgemeine Last, Abschnitt Messwerte Allgemeine Last.

16.6.4 Starten der Berechnung

Die Berechnung der Lastermittlung wird über den Menüpunkt **Berechnen** – **Lastfluss** – **Lastermittlung** gestartet.

16.6.5 Darstellen und Auswerten der Ergebnisse

Wenn die Berechnung ohne Fehler durchgeführt wurde, wird das Ergebnisfenster für die **Lastermittlung** automatisch angezeigt.

Das Ergebnisfenster kann auch später über den Menüpunkt **Ansicht – Ergebnisbrowser** oder **Berechnen – Ergebnisse – Lastermittlung** geöffnet werden. Mit Hilfe des Auswahlfeldes wird die Ergebnisdarstellung für die **Lastermittlung** aktiviert.



Durch diese Auswahl werden die letzten Ergebnisse geladen und im Ergebnisfenster bereitgestellt.

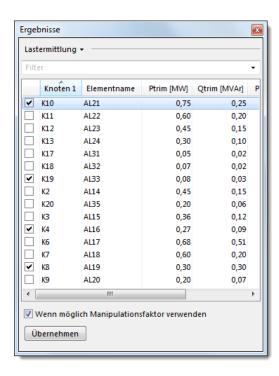


Bild: Ergebnisfenster für die Lastermittlung

Im oberen Teil des Ergebnisfensters befindet sich ein **Filterfeld**. Damit kann der Darstellungsumfang in der Liste reduziert werden. Eine Besonderheit bietet der Knopf im Filterfeld. Durch Drücken dieses Knopfes erscheint ein Menü.



Bild: Menü zur Auswahl der Darstellung

Das Menü bietet folgende Funktionen, mit dessen Hilfe die Darstellung der Auswahlliste angepasst werden kann.

Filter:

Ein weiterer Dialog wird geöffnet, in dem die im Dialog dargestellten Daten anhand von unterschiedlichsten Kriterien gefiltert und sortiert werden können. Eine genaue Beschreibung ist im Handbuch Bedienung, Kapitel Tabelle, Abschnitt Filterfunktionen in der Tabelle zu finden.

• Filter deaktivieren:

Ein definierter Filter wird temporär deaktiviert. Die Daten werden wieder in vollem Umfang dargestellt.

In der Liste werden alle im Netz vorhandenen allgemeinen Lasten mit Messwerten dargestellt.

Über das Kontextmenü sind erweiterte Bearbeitungsfunktionen verfügbar.

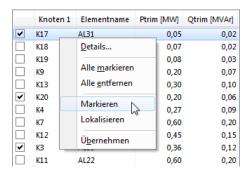


Bild: Kontextmenü der Lasten

Details:

Die ausgewählten Ergebnisse werden in einer Datenmaske dargestellt.

Alle markieren:

Alle Lasten werden in der Liste markiert.

• Alle entfernen:

Alle Markierungen werden in der Liste entfernt.

Markieren

Das selektierte Netzelement wird in der Netzgrafik markiert.

Lokalisieren:

Diese Funktion entspricht dem **Markieren**, allerdings wird hier der Bildausschnitt im Grafikeditor so angepasst, dass das markierte Element sichtbar ist.

Übernehmen:

Alle markierten Lasten werden in das Netz übernommen.

Ist die Option Wenn möglich Manipulationsfaktor verwenden aktiviert, so bleiben nach dem Zuweisen die Eingabedaten der Lasten (P und Q) erhalten und es werden nur die Faktoren (fP und fQ) entsprechend der Berechnungsergebnisse geändert. Wenn diese Option ausgeschaltet ist, so werden automatisch die Faktoren auf 1 gesetzt. Hierbei ist zu beachten, dass beim Übernehmen unabhängig von dieser Option ein eventuell vorhandener Manipulationsfaktor deaktiviert wird.

Durch Drücken des Knopfes **Übernehmen** werden die berechneten Leistungen den ausgewählten allgemeinen Lasten zugeordnet. Hierbei werden die Berechnungsergebnisse in die Eingabedaten (Basisdaten) der entsprechenden allgemeinen Lasten übernommen.

16.7 Anwendungsbeispiel für die Tap-Zone Ermittlung

Im Folgenden soll das Verfahren **Tap-Zone Ermittlung** anhand eines einfachen Anwendungsbeispieles dargestellt werden. In den Beschreibungen werden

- das Voreinstellen der Berechnungsparameter,
- das Erfassen von Messwerten,
- das Zuweisen der erweiterten Eingabedaten bei allgemeinen Lasten,
- das Starten der Berechnung sowie
- das Darstellen und Auswerten der Ergebnisse

dargestellt.

Grundlagen

Alle Beschreibungen basieren auf folgendem Netz.

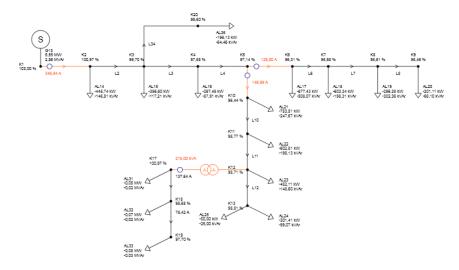


Bild: Netz für Tap-Zone Ermittlung

Dieses Netz ("Example LA") wird bei der Installation von PSS SINCAL automatisch bereitgestellt und kann zum Testen des Simulationsverfahrens eingesetzt werden.

Voraussetzung für die Berechnung der Tap-Zone Ermittlung ist, dass der Punkt **Lastermittlung** und **Tap-Zone Ermittlung** im Menü **Berechnen** – **Methoden** (siehe Handbuch Bedienung, Kapitel Benutzeroberfläche, Abschnitt Voreinstellen der Berechnungsmethoden) aktiviert ist.

16.7.1 Voreinstellen der Berechnungsparameter

Die Maske zum Einstellen der Berechnungsparameter wird über den Menüpunkt **Berechnen** – **Parameter** aufgerufen.

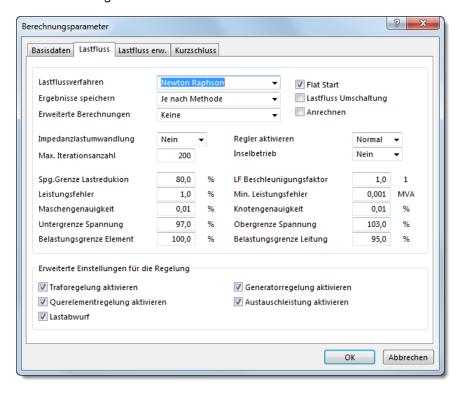


Bild: Berechnungsparameter Lastfluss

Im Register **Lastfluss** muss das zulässige Spannungsband definiert werden. Dies erfolgt über die Felder **Obergrenze Spannung** und **Untergrenze Spannung**. Die Positionen der Stufensteller werden so errechnet, dass diese Grenzwerte nicht verletzt werden.

16.7.2 Erfassen von Messwerten

Um die Tap-Zone Ermittlung durchzuführen, werden zuerst Messwerte an beliebigen Anschlüssen im Netz erfasst.

Am einfachsten kann das Erfassen der Messwerte über das Kontextmenü durchgeführt werden. Hierbei wird das Kontextmenü durch Drücken der rechten Maustaste über dem Anschluss jenes Netzelementes aufgeklappt, auf dem der Messwert erfasst werden soll.

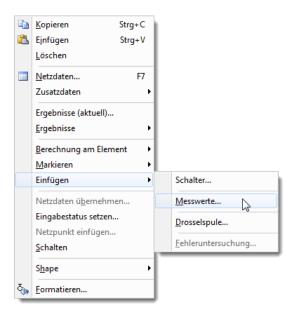


Bild: Erfassen eines Messwertes über das Kontextmenü

Danach erscheint die Eingabemaske für den Messwert.

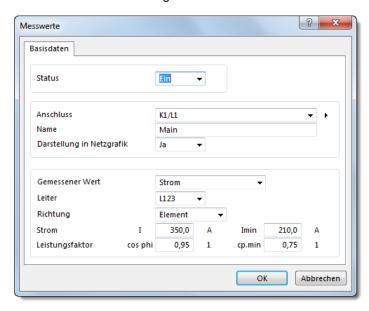


Bild: Datenmaske Messwerte

Eine genaue Beschreibung der Eingabedaten für Messwerte ist im Handbuch Eingabedaten, Kapitel Allgemeine Steuer- und Eingabedaten, Abschnitt Messwerte zu finden.

16.7.3 Zuweisen der erweiterten Eingabedaten bei allgemeinen Lasten

Die Definition der Eingabedaten erfolgt direkt über die Datenmaske der allgemeinen Last.

Hierbei ist zu beachten, dass die Tap-Zone Ermittlung nur mit "normalen Lasten" funktioniert. D.h. es ist erforderlich, dass im Feld **Lasttyp** die Einstellung **Allgemeine Last** gewählt wird.

Das Zuweisen der erweiterten Eingabedaten für die Tap-Zone Ermittlung erfolgt im Register **Messwerte**.

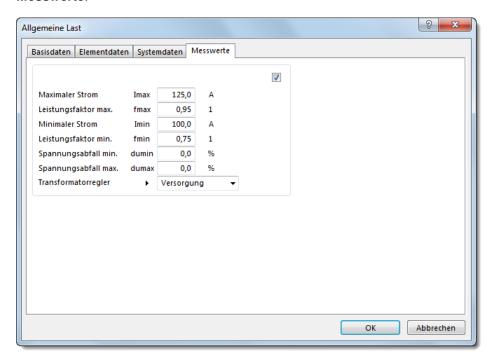


Bild: Datenmaske Allgemeine Last mit Messwerten

In diesem Register können die Startwerte für die Lastermittlung vorgegeben werden. Mit den Feldern Maximaler Strom und Leistungsfaktor max. sowie Minimaler Strom und Leistungsfaktor min. werden die Startwerte vorgegeben.

Über das Feld **Transformatorregler** kann die Kennlinie eines Transformatorstufenstellers zugeordnet werden. Über diese Kennlinie wird der "fiktive" – also nicht modellierte – Transformator beschrieben. Diese Kennlinie bildet die Grundlage zum Bestimmen der Transformatorstufenstellung.

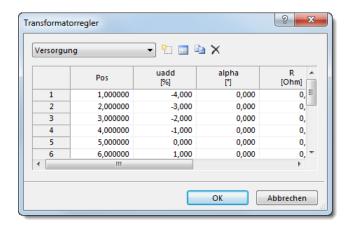


Bild: Definition von Stufenstellern

Eine genaue Beschreibung der Eingabedaten des Transformatorstufenstellers finden Sie im Kapitel Transformatorregler im Handbuch Eingabedaten.

16.7.4 Starten der Berechnung

Die Tap-Zone Ermittlung wird über den Menüpunkt **Berechnen** – **Lastfluss** – **Tap-Zone Ermittlung** gestartet.

16.7.5 Darstellen und Auswerten der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Tap-Zone Ermittlung werden

- in der Tabelle,
- in der Netzgrafik und
- in Form von Diagrammen

bereitgestellt.

Ergebnisse in der Tabelle

In der Tabelle werden die errechneten Trafostufenstellungen für alle Knoten bereitgestellt, an denen Lasten angeschlossen sind, die von der Tap-Zone Ermittlung berücksichtigt wurden.

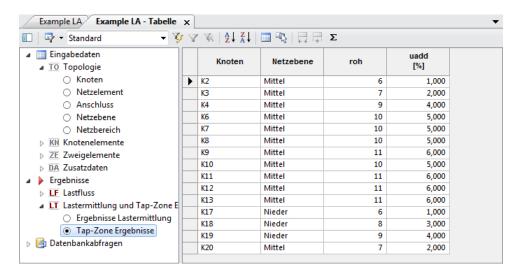


Bild: Tabelle für Tap-Zone Ergebnisse

Bei den Ergebnissen wird die optimale Regelstufe für den Transformatorstufensteller sowie die entsprechende Zusatzspannung laut Transformatorstufensteller-Kennlinie ausgewiesen.

Ergebnisse in der Netzgrafik

In der Netzgrafik werden zwei Lastflussergebnisse für das Netz nach der Trimmung bereitgestellt. Ein Ergebnis dokumentiert den Netzzustand bei Minimalbelastung und das andere jenen bei Maximalbelastung.

Zusätzlich zu den Lastflussergebnissen kann die Netzgrafik auch mit Hilfe der Filterauswertungen über das Menü **Ansicht** – **Auswertungen** eingefärbt werden.

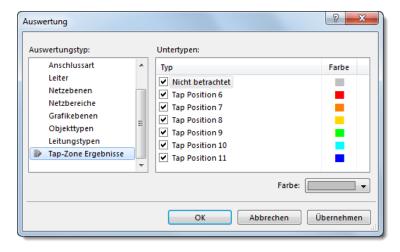


Bild: Einfärbung des Netzes anhand der Tap-Zone Ergebnisse

Ergebnisse in Form von Diagrammen

Zusätzlich zu den Ergebnissen in der Netzgrafik werden auch Ergebnisse in Diagrammform generiert. Diese können über den Menüpunkt **Ansicht** – **Diagramm** betrachtet werden.

Die Ergebnisdiagramme sind unter dem Diagrammtyp Lastfluss – Tap-Zone Ermittlung verfügbar.

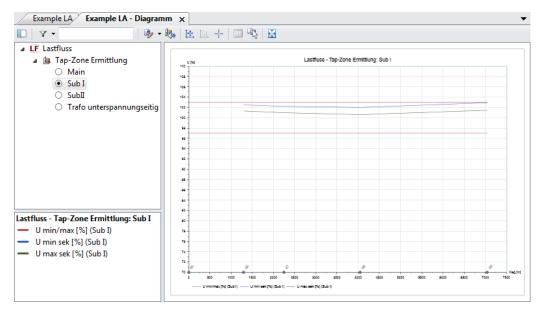


Bild: Diagramm Tap-Zone Ermittlung

Im Diagramm werden die Spannungsverläufe für den minimalen und maximalen Betriebszustand des Netzes dargestellt. Die Grenzwerte für das Spannungsband werden ebenfalls visualisiert. Somit kann einfach beurteilt werden, ob das ermittelte Stufenstellerergebnis den Vorgaben entspricht.

16.8 Anwendungsbeispiel für Last anschließen

Im Folgenden soll das Verfahren **Last anschließen** anhand eines einfachen Anwendungsbeispieles dargestellt werden. In den Beschreibungen werden

- das Voreinstellen der Berechnungsparameter,
- das Erfassen einer neuen Last,
- das Starten des Lastanschließens sowie
- das Darstellen und Auswerten der Ergebnisse

dargestellt.

Grundlagen

Alle Beschreibungen basieren auf folgendem schematischen Netz.

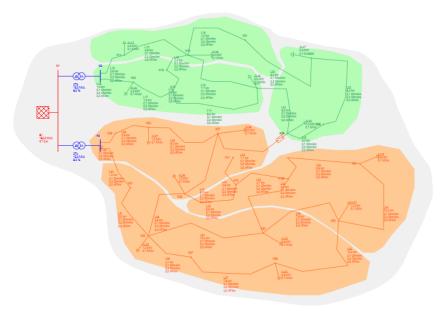


Bild: Schematisches Netz mit Eingabedaten

Dieses Netz ("Example LD") wird bei der Installation von PSS SINCAL automatisch bereitgestellt und kann zum Testen des Simulationsverfahrens eingesetzt werden.

16.8.1 Voreinstellen der Berechnungsparameter

Für das Lastanschließen gelten die gleichen Berechnungsparameter wie für die Lastflussberechnung.

16.8.2 Erfassen einer neuen Last

Am Rande des Netzes wird eine Last in der Netzebene **Verteilung** mit einer Leistung von P = 0.75 MW und Q = 0.5 Mvar neu erfasst.

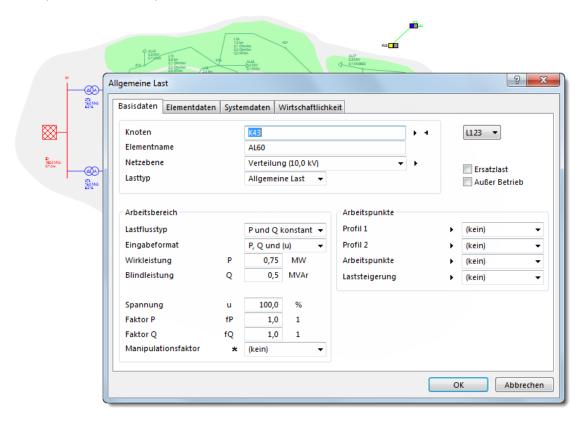


Bild: Neue Last im bestehenden Netz

16.8.3 Starten des Lastanschließens

Um eine Lastanschließung durchzuführen, muss zuerst die anzuschließende Last markiert werden. Dann kann der Lastanschluss über das Kontextmenü der Last parametriert und gestartet werden.



Bild: Netzausschnitt mit markierter Last

Für die markierte Last wird das Kontextmenü geöffnet.

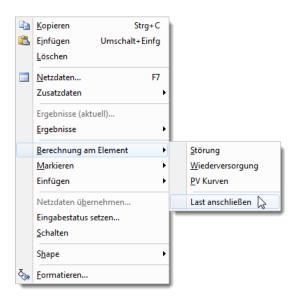


Bild: Kontextmenü für Parametrierung Last anschließen

Durch Klicken des Menüpunktes **Berechnung am Element – Last anschließen** wird der Dialog zum Start des Lastanschließens geöffnet.



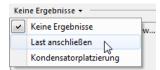
Bild: Dialog Last anschließen

In diesem Dialog können der Anschlussradius (hier 10 km) und die Anschlussmöglichkeiten eingestellt werden. Durch Klicken des OK-Knopfes wird die Lastanschlussberechnung gestartet.

16.8.4 Darstellen und Auswerten der Ergebnisse

Wenn die Ermittlung des Lastanschlusses fehlerfrei durchgeführt werden kann und Anschlussmöglichkeiten bestimmt wurden, wird danach automatisch das Ergebnisfenster für Last anschließen angezeigt.

Das Ergebnisfenster kann auch später über den Menüpunkt **Ansicht – Ergebnisbrowser** oder **Berechnen – Ergebnisse – Last anschließen** geöffnet werden. Mit Hilfe des Auswahlfeldes wird die Ergebnisdarstellung für die **Last anschließen** aktiviert.



Durch diese Auswahl werden die letzten Ergebnisse geladen und im Ergebnisfenster bereitgestellt.

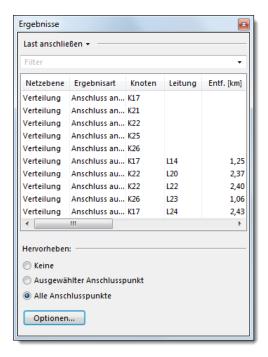


Bild: Ergebnisfenster für das Anschließen der Last

Im oberen Teil des Ergebnisfensters befindet sich ein **Filterfeld**. Damit kann der Darstellungsumfang in der Liste reduziert werden. Eine Besonderheit bietet der Knopf im Filterfeld. Durch Drücken dieses Knopfes erscheint ein Menü.



Bild: Menü zur Auswahl der Darstellung

Das Menü bietet folgende Funktionen, mit dessen Hilfe die Darstellung der Auswahlliste angepasst werden kann.

Filter:

Ein weiterer Dialog wird geöffnet, in dem die im Dialog dargestellten Daten anhand von unterschiedlichsten Kriterien gefiltert und sortiert werden können. Eine genaue Beschreibung ist im Handbuch Bedienung, Kapitel Tabelle, Abschnitt Filterfunktionen in der Tabelle zu finden.

• Filter deaktivieren:

Ein definierter Filter wird temporär deaktiviert. Die Daten werden wieder in vollem Umfang dargestellt.

In der Liste werden alle berechneten Anschlusspunkte für die neue Last dargestellt.

Über das Kontextmenü sind erweiterte Bearbeitungsfunktionen verfügbar.

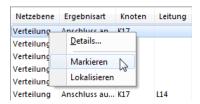


Bild: Kontextmenü der Verbraucher

Details:

Die ausgewählten Ergebnisse werden in einer Datenmaske dargestellt.

Markieren:

Das selektierte Netzelement wird in der Netzgrafik markiert.

• Lokalisieren:

Diese Funktion entspricht dem **Markieren**, allerdings wird hier der Bildausschnitt im Grafikeditor so angepasst, dass das markierte Element sichtbar ist.

Im Bereich **Hervorheben** kann gewählt werden, ob entweder nur der ausgewählte Anschlusspunkt oder alle Anschlusspunkte hervorgehoben werden. Um die aktuelle Hervorhebung in der Netzgrafik zu löschen, wird **Keine** geklickt.

Durch Klicken des Knopfes **Optionen** erscheint ein Dialog, in dem erweiterte Einstellungen für die Hervorhebung durchgeführt werden können.

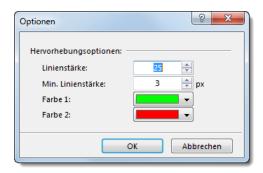


Bild: Dialog Optionen

Im Abschnitt Hervorhebungsoptionen können die Linienstärke, Min. Linienstärke sowie die Farbe 1 und die Farbe 2 für die Hervorhebung der Anschlusspunkte eingegeben werden. Die Farbe 1 wird für den aktuell in der Liste ausgewählten Anschlusspunkt verwendet, die Farbe 2 für alle anderen Anschlusspunkte.

Die Hervorhebung erfolgt durch Erzeugung einer temporären PIC Datei mit der eingegebenen Linienstärke. Die minimale Linienstärke ermöglicht es, die untere Grenze für die Darstellung der PIC Datei festzulegen. Wird bei der Darstellung der PIC Datei in einem kleinen Zoombereich eine Linienstärke unterhalb dieses Wertes ermittelt, so wird die PIC Datei mit dem Grenzwert dargestellt. Dies ermöglicht es, dass die Hervorhebung auch im kleinen Zoombereich sichtbar ist.

16.9 Anwendungsbeispiel für PV Kurven

Im Folgenden soll das Verfahren **PV Kurven** in PSS SINCAL anhand eines einfachen Anwendungsbeispieles dargestellt werden. In den Beschreibungen wird

- das Voreinstellen der Berechnungsparameter,
- das Starten der Berechnung von PV Kurven sowie
- das Darstellen und Auswerten der Ergebnisse

dargestellt.

Grundlagen

Alle Beschreibungen basieren auf folgendem Netz.

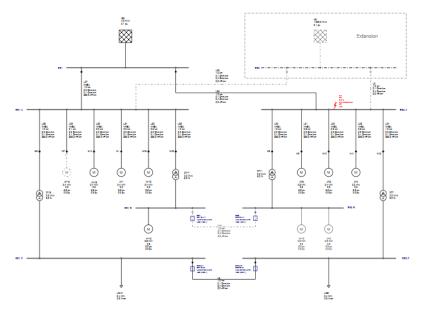


Bild: Netz mit Eingabedaten

Dieses Netz ("Example Ele1") wird bei der Installation von PSS SINCAL automatisch bereitgestellt und kann zum Testen des Simulationsverfahrens eingesetzt werden.

16.9.1 Voreinstellen der Berechnungsparameter

Die Maske zum Einstellen der Berechnungsparameter wird über den Menüpunkt **Berechnen** – **Parameter** geöffnet.

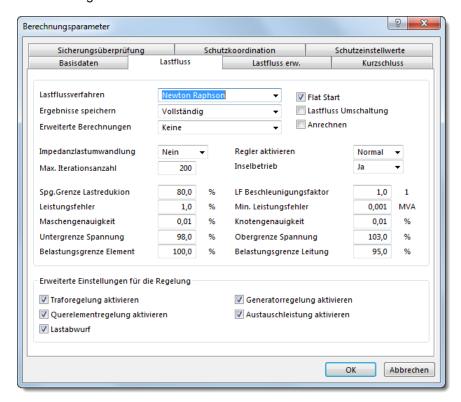


Bild: Berechnungsparameter Lastfluss

Vor der Berechnung der PV Kurven können die Parameter für die Berechnung sowie die Grenzwerte für Spannung und Auslastung festgelegt werden. Besonders wichtig ist hier die Auswahl des Regelungsverhaltens mit dem Feld **Regler aktivieren**. Entsprechend der hier getroffenen Einstellung ist der Regelalgorithmus dann in den Lastflussberechnungen für die Bestimmung der PV Kurven aktiv oder inaktiv.

16.9.2 Starten der Berechnung der PV Kurven

Um die Berechnung zu starten, müssen zuerst jene Lasten ausgewählt werden, für die eine Laststeigerung zugeordnet werden soll.

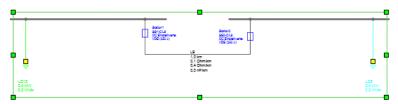


Bild: Netzausschnitt mit markierten Lasten zur PV Kurven Berechnung

Für die markierten Lasten wird das Kontextmenü geöffnet und die Berechnung der PV Kurven gestartet.

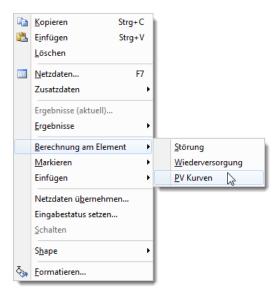


Bild: Kontextmenü zum Starten der Berechnung von PV Kurven

Nach Anwahl des Menüpunktes **PV Kurven** wird ein Dialog angezeigt, in dem die Faktoren für die Laststeigerung definiert werden können. Die Definition erfolgt dabei getrennt für Wirk- und Blindleistung.



Bild: Dialog PV Kurven

Die Maximalwerte für die markierten Lasten ergeben sich wie folgt:

Maximalwert P_{maxi} =Lastwert P_i * Faktor Wirkleistung

Maximalwert Q_{maxi} =Lastwert Q_i * Faktor Blindleistung

16.9.3 Darstellen und Auswerten der Ergebnisse

Die Ergebnisse der PV Berechnung werden in Form von Diagrammen bereitgestellt. Diese sind im Diagrammfenster unter **Lastfluss** – **PV-Verhalten** verfügbar.

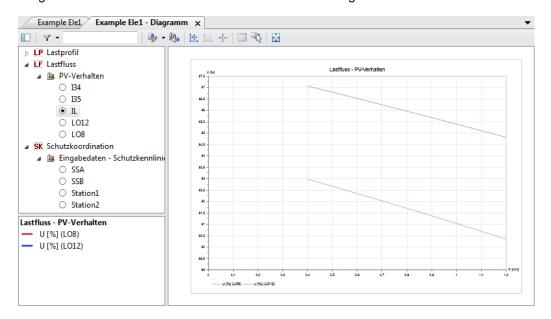


Bild: Diagramm PV-Verhalten

Darüber hinaus wird auch noch ein Lastflussergebnis bereitgestellt, welches den Endzustand der PV Kurven Berechnung widerspiegelt. D.h. das Lastflussergebnis dokumentiert jenen Betriebszustand, bei dem die Wirk- und Blindleistung der markierten Lasten bis zum angegebenen Grenzwert erhöht wurde.

16.10 Anwendungsbeispiel für Wiederversorgung

Im Folgenden soll das Verfahren **Wiederversorgung** anhand eines einfachen Anwendungsbeispieles dargestellt werden. In den Beschreibungen wird

- das Voreinstellen der Berechnungsparameter,
- das Starten der Wiederversorgung sowie
- das Darstellen und Auswerten der Ergebnisse

dargestellt.

Grundlagen

Alle Beschreibungen basieren auf folgendem schematischen Netz.

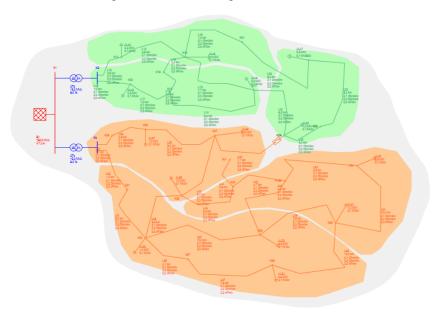


Bild: Netz mit Eingabedaten

Dieses Netz ("Example LD") wird bei der Installation von PSS SINCAL automatisch bereitgestellt und kann zum Testen des Simulationsverfahrens eingesetzt werden.

16.10.1 Voreinstellen der Berechnungsparameter

Für die Berechnung der Wiederversorgung gelten die gleichen Berechnungsparameter wie für die Lastflussberechnung.

16.10.2 Starten der Wiederversorgung

Um eine Wiederversorgung durchzuführen, muss zuerst ein ausfallendes Element (oder mehrere auszufallenden Elemente) markiert werden. Dann kann die Wiederversorgung über das Kontextmenü gestartet werden.



Bild: Netzausschnitt mit markiertem Element für Ausfall

Für den markierten Transformator wird das Kontextmenü geöffnet.

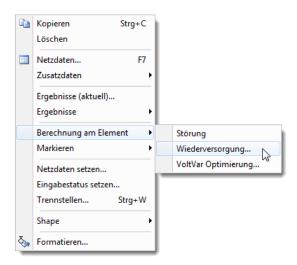


Bild: Kontextmenü zum Starten der Wiederversorgung

Nach Klicken des Menüpunktes Wiederversorgung erscheint der folgende Dialog.



Bild: Dialog Wiederversorgung

Im Auswahlfeld **Modus** kann zwischen der Standard-Wiederversorgung oder der abgangsbasierenden Wiederversorgung gewählt werden.

Die folgenden Optionen gelten für die abgangsbasierende Wiederversorgung:

Ist die Option **Max. Anzahl der Wiederversorgungen** aktiviert, so kann angegeben werden, wie viele Varianten der Wiederversorgung maximal gespeichert werden.

Ist die Option **Max. Anzahl der Schalthandlungen** aktiviert, so kann angegeben werden, wie viele Schalthandlungen maximal durchgeführt werden dürfen, um die ausgefallenen Elemente wieder zu versorgen.

Bei aktivierter Option Lastabwurf erlauben wird der Lastfluss mit Lastabwurf berechnet. Voraussetzung dafür ist, dass die Option Lastabwurf in den Lastfluss-Berechnungsparametern aktiviert ist.

Bei aktivierter Option **Grenzwertverletzungen erlauben** können auch Ergebnisse mit Grenzwertverletzungen gespeichert werden.

Mit der Option **Nur physikalische Schalter berücksichtigen** werden die Schalthandlungen nur an jenen Elementen durchgeführt, bei denen physikalische Schalter zugeordnet sind. Dies bewirkt im Allgemeinen eine weit größere Anzahl von unversorgten Elementen, weil das Freischalten des Fehlers auch nur an jenen Punkten möglich ist, wo physikalische Schalter vorhanden sind.

Im Abschnitt **Faktoren** wird die Gewichtung für **Schalthandlungen**, **Lastabwurf** und **Grenzwertverletzung** festgelegt. Die Ergebnisse der Wiederversorgung werden anhand der erreichten Gewichtung gereiht. Die Wiederversorgungsvariante mit der höchsten Gewichtung ist die beste.

Durch Klicken des Knopfes **OK** wird die eigentliche Wiederversorgung gestartet.

16.10.3 Darstellen und Auswerten der Ergebnisse

Wenn die Ermittlung der Wiederversorgung fehlerfrei durchgeführt werden kann und Maßnahmen bestimmt wurden, dann wird danach automatisch das Ergebnisfenster für die **Wiederversorgung** angezeigt.

Das Ergebnisfenster kann auch später über den Menüpunkt **Ansicht – Ergebnisbrowser** oder **Berechnen – Ergebnisse – Wiederversorgung** geöffnet werden. Mit Hilfe des Auswahlfeldes wird die Ergebnisdarstellung für die **Wiederversorgung** aktiviert.



Durch diese Auswahl werden die letzten Ergebnisse geladen und im Ergebnisfenster bereitgestellt.

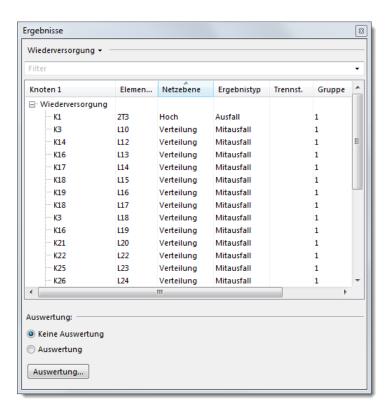


Bild: Ergebnisfenster für die Wiederversorgung

Im oberen Teil des Ergebnisfensters befindet sich ein **Filterfeld**. Damit kann der Darstellungsumfang in der Liste reduziert werden. Eine Besonderheit bietet der Knopf im Filterfeld. Durch Drücken dieses Knopfes erscheint ein Menü.

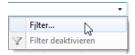


Bild: Menü zur Auswahl der Darstellung

Das Menü bietet folgende Funktionen, mit dessen Hilfe die Darstellung der Auswahlliste angepasst werden kann.

Filter:

Ein weiterer Dialog wird geöffnet, in dem die im Dialog dargestellten Daten anhand von unterschiedlichsten Kriterien gefiltert und sortiert werden können. Eine genaue Beschreibung ist im Handbuch Bedienung, Kapitel Tabelle, Abschnitt Filterfunktionen in der Tabelle zu finden.

Filter deaktivieren:

Ein definierter Filter wird temporär deaktiviert. Die Daten werden wieder in vollem Umfang dargestellt.

In der Liste werden alle Ergebnisse der Wiederversorgung aufgelistet.

Über das Kontextmenü sind erweiterte Bearbeitungsfunktionen verfügbar.

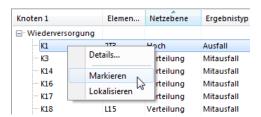


Bild: Kontextmenü der Verbraucher

Details:

Die ausgewählten Ergebnisse werden in einer Datenmaske dargestellt. Dabei können Ergebnisse für einzelne Elemente oder Gruppenergebnisse angezeigt werden.

Markieren:

Das selektierte Netzelement wird in der Netzgrafik markiert.

• Lokalisieren:

Diese Funktion entspricht dem **Markieren**, allerdings wird hier der Bildausschnitt im Grafikeditor so angepasst, dass das markierte Element sichtbar ist.

Berechnen:

Alle Schaltmaßnahmen des markierten Wiederversorgungsergebnisses werden durchgeführt und das Ausfallselement wird außer Betrieb gesetzt. Danach wird neu berechnet.

Ausfallszenario erzeugen:

Enthält das markierte Wiederversorgungsergebnis mindestens einen Ausfall und eine Schaltmaßnahme, so ist es möglich, aus diesem ein Ausfallszenario vom Typ Wiederversorgung automatisch zu erzeugen.

Im Bereich **Auswertung** kann eine Auswertung für die Wiederversorgung durchgeführt werden, d.h. die markierten Elemente werden im Grafikeditor farbig dargestellt. Ist eine Gruppe markiert, so werden die Elemente der Gruppe visualisiert. Ist kein Element bzw. keine Gruppe selektiert, so wird das beste Ergebnis, d.h. die erste Gruppe, eingefärbt. Um die farbigen Markierungen im Grafikeditor wieder rückgängig zu machen, wird **Keine Auswertung** geklickt.

Die Attribute für die Einfärbung können im Dialog **Auswertung** geändert werden. Dieser kann durch Klicken des Knopfes **Auswertung** geöffnet werden.

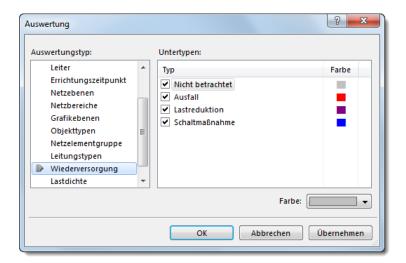


Bild: Dialog Auswertung

Eine genaue Beschreibung dieses Dialoges ist im Handbuch Bedienung, Kapitel Darstellung der Eingabedaten und Ergebnisse, Abschnitt Auswertungen zu finden.