

PSS[®]SINCAL 10.5 Optimierungen

Ermittlung von Optimierungen in elektrischen Netzen

Herausgegeben von
SIEMENS AG
Freyeslebenstraße 1, 91058 Erlangen

IC SG SE PTI SW

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, insbesondere 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 Optimierungen	1
2.	Optimierender Lastfluss	5
2.1	Berechnungsverfahren Optimierender Lastfluss	6
2.2	Das Lastflussproblem	6
2.2.1	Netznachbildung	7
2.3	Modellbildung der Optimierung – Regelbare Elemente im Netz	10
2.4	Verfahren der Optimierung	11
3.	Optimale Trennstellen	12
3.1	Definition einer Trennstelle	13
3.2	Übernahme der Trennstellen	14
3.2.1	Netzebenenbehandlung für Trennstellen	14
4.	Ermittlung der Kompensationsleistung	16
4.1	Festlegen der Knoten für die Kompensierung	16
4.2	Ermittlung der aktuellen Kompensationsleistung	17
4.2.1	Ermittlung der jeweiligen Kompensationsleistung	18
4.3	Erzielbare Vorteile für den Netzbetreiber	20
5.	Kondensatorplatzierung	21
5.1	Optimale Platzierung vorhandener Kondensatoren	21
5.1.1	Vorgaben für die Kondensatorplatzierung	22
5.1.2	Bestimmen der erforderlichen Kompensationsleistung	23
5.1.3	Prüfen des Kompensationsergebnisses	23
5.1.4	Bestimmen der Einsparungen	24
5.2	Optimale Platzierung von Kondensatoren	25
5.3	Platzierung vorhandener Kondensatoren	25
5.3.1	Vorgaben für die Kondensatorplatzierung	26
5.3.2	Ermitteln der optimalen Kondensatorplatzierung	27
5.4	Platzierung vorhandener Kondensatoren (erweitert)	29
5.5	Erzielbare Vorteile für den Netzbetreiber	30

6.	Lastsymmetrierung	31
6.1	Prüfen der Elemente auf wechselbare Leiter	32
6.2	Zielfunktion für Lastsymmetrierung	34
6.3	Optimierverfahren für Lastsymmetrierung	35
7.	VoltVar Optimierung	36
7.1	Optimierverfahren VoltVar	37
8.	Optimale Netzstruktur	39
8.1	Statische Optimierungsmethoden	41
8.1.1	Voranalyse	41
8.1.2	Rotierender Strahl	42
8.1.3	Beste Einsparungen	45
8.2	Nachoptimierung	49
8.2.1	Zwei-Optimalen Methode nach Lin	49
8.2.2	Drei-Optimalen Methode nach Lin	49
8.2.3	Tausch von Stationen zwischen Ringpaaren	50
8.2.4	Verschieben von Stationen zwischen Ringpaaren	50
8.2.5	Spangenbildung	51
8.3	Generieren der Netzstruktur	52
9.	Anwendungsbeispiele	54
9.1	Anwendungsbeispiel für Optimale Trennstellen	54
9.1.1	Voreinstellen der Berechnungsparameter	55
9.1.2	Ermitteln der Optimalen Trennstellen	56
9.1.3	Darstellen und Auswerten der Ergebnisse	57
9.2	Anwendungsbeispiel für Ermittlung der Kompensationsleistung	59
9.2.1	Voreinstellen der Berechnungsparameter	59
9.2.2	Ermitteln der Kompensationsleistung	60
9.2.3	Darstellen und Auswerten der Ergebnisse	61
9.3	Anwendungsbeispiel für die Kondensatorplatzierung	66
9.3.1	Voreinstellen der Berechnungsparameter	67

9.3.2	Definieren der verfügbaren Kondensatoren	67
9.3.3	Starten der Kondensatorplatzierung	68
9.3.4	Darstellen und Auswerten der Ergebnisse	69
9.4	Anwendungsbeispiel für Lastsymmetrierung	74
9.4.1	Voreinstellen der Berechnungsparameter	75
9.4.2	Starten der Lastsymmetrierung	76
9.4.3	Darstellen und Auswerten der Ergebnisse	76
9.5	Anwendungsbeispiel für Optimale Netzstruktur	78
9.5.1	Voreinstellen der Berechnungsparameter	79
9.5.2	Starten der Optimierung	80
9.5.3	Darstellen und Auswerten der Ergebnisse	80
9.6	Anwendungsbeispiel für die VoltVar Optimierung	90
9.6.1	Starten der VoltVar Optimierung	91
9.6.2	Darstellen und Auswerten der Ergebnisse	93

1. Einleitung Optimierungen

PSS SINCAL stellt eine Vielzahl von verschiedenen Verfahren zur Ermittlung des optimalen Betriebszustandes von elektrischen Netzen zur Verfügung.

Dieses Handbuch enthält folgende Kapitel:

- [Optimierender Lastfluss](#)
- [Optimale Trennstellen](#)
- [Ermittlung der Kompensationsleistung](#)
- [Kondensatorplatzierung](#)
- [Lastsymmetrierung](#)
- [VoltVar Optimierung](#)
- [Optimale Netzstruktur](#)
- [Anwendungsbeispiele](#)

Optimierender Lastfluss

Der Optimierende Lastfluss minimiert die Transportverluste in einem elektrischen Netzwerk. Die Systemvariablen sind die Spannungen an Generatoren, die eingespeisten Wirk- und Blindleistungen sowie die Regelstufe der Transformatoren.

Freie Größen werden durch das Optimierverfahren so berechnet, dass diese geregelten Größen und die überwachten Werte – sofern möglich – im zulässigen Wertebereich liegen und sich ein bezüglich der Wirkleistungsverluste optimaler Netzbetrieb einstellt.

Zulässige Lösungen ergeben sich durch einen Netzzustand mit den geringsten Transportverlusten und der größten Reduktion der verletzten technischen Grenzwerte.

Der Optimierende Lastfluss setzt auf dem PSS SINCAL Lastfluss auf. Die Optimierung erfolgt mit einem indirekten Gradientenverfahren mit äußerer Straffunktion. Über dieses Verfahren wird die zulässige Lösung eingestellt und das Optimum für die gewünschte Zielfunktion ermittelt.

Optimale Trennstellen

Die Zielsetzung des Verfahrens Optimale Trennstellen ist, durch Setzen von Trennstellen ein unvermaschtes radiales Netz zu bilden. Dabei werden die Trennstellen so gesetzt, dass sich ein Minimum an Übertragungsverlusten ergibt.

Die Voraussetzung zur Ermittlung der optimalen Trennstellen sind die Ströme und Spannungen im Netz. Vor der Trennstellensuche wird daher eine vollständige Lastflussrechnung durchgeführt.

Ermittlung der Kompensationsleistung

Die Ermittlung der Kompensationsleistung ist eine Aneinanderreihung von Lastflussberechnungen. In jeder einzelnen Lastflussberechnung wird ein Teil der an Transformatoren auftretenden Blindleistung kompensiert. Die Kompensation erfolgt dabei Netzebene für Netzebene.

Als Ergebnisse stehen sämtliche für die Kompensation relevanten Daten (notwendige Blindleistung für Kompensation, Reduktion der Verluste, usw.) zur Verfügung.

Kondensatorplatzierung

Die Zielsetzung dieses Optimierungsverfahrens ist eine Reduktion der Übertragungsverluste durch Platzierung von Kondensatoren. Dabei werden die Kosten für die Kondensatoren mit den zu erwartenden Kosteneinsparungen durch geringere Übertragungsverluste bewertet. Somit ergibt sich eine Zeitdauer für das "Return on Investment", welche zur Bewertung herangezogen werden kann.

Lastsymmetrierung

Die Lastsymmetrierung ist eine Aneinanderreihung von unsymmetrischen Lastflussberechnungen. In jeder einzelnen Berechnung werden dabei unsymmetrische Elemente, wenn möglich, an anderen Leitern angeschlossen, um einen symmetrischeren Belastungszustand zu erreichen.

Die Voraussetzung der Lastsymmetrierung ist ein Netz mit unsymmetrischen Elementen, die an ihren Anschlussknoten auch über andere Leiter versorgt werden könnten.

Als Ergebnisse stehen die alten und neuen Leiter der unsymmetrischen Elemente zur Verfügung.

VoltVar Optimierung

Mit diesem Verfahren können in Mittel- und Niederspannungsabgängen, die sowohl symmetrisch als auch unsymmetrisch sein können, die Spannung und der Leistungsfaktor so gesteuert werden, dass alle Verbraucher-knoten im definierten Spannungsband liegen und die übertragene Blindleistung möglichst gering ist. Diese Abgänge dürfen nicht mit anderen Abgängen verbunden sein.

Die Optimierung der Spannung ist erforderlich, um einen zulässigen Netzbetrieb anhand der vorgeschriebenen Grenzwerte für alle Verbraucher im Abgang zu gewährleisten. Durch die Optimierung des Leistungsfaktors soll die Übertragung von Blindleistung (und damit auch die Verluste) im Abgang reduziert werden.

Optimale Netzstruktur

Die Zielsetzung dieses Optimierungsverfahrens ist die Bestimmung einer optimalen Struktur des Mittelspannungsnetzes. Dabei wird ausgehend vom Stations- und Trassenmodell versucht, eine optimale Anbindung der Netzstationen an die übergeordneten Umspannstationen zu erreichen. Die Grundlage zur Strukturoptimierung sind die in modernen Netzen üblichen Betriebsformen Ring und Spange.

Vorgehensweise Optimierungen

Um eine Optimierung durchführen bzw. spezielle Daten für die Optimierungen erfassen zu können, muss zuerst die Berechnungsmethode **Optimierung** aktiviert werden.

Optimierender Lastfluss

Die folgenden Schritte sind notwendig:

- Festlegen der Randbedingung bei Optimierung Berechnungsparametern

Optimale Trennstellen

Die folgenden Schritte sind notwendig:

- Festlegen der Randbedingung bei Optimierung Berechnungsparametern
- Festlegen der möglichen Trennstellen bei den Netzebenenendaten

Kompensationsleistung

Die folgenden Schritte sind notwendig:

- Festlegen der Randbedingungen bei den Netzebenenendaten

Kondensatorplatzierung

Die folgenden Schritte sind notwendig:

- Definition der verfügbaren Kondensatoren
- Vorgabe der Energiekosten (Währung/kWh) in den Berechnungsparametern
- Definition jener Knoten, an denen die verfügbaren Kondensatoren platziert werden können

Lastsymmetrierung

Die folgenden Schritte sind notwendig:

- Festlegen der teilnehmenden Abnehmer über die Netzebenenendaten

VoltVar Optimierung

Die folgenden Schritte sind notwendig:

- Erfassen eines Netzes mit Abgängen

Optimale Netzstruktur

Die folgenden Schritte sind notwendig:

- Erfassen von Trassen und Stationen
- Zuordnen der Stationslasten
- Zuordnen der Stationen zu den Trassenknoten

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

Abbildung der Netze für die Berechnung

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

2. Optimierender Lastfluss

Der Optimierende Lastfluss basiert – wie schon aus dem Namen ersichtlich – auf dem PSS SINICAL Lastfluss. Dieser stellt die Grundlage der Optimierung dar. Nach jeder Änderung einer Variablen der Optimierung (Leistungsverteilung oder Regelstufe) wird eine Lastflussberechnung durchgeführt.

Jedes Lastflussproblem führt auf ein nichtlineares Gleichungssystem, dessen Lösung nur durch iterative Methoden, wie etwa die lineare Stromiteration oder die Newton Raphson-Methode, möglich ist. In PSS SINICAL sind 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.

Prinzipieller Rechnungsablauf Optimierender Lastfluss

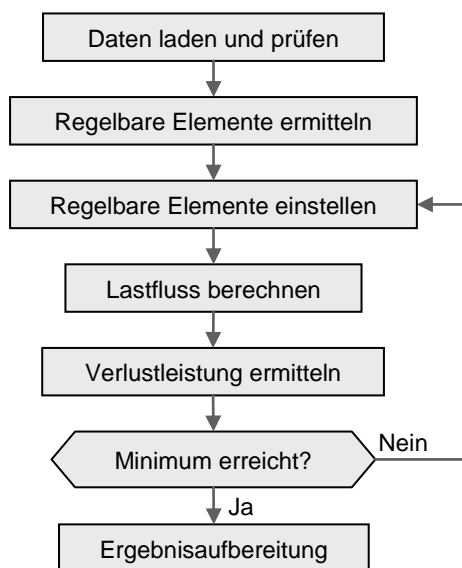


Bild: Ablaufdiagramm

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

Die Transportoptimierung stellt ein wichtiges Werkzeug zur Beurteilung und Verbesserung von Netzstrukturen und Belastungen dar. Sie dient in gleicher Weise zur Betriebsuntersuchung und der Ausbauplanung.

Ziel der Transportoptimierung ist, die durch Regelbänder beschränkten regelbaren Variablen im Netz derart zu variieren, dass die Wirkleistungsverluste minimiert werden. Damit können Netze beurteilt werden und Varianten ausgearbeitet werden, um eine möglichst zielführende und optimierte Planung eines Versorgungsnetzes zu gewährleisten.

Neben dem Netzzustand mit den geringsten Transportverlusten wird eine Reduktion der verletzten Grenzwerte angestrebt. Diese Zielstellung bewirkt auch eine Verringerung der Varianz der Spannungen in den Knoten des Netzes.

2.1 Berechnungsverfahren Optimierender Lastfluss

Die Aufgabe des zugrunde liegenden Lastflussprogramms 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 für Lasten

Daten für Generatoren

Dort seien 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 seien die Wirkleistungen P_i und Blindleistungen jQ_i und damit auch die komplexen Leistungen $\underline{S}_i = P_i + jQ_i$ 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 $P_i \geq 0$ sein. Es ist auch eine Lastnachbildung mit konstanten Impedanzen möglich.

2.2 Das Lastflussproblem

Für das zugrunde liegende Lastflussproblem wird von der Optimierung die Newton Raphson-Methode verwendet.

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

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

$$i = 1..N$$

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 als 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.

2.2.1 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

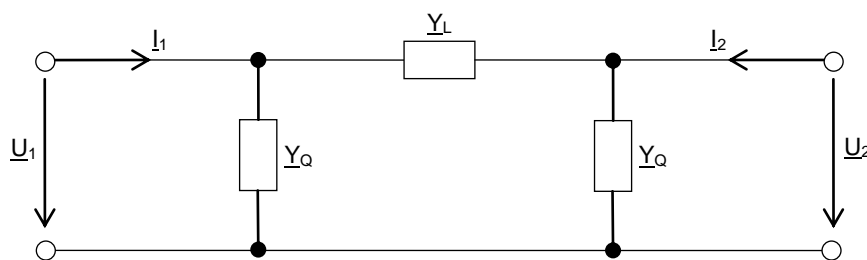


Bild: π -Ersatzschaltbild der Leitung

$$\underline{Y}_L = \frac{1}{(R + j\omega L) * l} * U_N^2$$

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

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

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

Der Transformator als Vierpol

Für Transformatoren wird folgendes Modell verwendet:

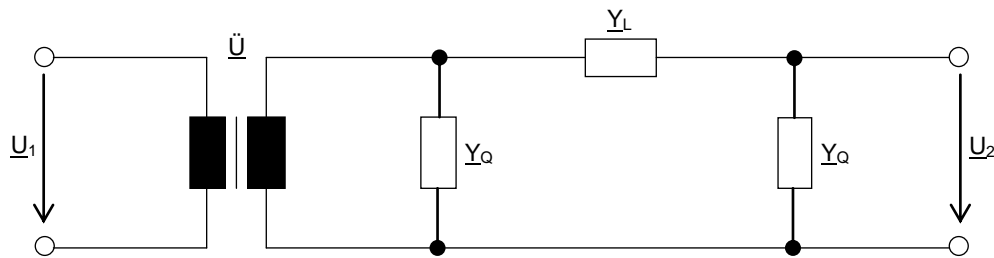


Bild: π -Ersatzschaltbild der Transformatoren

$$\underline{Y}_L = \left[\frac{U_{\text{Netz2}}}{U_{\text{NTraf } \alpha 2}} \right]^2 * 100 * \frac{S_N}{U_R + j \sqrt{(U_K^2 - U_R^2)}}$$

$$\underline{Y}_Q = \frac{1}{2} * \left[\frac{U_{\text{Netz2}}}{U_{\text{Traf } \alpha 2}} \right]^2 * \left(v_{Fe} * 10^{-3} - j * \sqrt{(i_0 * 10^{-2} * S^N)^2 - (v_{Fe} * 10^{-3})^2} \right)$$

$$\underline{\ddot{U}} = \frac{U_{\text{Traf } \alpha 1}}{U_{\text{Netz1}}} * \frac{U_{\text{Netz2}}}{U_{\text{Traf } \alpha 1}} * (1 + u_z * (\cos \alpha + j * \sin \alpha))$$

Die Vierpolgleichung lautet hier:

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

Für die Lastflusssimulation ergibt sich damit folgendes Ersatzschaltbild:

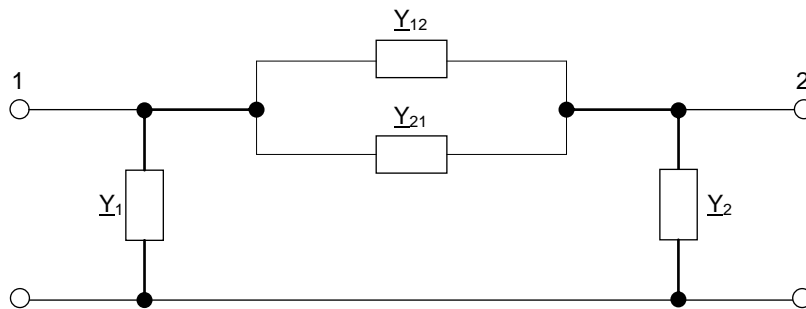


Bild: π -Ersatzschaltbild für Matrixaufbau

$$\underline{Y}_1 = \underline{Y}_L \left[\frac{1}{\underline{\ddot{U}}^* \underline{\ddot{U}}^*} - \frac{1}{\underline{\ddot{U}}^*} \right] + \underline{Y}_Q * \frac{1}{\underline{\ddot{U}}^* \underline{\ddot{U}}^*}$$

$$\underline{Y}_2 = \underline{Y}_L \left[1 - \frac{1}{\underline{\ddot{U}}} \right] + \underline{Y}_Q$$

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

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

Netzknotenpunkt

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

Typ	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.

2.3 Modellbildung der Optimierung – Regelbare Elemente im Netz

Die bei der Transportoptimierung bekannten Größen der Elemente werden bei entsprechenden Regelbändern zu Variablen, die durch die Optimierung verändert werden können.

Durch die Modellbildung werden die Elemente im Netz und die sie beschreibenden Größen in zwei Klassen unterschieden.

Unabhängige Variablen

Unabhängige Variablen (in der Lastflusssimulation bekannt) haben als Kontrollvariablen direkte Auswirkungen auf den Zustand des Netzes. Es sind dies:

- Spannungen an Generatoren und zwar Slackgenerator und Generator Typ GU (U)
- Wirkleistungseinspeisungen an Generator Typ GQ und Generator Typ GU (P)
- Blindleistungseinspeisungen an Generator Typ GQ (Q)
- Regelstufe von regelbaren Transformatoren (ü)

Netzelement	U	P	Q	ü
Slackgenerator	ja	ja	ja	
Generator Typ GQ		ja	ja	
Generator Typ GU	ja	ja		
Trafo mit diskretem Regler				ja

Bild: Optimierbare Netzobjekte und physikalische Größen

Um diese Variablen für die Optimierung verfügbar zu machen sind für diese Elemente die zugehörigen gewünschten Regelbänder zu erstellen. Dies muss besonders bei regelbaren aber konstant gewünschten Parametern der Elemente durch eine entsprechende Gleichungsrestriktion erfolgen.

Abhängige Variable

Die Werte der unabhängigen Variablen bestimmen unmittelbar die Größe der abhängigen Größen:

- Leistungen der nicht optimierbaren Querzweige
- Spannungen der nicht optimierbaren Knoten
- Leistungen der Längszweige

Zusätzliche Modellbildung für spannungsgeregelte Generatoren

Für Slackgeneratoren werden die Spannung U, die zugehörigen Winkel (meist mit 0°) vorgegeben. Sie dienen dazu, die Bilanzfehler im Netz zu übernehmen. Bei Slackgeneratoren tritt die Spannung als unabhängiger, also optimierbarer Parameter auf. Deren Wirk- und Blindleistung charakterisieren den Bilanzfehler des Netzes. Als technisch wichtiges Ziel werden diese nicht optimierbaren Parameter (abhängige Variable) bei entsprechenden Grenzwerten im zulässigen Bereich gehalten, sodass der Bilanzfehler des Netzes zulässig minimal gehalten werden kann.

Analog treten bei GU-Generatoren die Spannung und Wirkleistung als regelbare Größe auf. Die Blindleistung stellt einen nichtregelbaren Parameter dar. Es wird versucht, diese durch Überwachung der Grenzen in einem zulässigen Bereich zu halten.

2.4 Verfahren der Optimierung

Minimierung der Wirkleistungsverluste

Aufgabe der Optimierung ist die Minimierung der Wirkleistungsverluste im Netz. Die Netzverluste P werden aus den Wirkverlusten der einzelnen Zweige gebildet.

$$P_V = \sum_{i=1}^L P_i \Rightarrow \text{Minimum}$$

Die Zielfunktion wird entsprechend der Minimierung der Summe der Wirkverluste der einzelnen Zweige modelliert.

Die Optimierung erfolgt mit einem indirekten Gradientenverfahren mit äußerer Straffunktion. Über dieses Verfahren wird die zulässige Lösung eingestellt und das Optimum für die gewünschte Zielfunktion ermittelt.

Für die Optimierung liegt das Problem nach der Modellbildung als Problem der Minimierung einer nichtlinearen Funktion (Ziel- oder Kostenfunktion) vor.

Die gegebenen definierten technischen Beschränkungen der Elemente im Netz werden durch ebenfalls nichtlineare Nebenbedingungen in Form einer Ungleichung oder Gleichung modelliert.

Das Gradientenverfahren erfolgt mit einem indirekten Quasi-Newton-Verfahren mit äußerer Straffunktion.

Dies ist ein iteratives Verfahren, charakterisiert durch die wiederholte Berechnung einer Suchrichtung in Richtung des gesuchten Minimums und einer zugehörigen optimalen Schrittweite in diese Richtung.

Die nichtlinearen Nebenbedingungen werden mittels äußerer Straffunktion an die Zielfunktion angekoppelt. Somit wird ein Problem ohne Nebenbedingungen erreicht. Die Einhaltung der Nebenbedingungen wird überwacht und die Lösung an den definierten zulässigen Bereich herangeführt.

Weiters wird in diesem iterativen Prozess die Information der zweiten Ableitung der Zielfunktion verwendet, was die Konvergenzgeschwindigkeit entsprechend erhöht und somit die Rechenzeit vermindert.

3. Optimale Trennstellen

Mit diesem Verfahren wird die optimale Trennstellenaufteilung für Stationsbereiche in vermaschten Niederspannungsnetzen ermittelt.

Die Voraussetzung zur Ermittlung der optimalen Trennstellen sind die Ströme und Spannungen im Netz. Vor der Trennstellensuche muss daher eine vollständige Lastflussrechnung durchgeführt werden.

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, etc.) 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 verändern, bis die geforderten Leistungen mit hinreichender Genauigkeit erreicht sind.

Die Berechnung der Ströme und Spannungen bei jedem Iterationsschritt führt auf ein lineares Gleichungssystem, welches nach Gauß gelöst wird.

Aufgrund der Ströme und Spannungen aus der Lastflussrechnung werden nun die optimalen Trennstellen zur Entmaschung des Netzes Teilnetz für Teilnetz ermittelt. Als Ergebnis werden Trennstellen zur vollständigen Entmaschung der jeweiligen Netzebene zur Verfügung gestellt.

Die Funktionalität der optimalen Trennstellen wird im Kapitel [Anwendungsbeispiel für Optimale Trennstellen](#) auf einfache Weise näher gebracht.

Prinzipieller Rechnungsablauf Optimale Trennstellen

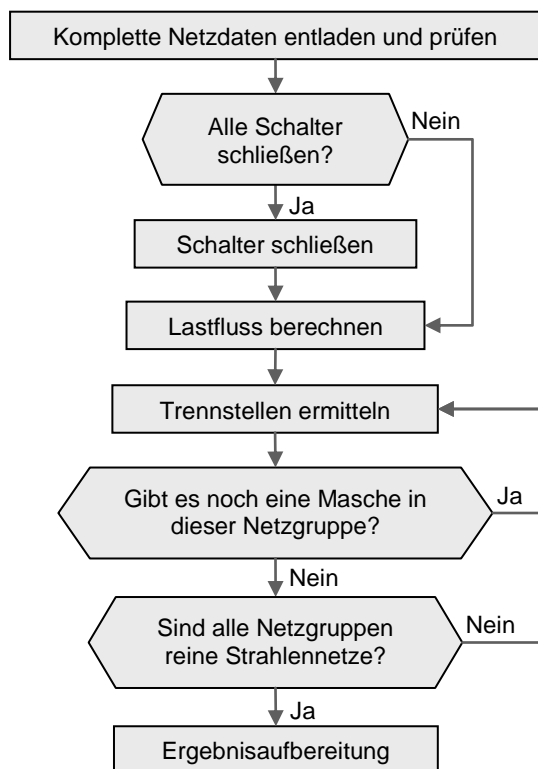


Bild: Ablaufdiagramm

3.1 Definition einer Trennstelle

Eine Trennstelle wird dort erzeugt, wo, von einem Knoten ausgehend, alle anderen Nachbarknoten eine größere Spannung haben. Die Verbindung zum Nachbarknoten mit der kleinsten Spannungsdifferenz wird am betrachteten Knoten abgetrennt. Im Normalfall ist das die Verbindung mit dem kleinsten Strom. Von dem betrachteten Knoten werden abgehende Stiche nicht berücksichtigt, da beim Abtrennen ein isoliertes Netz entstehen würde.

Für die Trennstellensuche endet der jeweils betrachtete Netzteil nach jedem Transformator. Der Transformator wird somit in die ober- und unterspannungsseitige Netzebene mit einbezogen (notwendig wegen paralleler Transformatoren). Die Ermittlung der Trennstellen erfolgt für jede Netzebene getrennt.

Entscheidend für das Setzen von Trennstellen sind die Spannungen an den Knoten und die Ströme in den Zweigen des Netzes. Vor der Trennstellensuche muss daher eine komplette Lastflussrechnung durchgeführt werden.

Die Anzahl der Einspeisestellen über die Trafostationen ist nicht begrenzt. Die Netze können auch galvanisch getrennte Teile enthalten, wenn in jedem solchen Teilnetz ein Slackgenerator enthalten ist.

Im Rahmen der Trennstellensuche werden auch mehrseitige gespeiste Netzteile (z.B. über mehrere Transformatoren oder Generatoren) korrekt berücksichtigt. D.h. diese Netzteile werden so geschaltet, dass sich Strahlennetze mit jeweils nur einer Einspeisung ergeben.

Die Trennstellensuche wird für alle Netzebenen des gesamten Netzes durchgeführt.

3.2 Übernahme der Trennstellen

Durch die Übernahme werden aus den Trennstellen Schalter in der Netzgrafik. Die Topologie des Netzes wird dadurch abgeändert. Die nun neu hinzukommenden Schalter werden in allen nun folgenden Berechnungen als Eingabedaten mitberücksichtigt. Die Ergebnisse der folgenden Berechnungen sind daher unterschiedlich zu den bisherigen. Im Anschluss an das Übernehmen der Trennstellen sollten daher alle Berechnungen (Lastfluss, Kurzschluss, etc.) neu durchgeführt werden, um die Konsistenz zwischen Ergebnisse und Netztopologie sicherzustellen.

Eine neuerliche Trennstellensuche im Anschluss an die Übernahme der Trennstellen liefert keine neuen Trennstellen mehr, da die einzeln betrachteten elektrischen Netzebenen nur mehr aus Stichleitungen bestehen. Eine Masche im Netz kann sich nur mehr über Transformatoren schließen.

3.2.1 Netzebenenbehandlung für Trennstellen

Die Trennstellensuche wird Spannungsebene für Spannungsebene durchgeführt. Alle Elemente mit gleicher Nennspannung ergeben eine Netzebene. Die Transformatoren werden dabei sowohl in der unter- als auch überspannungsseitigen Netzebene berücksichtigt. So z.B. die 110 kV und die 20 kV Netzebene.

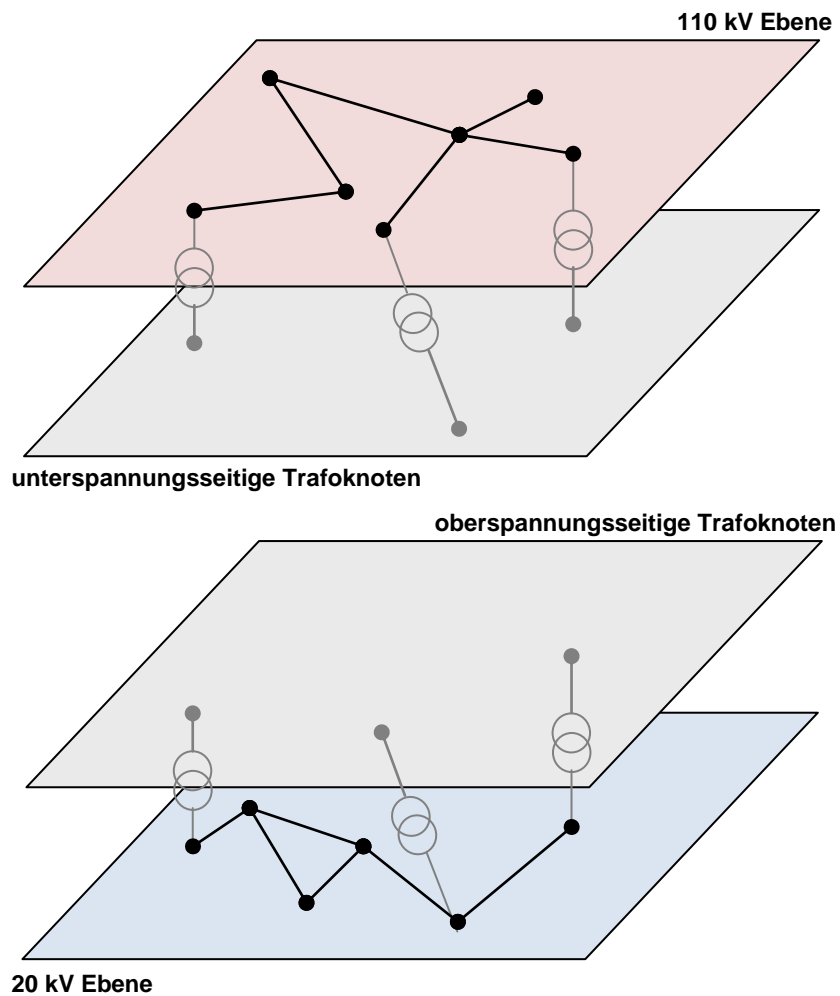


Bild: Trennstellensuche bei verschiedenen Spannungsebenen

Behandlung des Dreiwicklertrafos

Jeder Dreiwicklertrafo wird in Dreiecksschaltung eingegeben, jedoch intern in Sternschaltung behandelt. Der Dreiwicklersternpunkt ist ein interner Knotenpunkt. Falls nun eine Trennstelle am internen Dreiwicklersternpunkt gesetzt werden sollte, wird sie natürlich dem jeweiligen Dreiwicklerknoten (Primär-, Sekundär- bzw. Tertiärknoten) zugeordnet.

4. Ermittlung der Kompensationsleistung

Das Ziel der Ermittlung der Kompensationsleistung ist die Reduktion der Blindleistung am Transformatorunterspannungsanschluss. Die Basis für die Ermittlung der Kompensationsleistung ist eine Lastflussberechnung des vollständigen Netzes. Die ermittelte Kompensationsleistung kann dabei induktiv oder kapazitiv sein.

Die Ermittlung der Kompensationsleistung wird im Kapitel [Anwendungsbeispiel für Ermittlung der Kompensationsleistung](#) auf einfache Weise näher gebracht.

Prinzipieller Rechnungsablauf für die Ermittlung der Kompensationsleistung

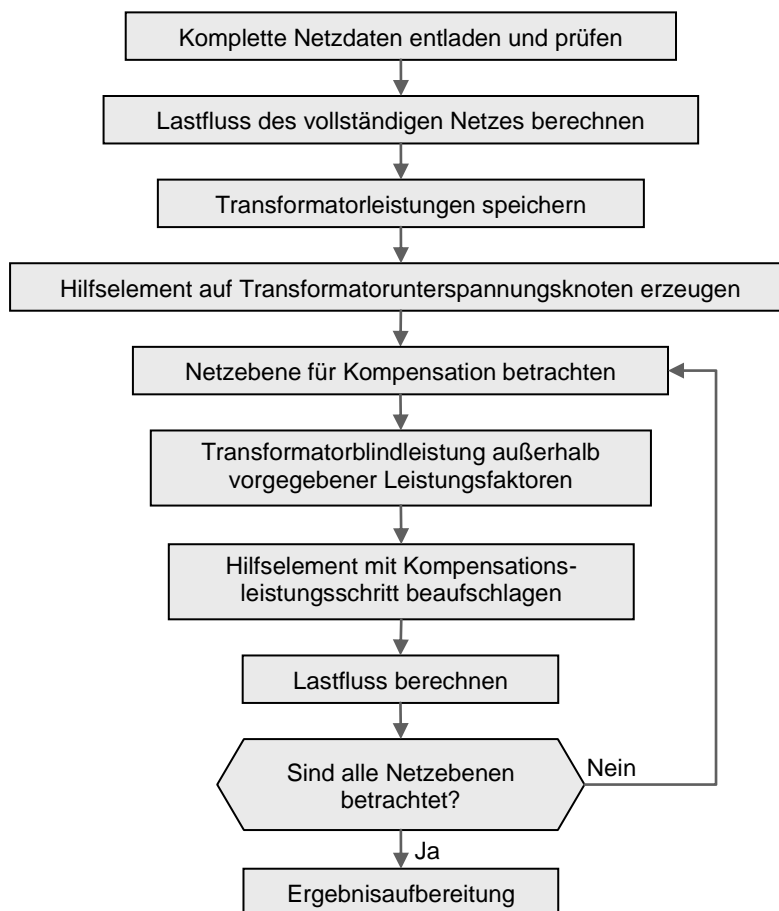


Bild: Ablaufdiagramm

4.1 Festlegen der Knoten für die Kompensierung

Die Knoten für die Einspeisung der Kompensationsleistung ergeben sich über die Nennspannungen der Transformator-knoten. Bei Zweiwicklungstransformatoren ist dies der Knoten mit der kleineren Spannung. Bei Dreiwicklungstransformatoren sind dies die beiden Knoten mit der kleineren Spannung.

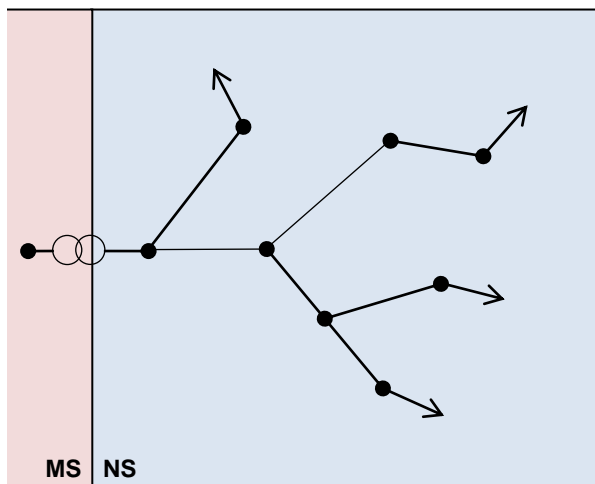


Bild: Netz hinter Transformatorstation

Für die hinzukommende Kompensationsleistung wird an Trafounterspannungsknoten ein Hilfselement generiert.

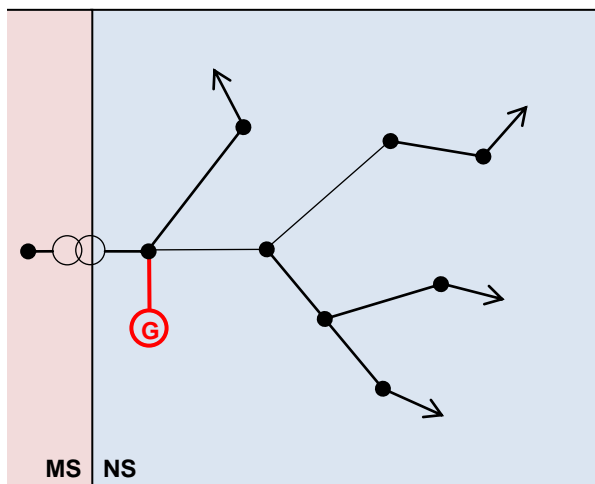


Bild: Netz hinter Transformatorstation mit Hilfselement

4.2 Ermittlung der aktuellen Kompensationsleistung

Die Ermittlung des ersten Kompensationsleistungsschrittes erfolgt über die aktuelle Transformatorblindleistung.

$$Q_{\text{Komp } i=0} = f(Q_{\text{Trafo}})$$

Liegt bereits ein Kompensationsleistungsschritt vor, so wird zusätzlich noch der Leistungsfaktor des Transformators ($\cos\varphi$) in die Ermittlung mit einbezogen (mathematische Nullstellensuche).

$$Q_{\text{Komp } i \neq 0} = f(Q_{\text{Trafo}}, \cos\varphi)$$

Eine Überkompensation der Blindleistung erfolgt nicht. Die gesamte zu installierende Kompensationsleistung ergibt sich als Summe der einzelnen Kompensationsleistungsschritte.

$$Q_{\text{Inst}} = \sum Q_{\text{Komp } i}$$

Die Ermittlung der Kompensationsleistung wird beendet, wenn

- alle Leistungsfaktoren der Transformatoren in den vorgegebenen Grenzen sind oder
- alle aktuell zu installierenden Kompensationsleistungen Null

ergeben.

4.2.1 Ermittlung der jeweiligen Kompensationsleistung

Die Ermittlung der jeweiligen Kompensationsleistung erfolgt über die aktuellen Leistungsdaten am Transformatoranschluss. Die Leistung wird dabei durch eine Lastflussberechnung ermittelt. Die Netztopologie (vermaschtes Netz oder Strahlnetz) ist dabei nicht relevant.

Über die Lastflussberechnung ergibt sich am Transformatoranschluss die Wirk- und Blindleistung durch die aktuelle Belastung. Je nach Möglichkeit wird ein Kompensationsschritt durchgeführt. Eine Überkompensation findet dabei nicht statt.

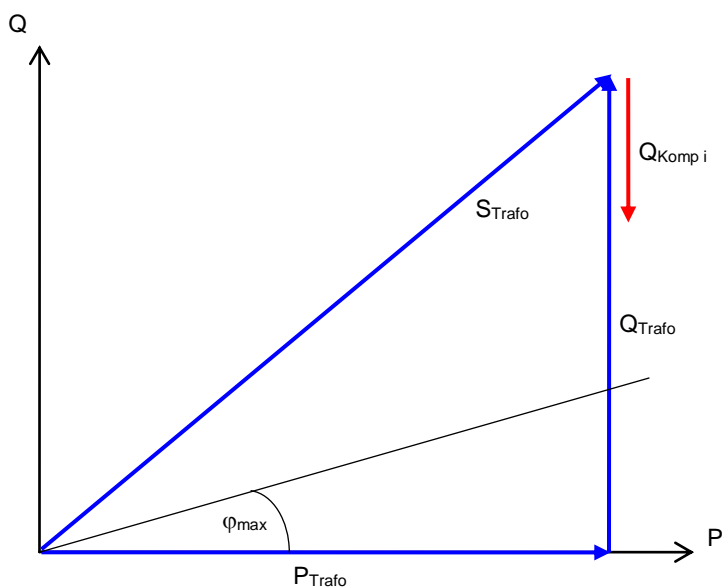


Bild: Zeigerdiagramm Transformatorleistung

Der Kompensationsschritt wird nun mit entgegengesetzten Vorzeichen dem Hilfsobjekt beaufschlagt.

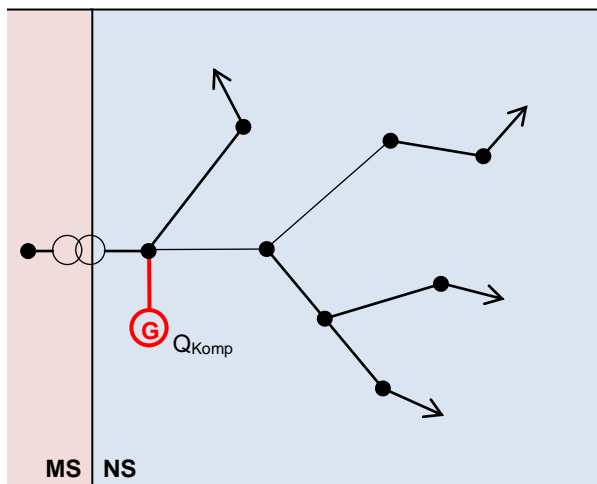


Bild: Netz hinter Transformatorstation mit Kompensationsleistung am Hilfsobjekt

Durch eine neuerliche Lastflussberechnung ergibt sich nun bereits ein wesentlich kleinerer Leistungsfluss am Transformator.

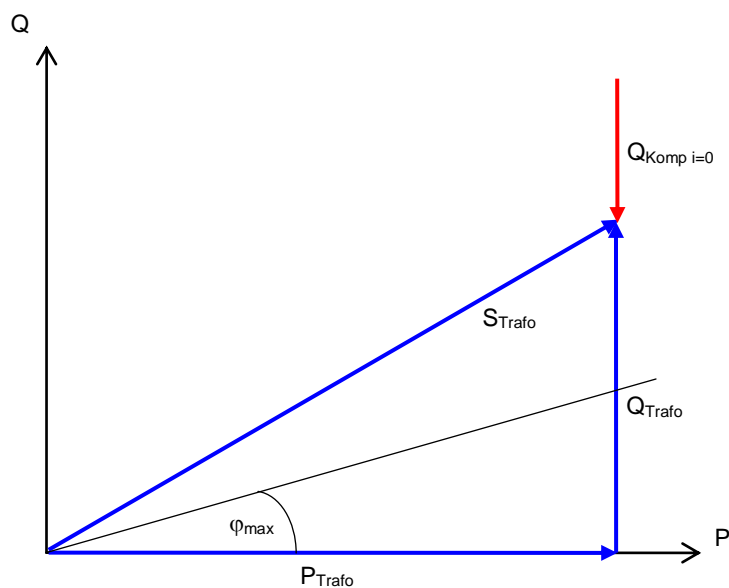


Bild: Zeigerdiagramm neue berechnete Transformatorleistung

Liegt der Leistungsfaktor noch außerhalb des vorgegebenen Bereiches, wird neuerlich ein Kompensationsschritt durchgeführt. Liegt der Leistungsfaktor innerhalb des vorgegebenen Bereiches, wird die Ermittlung der Kompensationsleistung beendet.

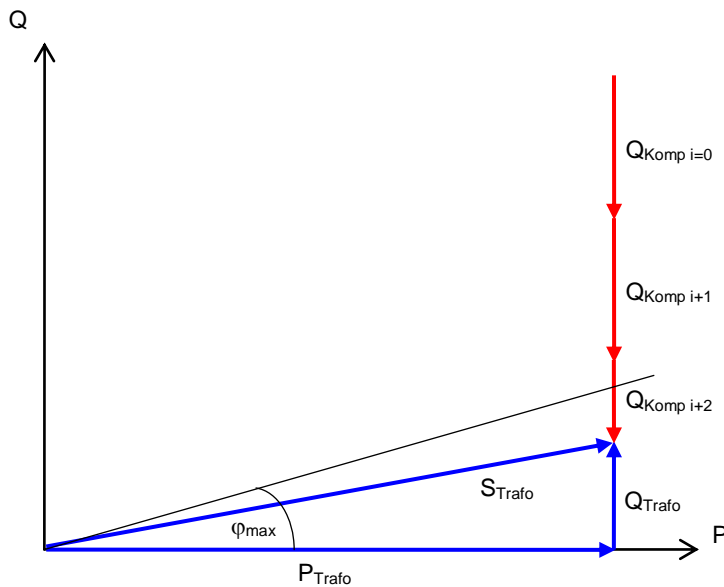


Bild: Zeigerdiagramm Transformatorleistung innerhalb des vorgegebenen Bereiches

Für die Einhaltung des maximalen Winkels im obigen Zeigerdiagramm sind drei Kompensationsschritte notwendig.

4.3 Erzielbare Vorteile für den Netzbetreiber

Durch die Installation der ermittelten Kompensationsleistung ergeben sich folgende Vorteile im Netz:

- Die transportierte Scheinleistung im Netz wird kleiner
- Die Auslastungen der Betriebsmittel werden kleiner
- Die Übertragungsverluste werden kleiner
- Die Spannung im Netz wird besser
- Verletzungen von Spannungsgrenzen können vermieden werden
- Der Ausbau von Transformatorstationen kann vermieden werden
- Die Kosten für den Blindleistungsbezug können verringert werden

5. Kondensatorplatzierung

Die Zielsetzung dieses Optimierungsverfahrens ist eine Reduktion der Netzverluste durch Platzierung von Kondensatoren. Dabei werden die Kosten für die Kondensatoren mit den zu erwartenden Kosteneinsparungen durch geringere Netzverluste bewertet. Somit ergibt sich eine Zeitdauer für das "Return on Investment", welche zur Bewertung herangezogen werden kann.

Eine wesentliche Randbedingung in dem Verfahren ist, dass die in den Berechnungsparametern definierten globalen Grenzwerte für Spannungen und Auslastungen nicht durch das Platzieren von Kondensatoren verletzt werden. Damit wird auch gleichzeitig eine der Voraussetzungen für das Optimierungsverfahren definiert: Die Grenzwerte des Netzes dürfen im Grundlastfall nicht verletzt sein. Falls dennoch Grenzwertverletzungen vorliegen sollten, wird dies beim Start des Optimierungsverfahrens durch eine entsprechende Fehlermeldung ausgewiesen.

Zur Kondensatorplatzierung sind in PSS SINICAL vier verschiedene Algorithmen implementiert:

- [Optimale Platzierung vorhandener Kondensatoren](#)
- [Optimale Platzierung von Kondensatoren](#)
- [Platzierung vorhandener Kondensatoren](#)
- [Platzierung vorhandener Kondensatoren \(erweitert\)](#)

Die praktische Anwendung dieses Optimierungsverfahrens wird im Kapitel [Anwendungsbeispiel für die Kondensatorplatzierung](#) auf einfache Weise näher gebracht.

5.1 Optimale Platzierung vorhandener Kondensatoren

Dies ist jener Algorithmus, der im Normalfall das beste Optimierungsergebnis bei Verwendung von vordefinierten Kondensatoren liefert.

Prinzipieller Rechnungsablauf für die optimale Platzierung vorhandener Kondensatoren

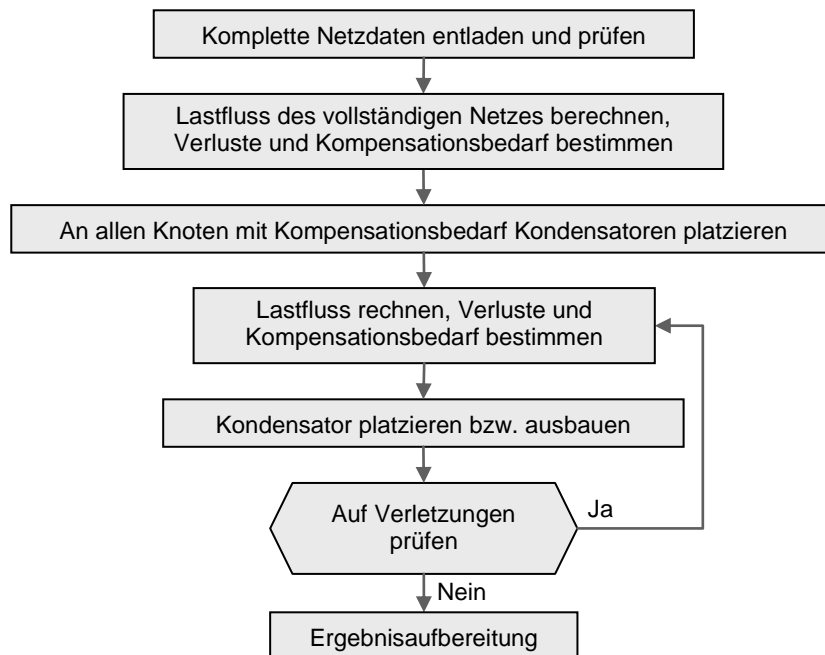


Bild: Ablaufdiagramm

5.1.1 Vorgaben für die Kondensatorplatzierung

Die verfügbaren Kondensatoren sowie jene Knoten, wo diese platziert werden können, müssen vorgegeben werden. Das Optimierungsverfahren Kondensatorplatzierung versucht dann, anhand dieser Vorgaben die verfügbaren Kondensatoren möglichst so einzusetzen, dass die geringsten Netzverluste entstehen.

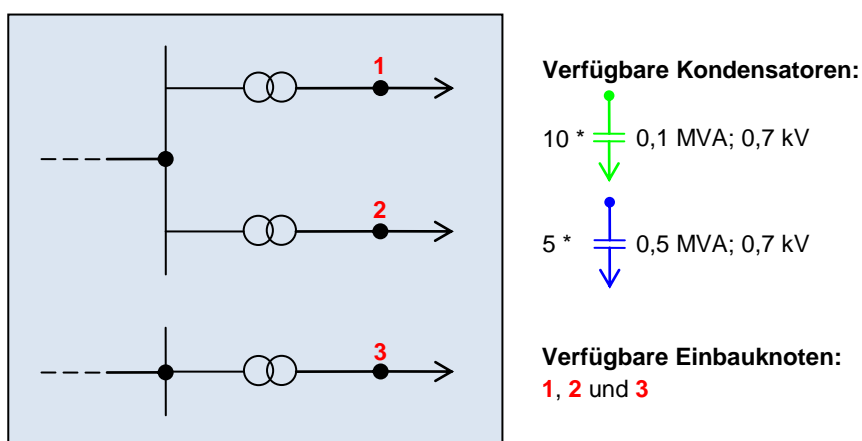


Bild: Netz für Kondensatorplatzierung

5.1.2 Bestimmen der erforderlichen Kompensationsleistung

Der erste Simulationsschritt ist die Bestimmung des aktuellen Kompensationsleistungsbedarfes an den ausgewählten Einbauknoten. Hierzu werden im Netz ein Lastfluss berechnet und jene Knoten bestimmt, bei denen ein Bedarf an kapazitiver Blindleistung besteht.

Im vorliegenden Beispiel sind dies die Knoten 1 und 2. Der Blindleistungsbedarf am Knoten 1 ist 0,65 Mvar und am Knoten 2 ist dieser 0,2 Mvar. Am Knoten 3 wird keine Blindleistung benötigt.

Aus dem Pool der verfügbaren Kondensatoren wird nun versucht, den Blindleistungsbedarf der Knoten optimal abzudecken.

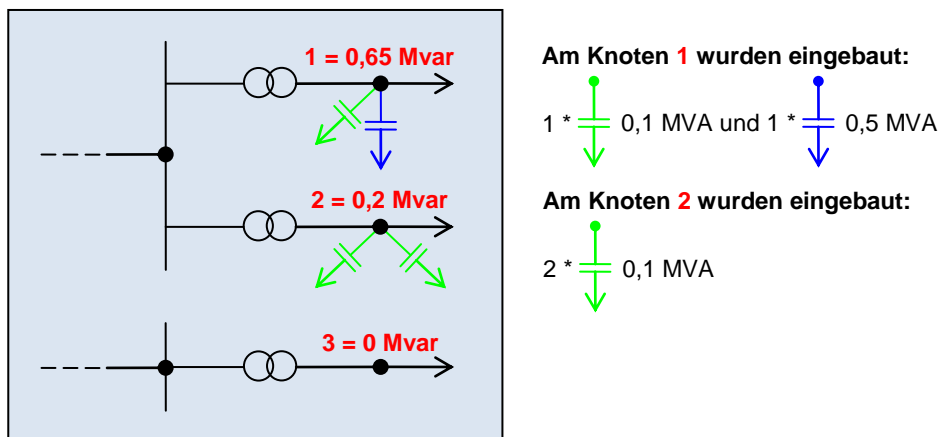


Bild: Netz zu Beginn nach dem Setzen der Kondensatoren

5.1.3 Prüfen des Kompensationsergebnisses

Nach der Platzierung der Kondensatoren wird erneut eine Lastflussberechnung durchgeführt, da sich der Blindleistungsfluss im Netz komplett verändern kann. Daher wird überprüft, ob eine "Überkompensation" vorliegt. Falls dies der Fall ist, werden bereits eingebaute Kondensatoren wieder ausgebaut.

Im dargestellten Beispiel liegt am Knoten 1 eine Überkompensation vor, da dort der Blindleistungsbedarf nun nur noch 0,55 Mvar beträgt. Am Knoten 2 gibt es keine Änderung, da ist der Blindleistungsbedarf wie im vorherigen Umlauf 0,2 Mvar. Im Knoten 3 ergibt sich nun ein Blindleistungsbedarf von 0,1 Mvar.

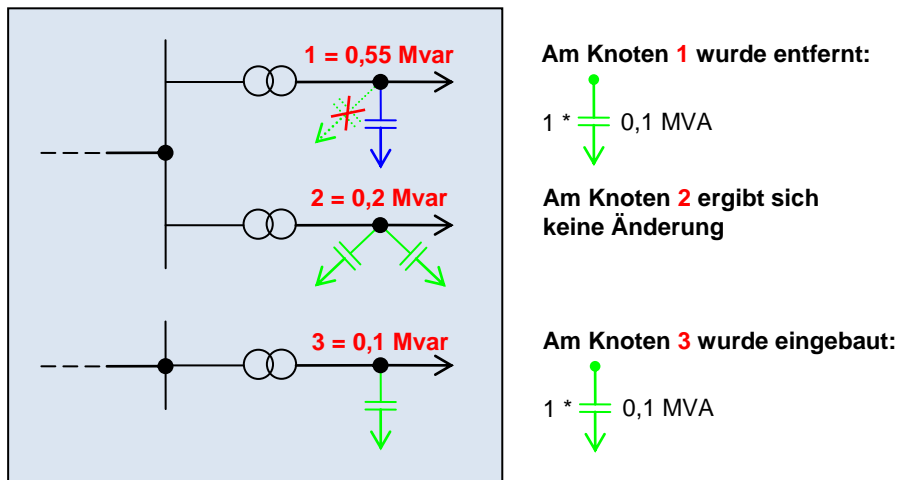


Bild: Überprüfen des Kompensationsergebnisses

Ebenfalls überprüft wird, ob Verletzungen der Grenzwerte vorliegen. Sollte dies der Fall sein, dann werden ebenfalls die Kondensatoren wieder entfernt.

Der gesamte Vorgang wird nun so lange wiederholt, bis der Blindleistungsbedarf der Knoten so gut wie möglich durch die verfügbaren Kondensatoren abgedeckt wird.

5.1.4 Bestimmen der Einsparungen

Am Ende der Berechnung werden schließlich die Verlustreduktion und die Kosten bestimmt.

Die Verlustreduktion ergibt sich aus der Verlustdifferenz zum Ursprungsnetz:

$$dP_l = P_V - P_{V \text{ opt}}$$

$$dQ_l = Q_V - Q_{V \text{ opt}}$$

$$dS_l = S_V - S_{V \text{ opt}}$$

Die Errichtungskosten ergeben sich aus der Summe der Anschaffungsaufwendungen für alle eingebauten Kondensatoren:

$$C_i = \sum_{j=1..n} C_{ij}$$

Die jährliche Kosteneinsparung kann mit den reduzierten Wirkverlusten bestimmt werden:

$$C_s = dP_l * \text{Energiekosten/kWh} * 8760$$

Aus der jährlichen Kosteneinsparung kann auch die Dauer in Jahren für den Return on Investment bestimmt werden:

$$R_i = \frac{C_i}{C_s}$$

5.2 Optimale Platzierung von Kondensatoren

Dieses Optimierungsverfahren funktioniert genauso wie die [Optimale Platzierung vorhandener Kondensatoren](#), allerdings mit dem Unterschied, dass die verfügbaren Kondensatoren nicht berücksichtigt werden. Stattdessen werden an den Knoten mit Kompensationsleistungsbedarf Kondensatoren mit exakt passender Leistung zugeordnet. Somit kann die Kompensationsleistung für die ausgewählten Knoten bestimmt werden.

5.3 Platzierung vorhandener Kondensatoren

Dieses Optimierungsverfahren basiert auf einem einfachen kombinatorischen Ansatz. Es wird versucht, die vorhandenen Kondensatoren so zu platzieren, dass die Verluste im Netz reduziert werden.

Prinzipieller Rechnungsablauf für die Platzierung vorhandener Kondensatoren

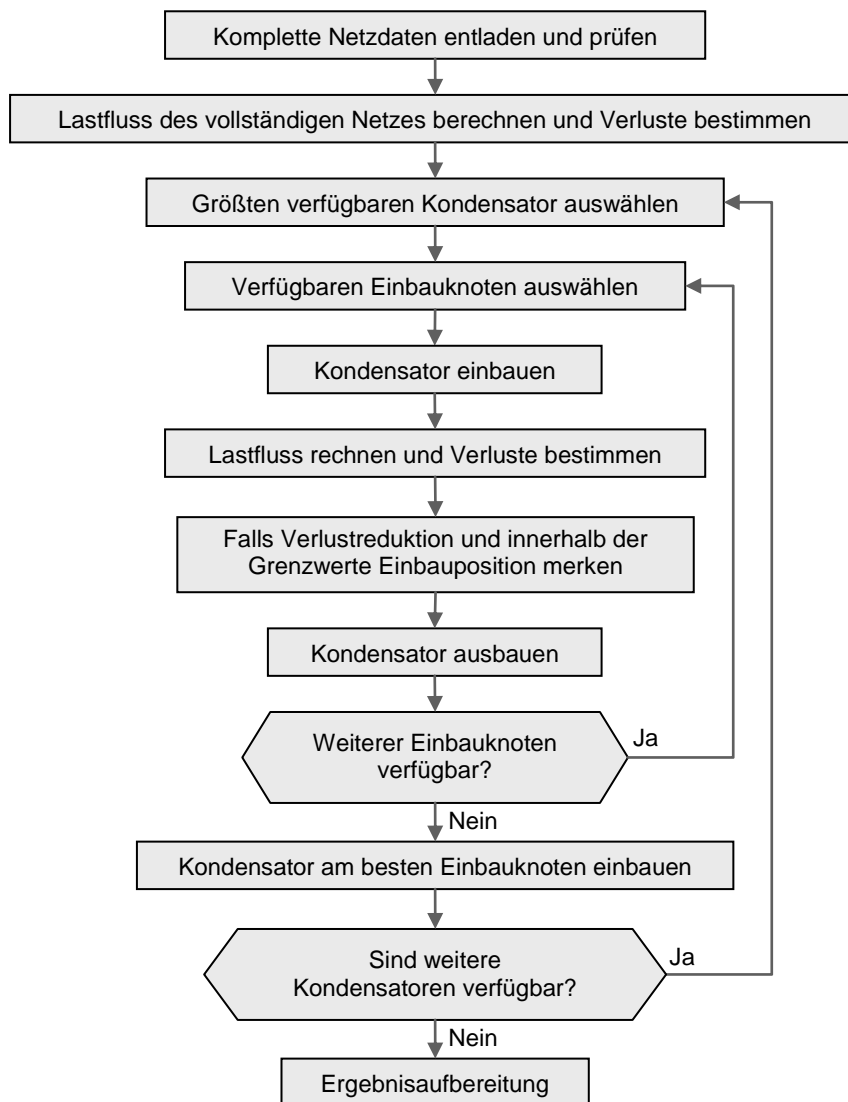


Bild: Ablaufdiagramm

5.3.1 Vorgaben für die Kondensatorplatzierung

Die verfügbaren Kondensatoren sowie jene Knoten, wo diese platziert werden können, müssen vorgegeben werden. Das Optimierungsverfahren Kondensatorplatzierung versucht dann, anhand dieser Vorgaben die verfügbaren Kondensatoren möglichst so einzusetzen, dass die geringsten Netzverluste entstehen.

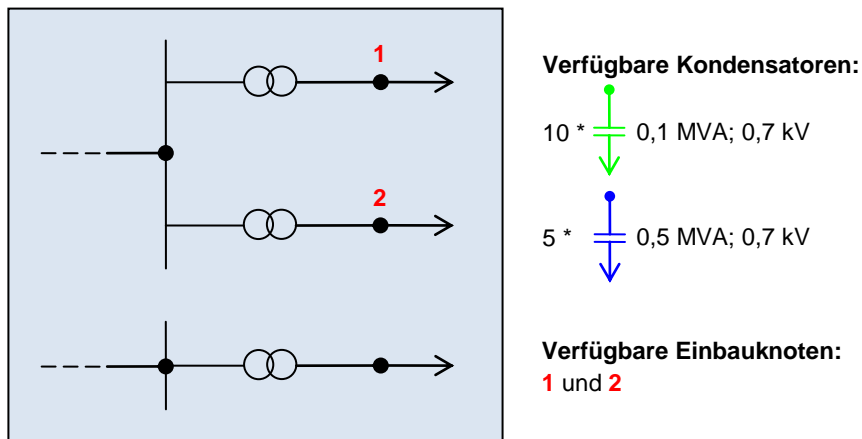


Bild: Netz für Kondensatorplatzierung

Im dargestellten Beispiel sind zwei Knoten zur Kondensatorplatzierung ausgewählt. Zum Platzieren sind

- 10 Kondensatoren mit $S_n = 0,1$ MVA und
- 5 Kondensatoren mit $S_n = 0,5$ MVA verfügbar.

5.3.2 Ermitteln der optimalen Kondensatorplatzierung

Die Ermittlung der optimalen Kondensatorplatzierung erfolgt durch eine kombinatorische Folge von Lastflüssen, bei denen jeweils verschiedene Kondensatoren an die zulässigen Knoten angeschlossen werden.

Aus dem Pool der verfügbaren Kondensatoren wird der Größtmögliche ausgewählt und am ersten verfügbaren Knoten angeschlossen.

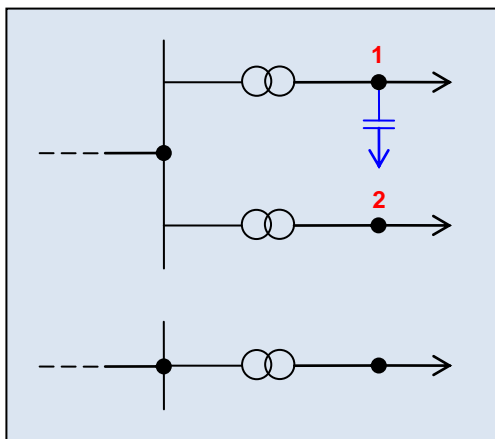


Bild: Netz mit temporär angeschlossenem Kondensator am Knoten 1

In unserem Beispiel wird ein Kondensator mit $S_n = 0,5$ MVA am Knoten 1 angeschlossen. Anschließend wird ein Lastfluss gerechnet und die im Netz auftretenden Netzverluste werden analysiert. Dabei werden die Netzverluste P_V aus den Wirkverlusten der einzelnen Zweige gebildet.

$$P_V = \sum_{i=1}^L P_i \Rightarrow \text{Minimum}$$

Falls diese Verluste kleiner sind als jene Verluste im Ursprungszustand des Netzes, wird dies protokolliert. Als zusätzliche Randbedingung müssen dabei allerdings auch die in den Berechnungsparametern voreingestellten Grenzwerte eingehalten werden. Sind diese verletzt, wird der Einbau des Kondensators nicht protokolliert.

Im nächsten Schritt wird nun der im Knoten 1 eingebaute Kondensator wieder ausgebaut und am nächsten verfügbaren Knoten angeschlossen. Im dargestellten Beispiel ist dies der Knoten 2.

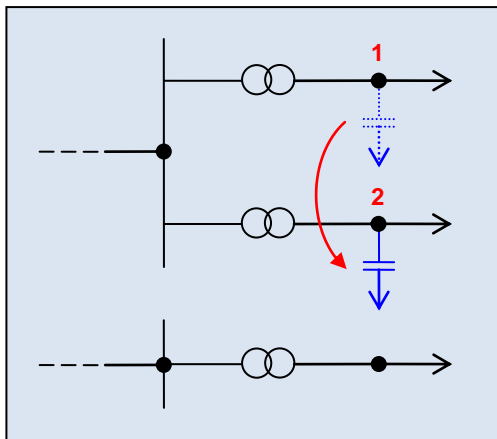


Bild: Netz mit temporär angeschlossenen Kondensator am Knoten 2

Analog wie vorher wird ein Lastfluss berechnet und die Netzverluste werden bestimmt. Falls geringere Netzverluste als im Ursprungszustand des Netzes vorhanden sind und alle Randbedingungen eingehalten wurden, wird der Einbau des Kondensators wieder protokolliert.

Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis alle für den Einbau von Kondensatoren verfügbaren Knoten verarbeitet wurden. Nun wird analysiert, an welchem Einbauort die größte Verlustreduktion erreicht werden konnte. An diesem Knoten wird der Kondensator dann eingebaut.

Der durch den Einbau des Kondensators nun neue Netzzustand wird als Grundlage für die weiteren Berechnungen verwendet. Dabei wird genauso wie im ersten Durchlauf der größtmögliche verfügbare Kondensator ausgewählt und dann an allen verfügbaren Knoten angeschlossen. Dies wird solange fortgesetzt, bis entweder keine Kondensatoren mehr verfügbar sind oder diese nicht an den verfügbaren Knoten platziert werden können, weil dadurch dann Grenzwertverletzungen auftreten würden.

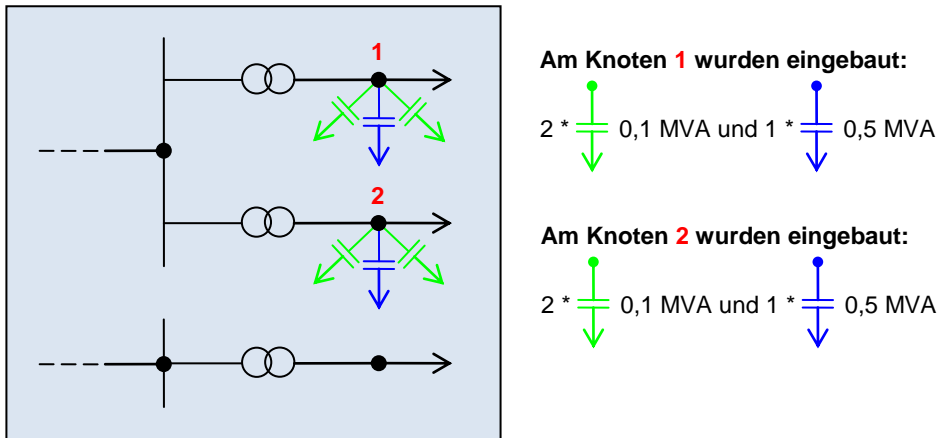


Bild: Netz am Ende der Kondensatorplatzierung

Am Ende der Berechnung werden schließlich die Verlustreduktion und die Kosten bestimmt.

Die Verlustreduktion ergibt sich aus der Verlustdifferenz zum Ursprungsnetz:

$$dP_l = P_V - P_{V \text{ opt}}$$

$$dQ_l = Q_V - Q_{V \text{ opt}}$$

$$dS_l = S_V - S_{V \text{ opt}}$$

Die Errichtungskosten ergeben sich aus der Summe der Anschaffungsaufwendungen für alle eingebauten Kondensatoren:

$$C_i = \sum_{j=1..n} C_{ij}$$

Die jährliche Kosteneinsparung kann mit den reduzierten Wirkverlusten bestimmt werden:

$$C_s = dP_l * \text{Energiekosten} / \text{kWh} * 8760$$

Aus der jährlichen Kosteneinsparung kann auch die Dauer in Jahren für den Return on Investment bestimmt werden:

$$R_i = \frac{C_i}{C_s}$$

5.4 Platzierung vorhandener Kondensatoren (erweitert)

Dieser Algorithmus entspricht im Wesentlichen der [Platzierung vorhandener Kondensatoren](#), allerdings mit einer kleineren Erweiterung. Vor der eigentlichen Kombinatorik wird bestimmt, an welchen der ausgewählten Knoten überhaupt Kompensationsbedarf besteht. Nur diese Knoten werden dann berücksichtigt.

5.5 Erzielbare Vorteile für den Netzbetreiber

Durch dieses Optimierungsverfahren ergeben sich folgende Vorteile im Netz:

- Die Platzierung der verfügbaren Kondensatoren erfolgt so, dass diese wirtschaftlich optimal genutzt werden
- Die transportierte Scheinleistung im Netz wird kleiner
- Die Auslastungen der Betriebsmittel werden kleiner
- Die Übertragungsverluste werden kleiner
- Die Spannung im Netz wird besser
- Verletzungen von Spannungsgrenzen können vermieden werden

6. Lastsymmetrierung

Das Ziel der Lastsymmetrierung ist es, alle unsymmetrischen Elemente über eine möglichst symmetrische Netzbelastung zu versorgen. Die Anzahl der Leiter wird dabei nicht geändert.

Die Voraussetzung der Lastsymmetrierung ist eine gültige unsymmetrische Lastflussberechnung mit bewerteter unsymmetrischer Netzbelastung. Basierend auf der unsymmetrischen Belastung dieses Netzzustandes werden auf Grund eines Optimierungsverfahrens die Leiter der Elemente geändert. Ergibt sich eine bessere symmetrische Netzbelastung, werden die aktuell verwendeten Leiter vermerkt.

Als Ergebnis werden die alten Leiter und die Leiter des symmetrischsten Belastungszustandes der unsymmetrischen Elemente zur Verfügung gestellt.

Die Funktionalität der Lastsymmetrierung wird im Kapitel [Anwendungsbeispiel für Lastsymmetrierung](#) auf einfache Weise näher gebracht.

Prinzipieller Rechnungsablauf für die Lastsymmetrierung

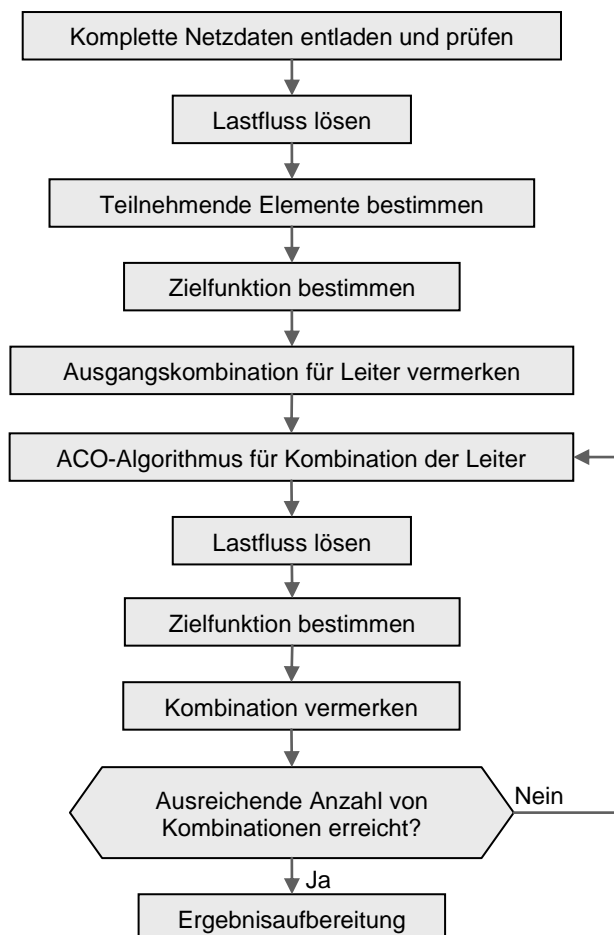


Bild: Ablaufdiagramm

6.1 Prüfen der Elemente auf wechselbare Leiter

Prinzipiell können nur Knotenelemente der Ausgangspunkt für die Miteinbeziehung von Elementen in der Lastsymmetrierung sein. Die Knotenelemente müssen dabei

- zwischen Leiter und Erde oder
- zwischen zwei Leiter

angeschlossen sein.

Sind die Anschlussbedingungen erfüllt, so werden die folgenden Knotenelemente als Ausgangspunkt in die Lastsymmetrierung miteinbezogen:

- Allgemeine Last
- Asynchronmaschine
- Variables Querelement
- Querimpedanz
- Querdrossel
- Querkondensator
- Quer RLC-Kreis
- DC-Einspeisung
- Synchronmaschine
- Kraftwerksblock
- Netzeinspeisung

Ausgehend von dem jeweiligen Knotenelement werden über eine Netzverfolgung jene Netzelemente zu einem Abgang in der Lastsymmetrierung zusammengefasst, die die gleichen Leiter aufweisen. Bei einem Wechsel der Leiter bei einem Knoten oder entlang eines Elementes (Transformator) endet der Abgang. Stehen an diesem Anschlussknoten des Abgangs noch freie Leiter zur Verfügung, so wird der Abgang in die Lastsymmetrierung miteinbezogen.

Je nach Netztopologie ergeben sich unterschiedliche Abgänge, die im Einzelfall auch nur das ausgehende Netzelement beinhalten können. Um die ermittelten Abgänge auch dem Anwender ersichtlich zu machen, erhalten die Abgänge eine fortlaufende Nummer und werden auch als Infomeldung ausgegeben.

Die folgenden Beispiele zeigen die Bildung von Abgängen in der Lastsymmetrierung.

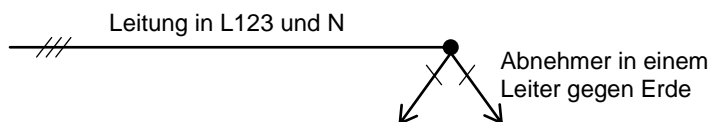


Bild: Zwei allgemeine Lasten zwischen Leiter und Erde an einem Knoten mit allen Leitern

Ein Wechsel des Leiters ist hier für jede einzelne allgemeine Last individuell möglich. Für die Lastsymmetrierung entstehen zwei Abgänge mit je einer allgemeinen Last.

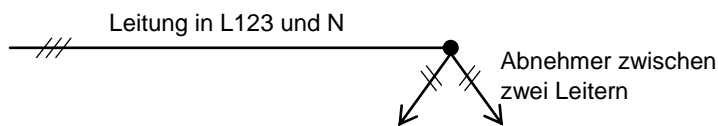


Bild: Zwei allgemeine Lasten zwischen zwei Leiter an einem Knoten mit allen Leitern

Ein Wechsel des Leiters ist hier für jede einzelne allgemeine Last individuell möglich. Für die Lastsymmetrierung entstehen zwei Abgänge mit je einer allgemeinen Last.

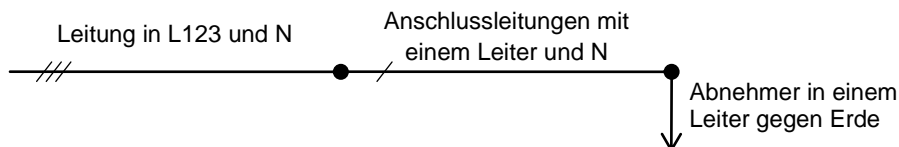


Bild: Eine allgemeine Last zwischen Leiter und Erde mit Anschlussleitung an einem Knoten mit allen Leitern

Ein Wechsel des Leiters ist hier für die einzelne allgemeine Last inklusive der Anschlussleitung individuell möglich. Für die Lastsymmetrierung entsteht ein Abgang mit der Anschlussleitung und der allgemeinen Last.

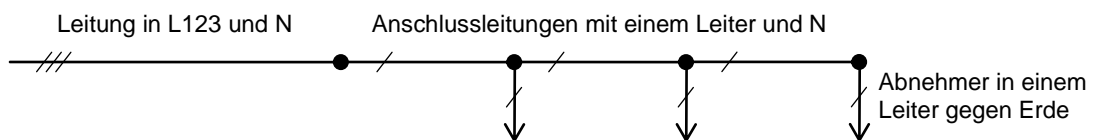


Bild: Allgemeine Lasten zwischen Leiter und Erde mit dazugehörigen Anschlussleitungen an einem Knoten mit allen Leitern

Ein Wechsel des Leiters ist hier für alle allgemeinen Lasten inklusive aller Anschlussleitungen individuell möglich. Für die Lastsymmetrierung entsteht ein Abgang mit allen Anschlussleitungen und allen Verbrauchern.

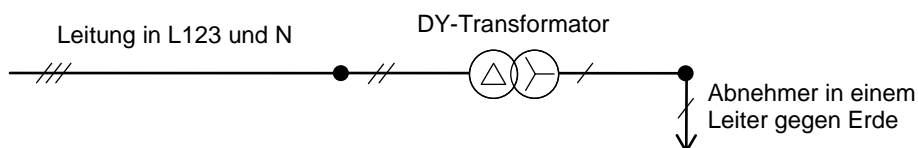


Bild: Allgemeine Last zwischen Leiter und Erde mit dazugehöriger Anschlussleitung und versorgendem DY Transformator mit einer Wicklung an einem Knoten mit allen Leitern

Der Wechsel des Leiters findet hier auf der D Seite des Transformators statt. Der Abgang endet auf jedem Fall nach dem Transformator. Ein Wechsel der beiden notwendigen Leiter auf der D Seite des Transformators ist möglich. Für die Lastsymmetrierung entsteht ein Abgang mit dem Transformator und dem Verbraucher.

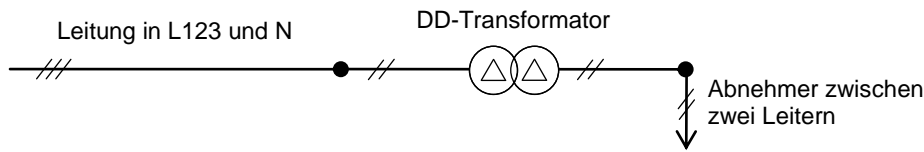


Bild: Allgemeine Last zwischen zwei Leitern mit dazugehöriger Anschlussleitung und versorgendem DD Transformator mit einer Wicklung an einem Knoten mit allen Leitern

Der Wechsel des Leiters findet hier am Anschlussknoten mit allen Leitern statt. Ein Wechsel der beiden notwendigen Leiter ist möglich. Für die Lastsymmetrierung entsteht ein Abgang mit dem Transformator und dem Verbraucher.

6.2 Zielfunktion für Lastsymmetrierung

Die Zielfunktion der Lastsymmetrierung ermittelt aus den zufließenden Leiterleistungen aller Knoten einen Unsymmetriefaktor für das Netz.

Der Absolutwert der zufließenden Leiterleistung je Knoten ergibt sich aus

$$S_1 = \sqrt{P_1^2 + jQ_1^2}$$

$$S_2 = \sqrt{P_2^2 + jQ_2^2}$$

$$S_3 = \sqrt{P_3^2 + jQ_3^2}$$

Die durchschnittliche Leiterleistung je Knoten ergibt sich über

$$S_d = \frac{S_1 + S_2 + S_3}{3,0}$$

Die Unsymmetriefaktoren je Knoten und Leiter ergeben sich danach aus

$$f_{U1} = \frac{|S_1 - S_d|}{S_d} * 100,0$$

$$f_{U2} = \frac{|S_2 - S_d|}{S_d} * 100,0$$

$$f_{U3} = \frac{|S_3 - S_d|}{S_d} * 100,0$$

Der Unsymmetriefaktor des Knotens ist der maximale Unsymmetriefaktor der einzelnen Leiter.

$$f_{UKnoten} = \text{MAX}(f_{U1}, f_{U2}, f_{U3})$$

Der Unsymmetriefaktor des Netzes ergibt sich über die Summe der Unsymmetriefaktoren der Knoten.

$$f_{UNetz} = \sum f_{UKnoten}$$

6.3 Optimierverfahren für Lastsymmetrierung

Die Lastsymmetrierung arbeitet nach einem ACO (Ant Colony Optimzation) Algorithmus. Diese Verfahren eignen sich für die Lösung von kombinatorischen Problemen sowie für eine kontinuierliche Parameteroptimierung.

Die Lastsymmetrierung ist ein kombinatorisches Problem. Eine Last gegen Erde kann während der ganzen Optimierung immer nur an einen Leiter (L1, L2 oder L3) angeschlossen sein. Eine Last zwischen zwei Leitern kann während der ganzen Optimierung immer nur über zwei Leitern (L1-L2, L2-L3 oder L3-L1) angeschlossen sein. Eine partielle Aufteilung auf mehrere Leitern ist in beiden Fällen nicht möglich.

Der ACO Algorithmus arbeitet nach dem Prinzip der konstruktiven Metaheuristik, angelehnt an die Prinzipien von Ameisen. Die einzelnen durchgeführten Lastflüsse mit deren aktuell verwendeten Leiter modifizieren und konstruieren die Lösung aufgrund einer netzweiten Information und einer Information je Abgang.

Netzweite Information: Die netzweite Information ist der Unsymmetriefaktor des Netzes wie unter Zielfunktion beschrieben.

Information je Abgang: Die Information je Abgang sind die wahrscheinlichsten Leiter.

Aufgrund der aktuell bei den Abgängen angegebenen Leiter und einem Ausgangslastfluss steht vor dem Beginn der Optimierung eine über die Zielfunktion bewertete Kombination von Leitern zur Verfügung.

In der Optimierung werden über den ACO Algorithmus neue Kombinationen von Leitern erschaffen. Die Erschaffung einer neuen Kombination von Leitern erfolgt nach den Regeln der genetischen Algorithmen mittels Selektion, Mutation und Rekombination.

Nach der Lastsymmetrierung steht die Kombination der Leiter mit dem kleinsten während der Optimierung aufgetretenen Unsymmetriefaktor des Netzes zur Verfügung.

7. VoltVar Optimierung

Mit diesem Verfahren können in radialen Mittel- und Niederspannungsabgängen, die sowohl symmetrisch als auch unsymmetrisch sein können, die Spannung und der Leistungsfaktor so gesteuert werden, dass alle Verbraucherknöten im definierten Spannungsband liegen und die übertragene Blindleistung möglichst gering ist. Diese Abgänge dürfen nicht mit anderen Abgängen verbunden sein.

Die Optimierung der Spannung ist erforderlich, um einen zulässigen Netzbetrieb anhand der vorgeschriebenen Grenzwerte für alle Verbraucher im Abgang zu gewährleisten. Durch die Optimierung des Leistungsfaktors soll die Übertragung von Blindleistung (und damit auch die Verluste) im Abgang reduziert werden.

Die Ergebnisse der VoltVar Optimierung werden sowohl in der Ergebnisansicht dargestellt als auch in Form von Diagrammen visualisiert. Darüber hinaus werden auch Ergebnisse in der Datenbank generiert, welche im Ergebnisbrowser dargestellt und ausgewertet werden können.

Prinzipieller Rechnungsablauf VoltVar Optimierung

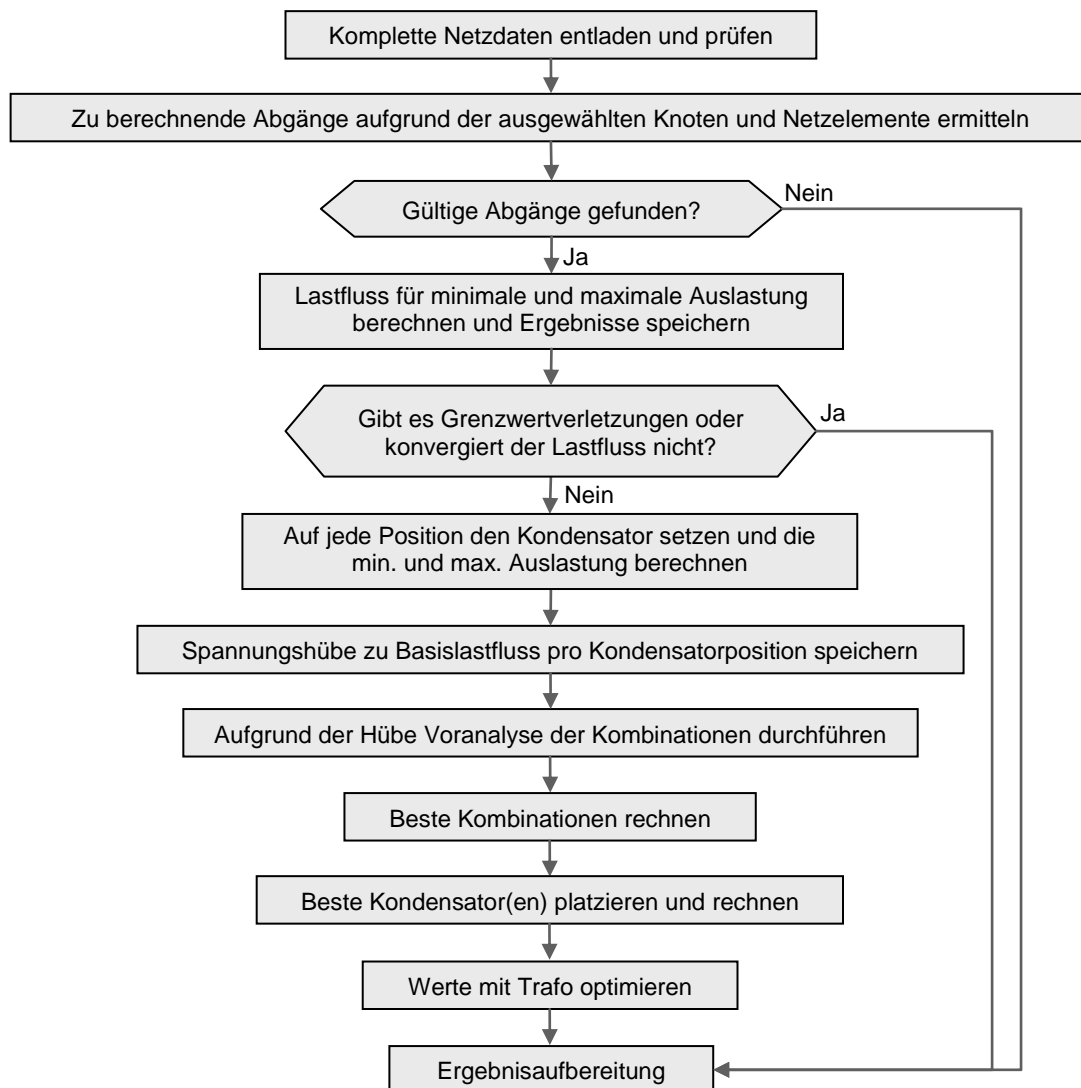


Bild: Ablaufdiagramm

7.1 Optimierverfahren VoltVar

In einem typischen Abgang wird die Spannung üblicherweise von der Einspeisestelle, also der Umspannstation, bis hin zum am weitesten entfernten Verbraucher, abfallen. Der Abfall ist von der Belastungssituation abhängig. Bei Starklast wird der Spannungsabfall größer und bei Schwachlast wird dieser kleiner sein. Der Verlauf des Leistungsfaktors im Abgang ist wesentlich abhängig vom Leistungsfaktor der einzelnen Verbraucher. Dieser wird dann umso kleiner, je mehr induktive Verbraucher vorhanden sind (dem wirken die Kabelkapazitäten allerdings etwas entgegen).

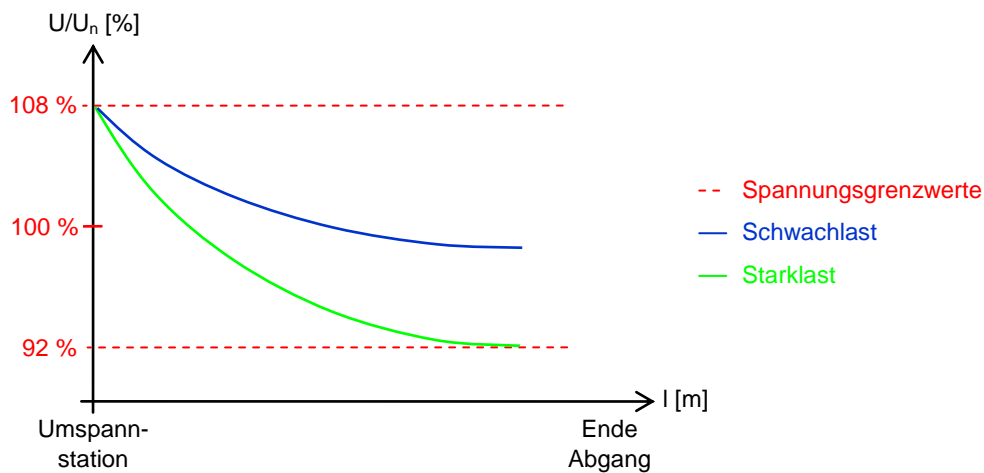


Bild: Spannungsverlauf im Abgang

Die Aufgabe der VoltVar Optimierung ist nun zu bestimmen, an welchem Punkten im Abgang Kondensatoren eingebaut werden sollen und wie die Spannungsregelung am Anfang des Abganges eingestellt werden muss. Damit soll sichergestellt werden, dass sich sowohl bei Stark- als auch bei Schwachlast die Verbraucherknöten des Abganges im zulässigen Betriebsbereich befinden.

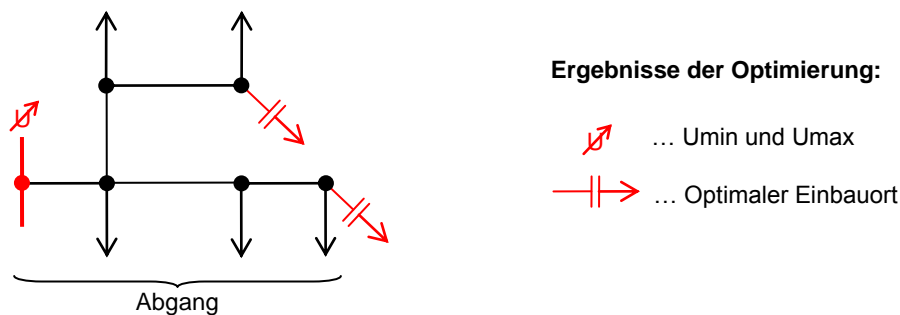


Bild: Konzept der VoltVar Optimierung

Um das Verfahren möglichst flexibel nutzbar zu machen, sind zwei unterschiedliche Optimierungen möglich:

- **Automatisch:**
Diese Methode erreicht die optimale Kompensation im Abgang. Der Anwender gibt die Nennleistung der Kondensatoren vor und wie viele maximal eingebaut werden dürfen. Die erforderliche Kompensationsleistung wird automatisch bestimmt und natürlich auch die Positionen, an denen die Kondensatoren eingebaut werden.
- **Vordefiniert:**
Dies ist eine Optimierung mit fixen Vorgaben. Der Anwender definiert, wie viele Kondensatoren eingebaut werden, und auch die Nennleistung der Kondensatoren. Das Optimierungsverfahren bestimmt dann die optimalen Einbaupositionen.

8. Optimale Netzstruktur

Die Zielsetzung dieses Optimierungsverfahrens ist die Bestimmung von optimalen Strukturen für Mittelspannungsnetze. Dabei wird ausgehend vom Stations- und Trassenmodell versucht, eine optimale Anbindung der Netzstationen an die übergeordneten Umspannstationen zu erreichen. Die Grundlage zur Strukturoptimierung sind die in modernen Netzen üblichen Betriebsformen Ring und Spange.

Praktisch gibt es unzählige Möglichkeiten, die Ringe und Spangen zur Anbindung der Netzstationen zu bestimmen. Je nach Optimierungsziel kann dann die optimale Netzstruktur unterschiedlich sein. Bei einer Greenfield-Optimierung wird beispielsweise davon ausgegangen, dass noch kein Netz vorhanden ist. D.h. die Optimierung erfolgt in Hinblick auf minimale Verluste unter Einhaltung der technischen Randbedingungen (maximale Abgangslast, maximaler Spannungsabfall usw.). Natürlich werden dabei auch die Kosten zur Errichtung dieser Netzstruktur ermittelt.

Ganz anders ist die Aufgabenstellung, wenn die Struktur eines bestehenden Netzes optimiert werden soll. In diesem Fall sind ja die Stationen bereits größtenteils angebunden. Durch entsprechende Umbaumaßnahmen soll hier eine Verbesserung der Netzstruktur erreicht werden, wobei die Kosten für diese Maßnahmen dann entsprechend bewertet werden müssen.

Wie aus dieser kurzen Einleitung schon klar wird, sind die Aufgabenstellungen sehr vielfältig und unterschiedlich. Daher werden die verschiedenen Optimierungen in Form von vordefinierten Methoden angeboten, die über entsprechende Steuerparameter konfiguriert werden können.

Derzeit sind folgende Optimierungsmethoden verfügbar:

- [Rotierender Strahl](#)
- [Beste Einsparungen](#)

Die Funktionalität der verfügbaren Optimierungsmethoden wird im Kapitel [Anwendungsbeispiel für optimale Netzstruktur](#) auf einfache Weise näher gebracht.

Grundlagen der Optimierung

Die Optimierung basiert auf dem Stations- und Trassenmodell. Über die Trassen werden alle möglichen Verbindungen der Stationen zueinander definiert. Das Stationsmodell wird verwendet, um ein vereinfachtes Abbild des Netzes zu erhalten. Die Einspeisungen werden durch Umspannstationen modelliert und die Leistungsabnehmer in untergelagerten Netzen durch Netzstationen.

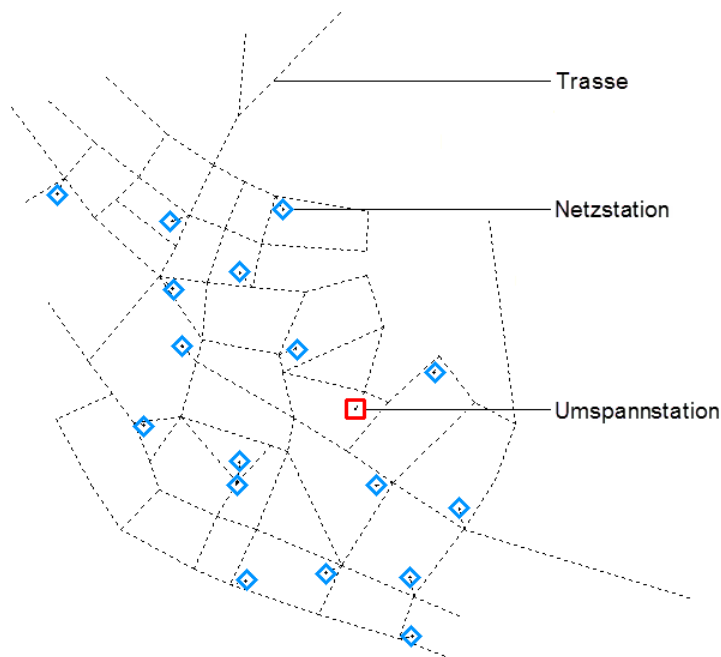


Bild: Netz mit Trassen und Stationen

Wie bereits erwähnt werden die Trassen verwendet, um alle möglichen Verbindungen der Stationen zu beschreiben. Um sinnvolle Optimierungsergebnisse zu erhalten, müssen die verfügbaren Trassen lagerichtig erfasst werden. Im Allgemeinen sind alle Straßen und Wege mögliche Trassen. Falls grafische Daten über den Trassenplan des Versorgungsgebietes zur Verfügung stehen, kann mit dessen Hilfe das Trassenmodell auch exakt erfasst werden. Anhand des geografischen Trassenverlaufs kann exakt die Länge der zu verlegenden Leitungen berechnet werden. Darüber hinaus wird den Trassen auch der Verlegungsaufwand in €/m zugeordnet. Damit kann dann auch in der Optimierung die erforderliche Kostenbewertung erfolgen.

Die Stationen werden verwendet, um Einspeisungen und Abnehmer vereinfacht zu modellieren. Den Stationen werden eine Bemessungsleistung und eine Bemessungslast zugeordnet. Dadurch können die Einspeisung und die Abnahme modelliert werden. Speziell für die Greenfield-Planung ist dies besonders wichtig, da hier ja im Normalfall das reale Netz noch gar nicht existiert. Falls das Netz bereits komplett erfasst sein sollte, dann können die Optimierungsverfahren auch die Lasten des realen Netzes berücksichtigen. Dies ist aber nur dann möglich, wenn die Netzelemente auch korrekt mit dem Stationsmodell verbunden sind. D.h. die Bemessungslast kann aus der Summe aller durch die Netzstation versorgten Lasten errechnet werden.

Begriffsdefinitionen

Umspannstation

Der Begriff Umspannstation bezeichnet im Normalfall eine Station zwischen Transport- und Verteilnetzen. Im Zuge der Optimierung kennzeichnen die Umspannstationen jene Punkte im Netz, an denen Energie in das Mittelspannungsnetz eingespeist wird. Diese Umspannstationen bilden die Grundlage für alle weiteren Optimierungsmethoden. Ausgehend von den Umspannstationen werden die optimalen Netzstrukturen gebildet.

Netzstation

Eine Netzstation kennzeichnet eine Station im Mittelspannungsnetz. Ausgehend von dieser Station werden die Verbraucher im Mittel- und Niederspannungsnetz versorgt. In der Optimierung werden Netzstationen verwendet, um jene Punkte zu definieren, an denen die Verbraucher angeschlossen werden.

Statische Optimierung

Unter der statischen Optimierung wird die Ermittlung des Ausbauzustandes des Netzes für das Ende des Planungszeitraumes verstanden, wobei alle Baumaßnahmen zu Beginn des Planungszeitraumes erfolgen. Die Verlustkosten während des Planungszeitraumes werden auf den Beginn des Planungszeitraumes abgezinst.

Dynamische Optimierung

Die dynamische Optimierung ist im Normalfall die letzte Stufe des Planungsablaufes. Diese wird im Anschluss an die statische Optimierung durchgeführt. Das eigentliche Ziel ist die Berechnung einer optimalen dynamischen Ausbaureihenfolge. Die Ausbaufolge beschreibt die Planungsschritte von Ausgangszustand zu einem vom Planer ausgewählten optimalen Endnetz. Gesucht wird der Zeitpunkt der Baumaßnahmen, mit dem der Ausgangszustand des Netzes innerhalb eines vorgegebenen Planungszeitraumes kostenoptimal in das Endnetz überführt werden kann. Erst durch die zeitliche Festlegung der Baumaßnahmen ist eine exakte Ermittlung der Barwerte der Investitionsaufwendungen und der Verluste möglich und kann für einen Vergleich von Netzvarianten herangezogen werden.

8.1 Statische Optimierungsmethoden

In diesem Kapitel werden die verschiedenen verfügbaren statischen Optimierungsmethoden dargestellt. Derzeit sind folgende Methoden verfügbar:

- [Rotierender Strahl](#)
- [Beste Einsparungen](#)

8.1.1 Voranalyse

Im ersten Schritt wird jede Netzstation einer Umspannstation zugeteilt. Dies dient als Grundlage für alle Optimierverfahren.

Die Netzstationen werden anhand einer errechneten Gewichtung zu den Umspannstationen zugeordnet. Die Gewichtung wird dabei für jede Netzstation unter Berücksichtigung des Trassenmodells bestimmt. Die maximale Leistung der Umspannstationen muss ebenfalls berücksichtigt werden.

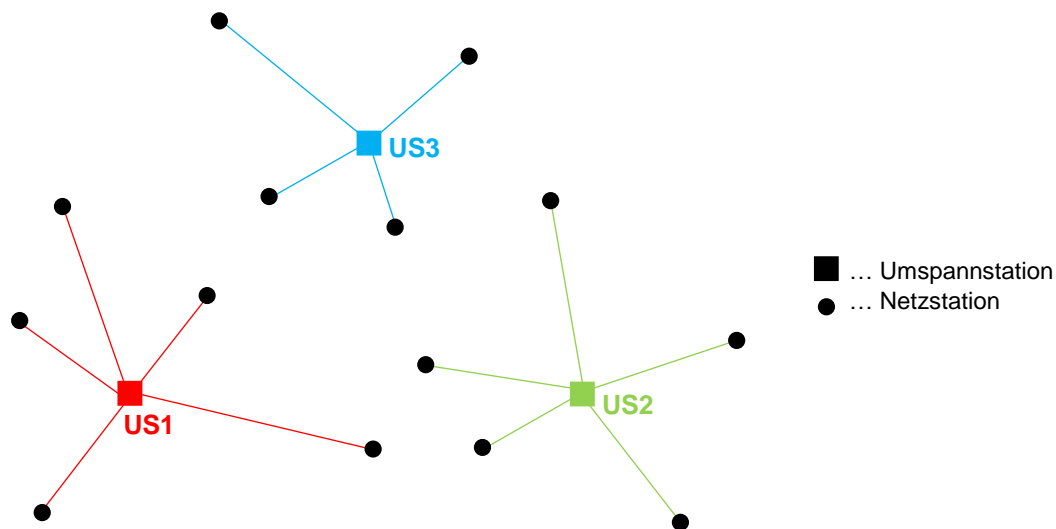


Bild: Zuordnung der Netzstationen

Im Bild ist gut ersichtlich, dass an der Umspannstation US1 eine Netzstation zugeordnet wurde, die eigentlich näher an der Umspannstation US2 liegt. Dies kann aber sowohl durch das Überschreiten des maximalen Leistungslimits der Station US2 als auch durch höhere Verlegungskosten bei den Trassen verursacht werden.

8.1.2 Rotierender Strahl

Diese statische Optimierungsmethode basiert auf dem Konzept des offen betriebenen Ringnetzes. Bei diesem Netzformkonzept liegen Anfangs- und Endpunkte der Leitungsringe in derselben Umspannstation.

Im ungestörten Betrieb wird ein Leitungsring so aufgeteilt, dass beide Ringhälften etwa gleichmäßig ausgelastet sind. Es müssen spezielle Restriktionen eingehalten werden:

- Alle Leitungsringe gehen vom Umspannwerk aus und führen dorthin zurück.
- Alle Netzstationen müssen in Leitungsringe eingebunden werden.
- Die Gesamtlast eines Ringes darf die Bemessungsleistung der Kabel/Leitungen nur in einem vorgegebenen Maß überschreiten.

Das Ausgangsnetz kann ein beliebig aufgebautes Netz sein. Das Ziel der Umstrukturierung ist ein in Bau und Betrieb kostenminimales Netz. Die Optimierungsaufgabe besteht in der Minimierung der Gesamtkosten, die sich aus den Barwerten der Verlustkosten und den Investitionsaufwendungen für den Bau neuer Leitungen zusammensetzen.

Diese Optimierungsmethode ist besonders zur Planung neuer Netzstrukturen (häufig auch als Greenfieldplanung bezeichnet) geeignet. Für den eigentlichen Ringaufbau wird eine Startlösung generiert und mit einer Nachoptimierung verbessert. Das Programm zählt zu den heuristischen Optimierungsverfahren, bei denen allerdings nicht sichergestellt werden kann, dass das absolute Kostenminimum ermittelt wird.

Prinzipieller Rechnungsablauf der Optimierungsmethode rotierender Strahl

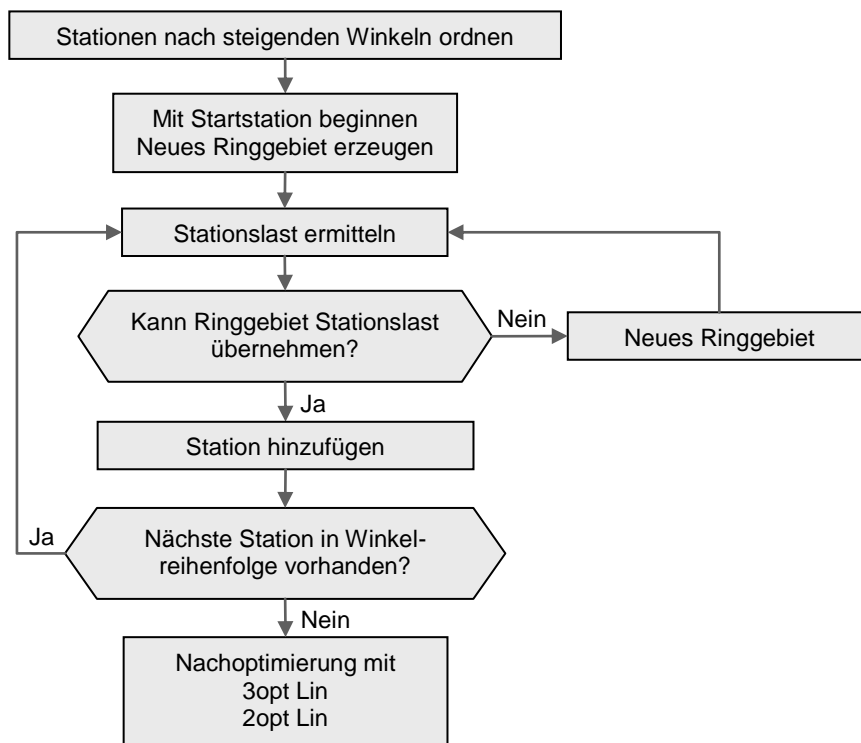


Bild: Ablaufdiagramm

Verfahrensbeschreibung

Die Optimierung läuft zweistufig ab, d.h. zuerst wird das Netzgebiet in Ringgebiete eingeteilt. Dies erfolgt durch einen rotierenden Strahl, der ausgehend von der Umspannstation das komplette Netzgebiet überstreicht. Nach der Ermittlung der Ringgebiete werden mit der Nachoptimierung die kostenoptimalen Ringe gebildet.

Einteilung in Ringgebiete

Der Ursprung des rotierenden Strahls ist die Umspannstation. Der rotierende Strahl startet mit dem Winkel 0° und überstreicht mit einer vorgegebenen Drehrichtung gegen den Uhrzeigersinn das gesamte Netzgebiet. Beim Überstreichen des Netzgebietes werden die Lasten der vom rotierenden Strahl erreichten Netzstationen aufsummiert. Beim Erreichen der Summationsgrenze (maximale Abgangsleistung) werden die Netzstationen einem Ringgebiet zugewiesen. Mit der Netzstation, bei deren Hinzunahme die maximale Abgangsleistung überschritten würde, beginnt die Einteilung für das nächste Ringgebiet von neuem. Dieser Algorithmus setzt sich fort, bis das gesamte Netz in Ringgebiete aufgeteilt worden ist.

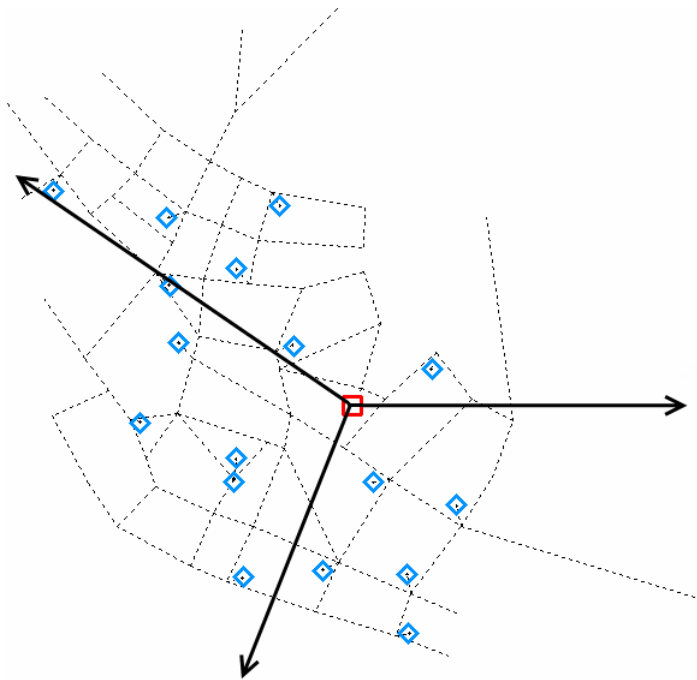


Bild: Einteilung der Stationen in Ringgebiete

Bestimmung der kostenminimalen Ringe

Nachdem der rotierende Strahl das Netz in Ringgebiete eingeteilt hat, müssen innerhalb der Ringgebiete in Bau und Betrieb kostenminimale Leitungsringe gebildet werden. Dies erfolgt für jedes Ringgebiet einzeln und unabhängig davon, welche Ringgebiete zusammen eine Einteilung bilden, da relativ häufig identische Ringgebiete in verschiedenen Einteilungen auftreten. Mehrfachrechnungen desselben Ringgebietes werden auf diese Weise vermieden.

Der eigentliche Ringaufbau wird mit zwei heuristischen Verfahren zur Lösung des Rundreiseproblems (Traveling Salesman Problem) durchgeführt, die zur Berücksichtigung der Verluste entsprechend erweitert wurden. Durch ein [Eröffnungsverfahren](#) wird eine Startlösung bestimmt. Anschließend wird eine Verbesserung der Startlösung durch einen [Nachoptimierungsalgorithmus](#) gesucht. Da die Ringbildung durch heuristische Verfahren erfolgt, kann allerdings nicht garantiert werden, dass eine optimale Lösung gefunden wird.

Das folgende Bild zeigt das Ergebnis dieser Optimierungsmethode. Die Netzzustationen wurden mit drei Ringen generiert an die Umspannstation angebunden. Die Anzahl der Ringe ist natürlich von den gewählten Steuerparametern abhängig, d.h. bei einer kleineren zulässigen Abgangsleistung würden mehrere Ringe generiert werden.

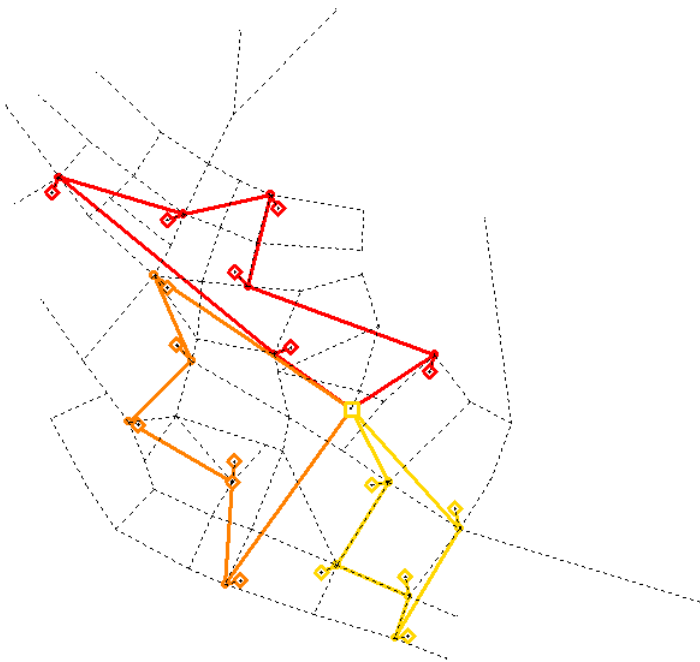


Bild: Vom rotierenden Strahl generierte Ringe (vereinfachte Darstellung)

8.1.3 Beste Einsparungen

Diese statische Optimierungsmethode basiert auf dem Konzept des offen betriebenen Ringnetzes. Bei diesem Netzformkonzept liegen Anfangs- und Endpunkte der Leitungsringe in derselben Umspannstation.

Im ungestörten Betrieb wird ein Leitungsring so aufgeteilt, dass beide Ringhälften etwa gleichmäßig ausgelastet sind. Es müssen spezielle Restriktionen eingehalten werden:

- Alle Leitungsringe gehen vom Umspannwerk aus und führen dorthin zurück.
- Alle Netzstationen müssen in Leitungsringe eingebunden werden.
- Die Gesamtlast eines Ringes darf die Bemessungsleistung der Kabel/Leitungen nur in einem vorgegebenen Maß überschreiten.

Das Ausgangsnetz kann ein beliebig aufgebautes Netz sein. Das Ziel der Umstrukturierung ist ein in Bau und Betrieb kostenminimales Netz. Die Optimierungsaufgabe besteht in der Minimierung der Gesamtkosten, die sich aus den Barwerten der Verlustkosten und den Investitionsaufwendungen für den Bau neuer Leitungen zusammensetzen.

Für den eigentlichen Ringaufbau wird eine Startlösung generiert und mit einem Nachoptimierungsalgorithmus verbessert.

Prinzipieller Rechnungsablauf der Optimierungsmethode beste Einsparungen

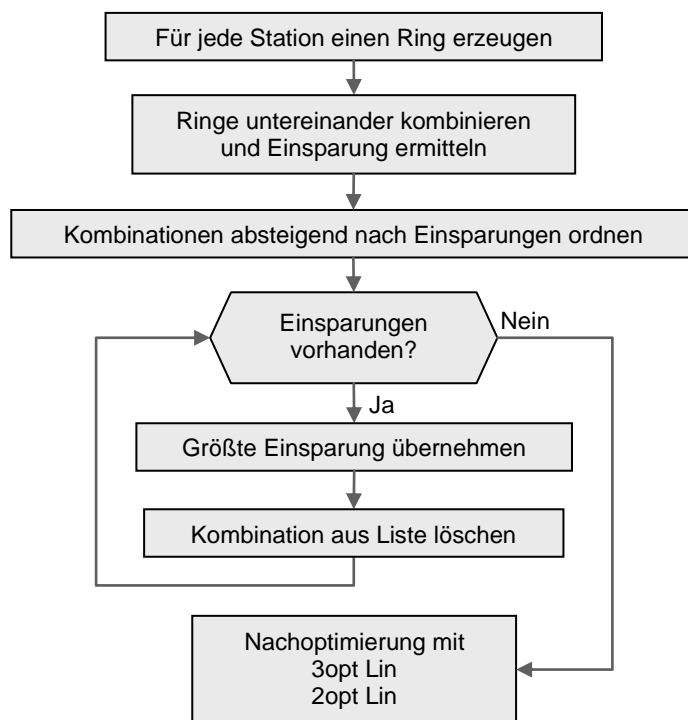


Bild: Ablaufdiagramm

Verfahrensbeschreibung

Einteilung der Stationen in Ringgebiete

Die Einteilung der Stationen in Ringgebiete erfolgt nach dem Kriterium der größten Investitionskosteneinsparung, daher wird diese Optimierungsmethode auch als "Beste Einsparungen" bezeichnet.

Bei der Einteilung der Stationen in Ringgebiete wird für jede Netzstation ein Ring zur nächsten Umspannstation generiert. Die daraus entstehende Ringstruktur wird bewertet. Im ersten Schritt entspricht die Ringstruktur einem Stern.

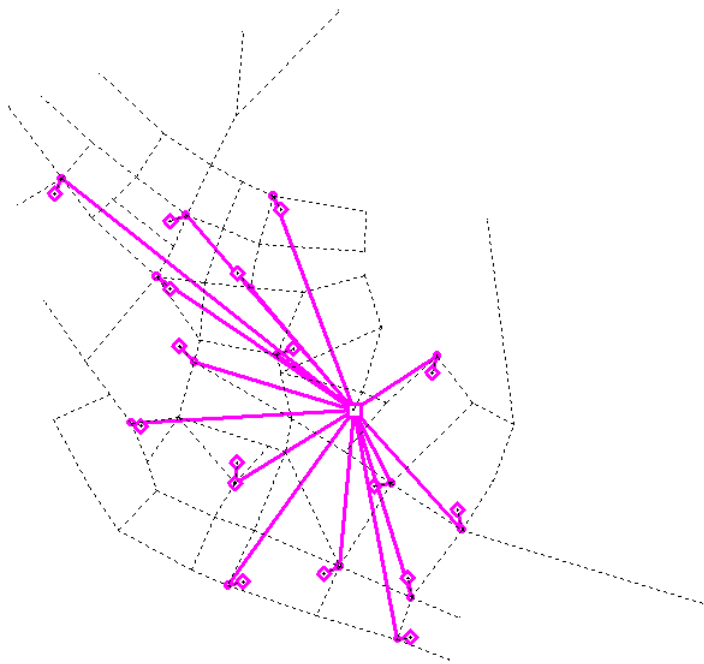


Bild: Ringgebiete – erster Schritt

Im zweiten Schritt werden die Ringe untereinander kombiniert und ebenfalls bewertet. Die sich daraus ergebende Differenz zwischen den beiden Einzelbewertungen und der kombinierten Bewertung wird als Einsparung bezeichnet.

Aus der Liste der bewerteten Kombinationen wird jene ausgewählt, die die besten Einsparungen bringt. Diese wird als neuer Ring in die Kombinationsliste eingefügt und die beiden Einzelbewertungen aus den Kombinationsmöglichkeiten entfernt.

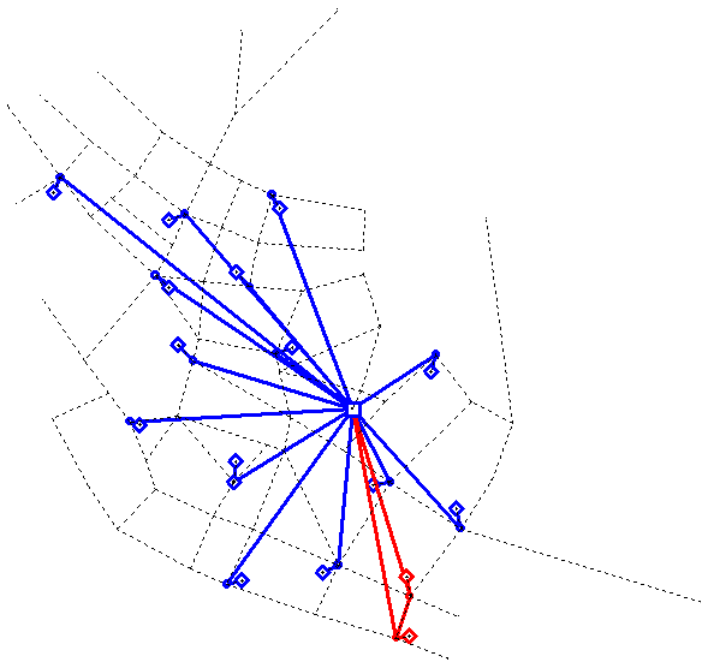


Bild: Ringgebiete – Zwischenschritt

Solange es Einsparungen in der Liste der Kombinationen gibt, wird dieser Schritt wiederholt.

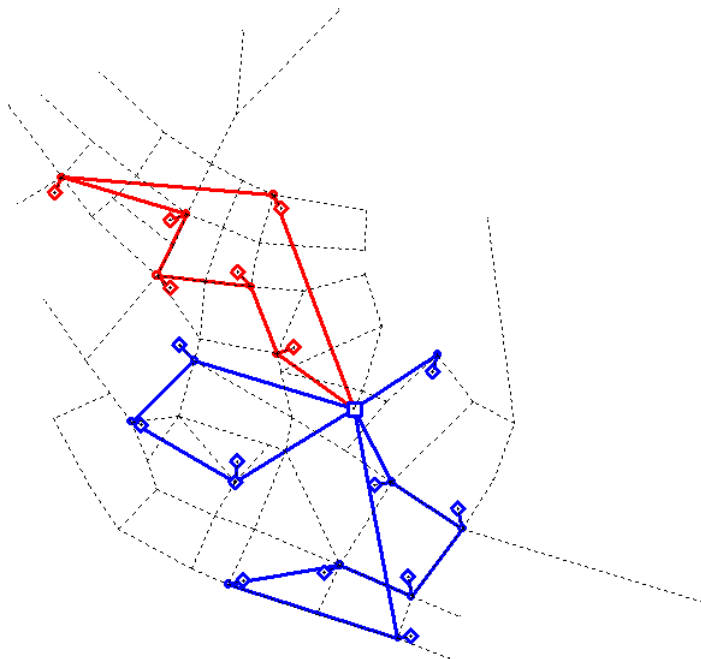


Bild: Ringgebiete – Endschritt

Anschließend wird eine Verbesserung der Startlösung durch einen [Nachoptimierungsalgorithmus](#) gesucht. Da die Ringbildung durch heuristische Verfahren erfolgt, kann allerdings nicht garantiert werden, dass eine optimale Lösung gefunden wird.

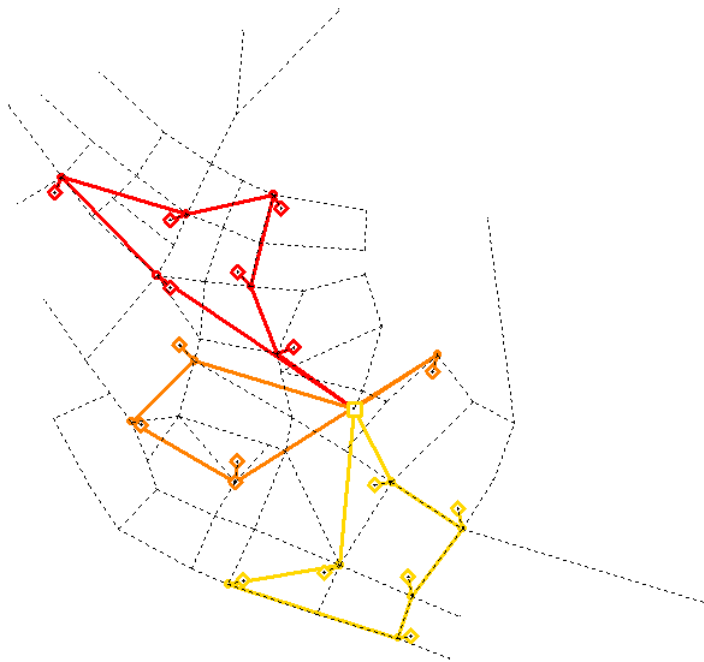


Bild: Ringgebiete – Endergebnis nach Nachoptimierung

8.2 Nachoptimierung

Diese Nachoptimierung wird im Normalfall im Anschluss an das Eröffnungsverfahren durchgeführt, um eine Verbesserung der Ringstruktur zu erreichen. Hierbei wird versucht, durch Änderung der Stationsreihenfolge eine Verbesserung der Ringbewertung zu erreichen.

8.2.1 Zwei-Optimalen Methode nach Lin

Die Zwei-Optimalen Methode nach Lin ist ein heuristisches Verfahren. Die Grundidee besteht darin, 2 Verbindungen aus einem gegebenen Ring zu entfernen und gegen 2 neue Verbindungen auszutauschen, sodass sich wieder ein Ring ergibt. Ist der neue Ring besser als der alte, wird dieser als neue Lösung verwendet. Dies wird so lange wiederholt, bis sich keine Verbesserung mehr einstellt.

8.2.2 Drei-Optimalen Methode nach Lin

Die Drei-Optimalen Methode nach Lin ist ein heuristisches Verfahren. Die Grundidee besteht darin, 3 Verbindungen aus einem gegebenen Ring zu entfernen und gegen 3 neue Verbindungen auszutauschen, sodass sich wieder ein Ring ergibt. Ist der neue Ring besser als der alte, wird dieser als neue Lösung verwendet. Dies wird so lange wiederholt, bis sich keine Verbesserung mehr einstellt.

Es ist im Prinzip nur ein Heraustrennen einer Kette und ein Wiedereinsetzen dieser Kette an einer anderen Stelle.

8.2.3 Tausch von Stationen zwischen Ringpaaren

Durch die Einbeziehung von während des Ringaufbaus aufgetrennten Leitungen durch Tausch von Stationen zwischen den Ringen können die Kosten der Planungsvariante gesenkt werden und es ermöglicht zusätzlich die geografische Überlappung von Ringen.

Im ersten Schritt werden nahe beieinander liegende Ringe ermittelt. Durch einen Suchradius ergeben sich aus den benachbarten Stationen potentielle Tauschkandidaten. Danach wird ermittelt, ob ein Tausch der zwei Stationen zu einer Kosteneinsparung führt. Ist dies der Fall, so wird der Tausch durchgeführt. Danach werden die restlichen Stationen überprüft. Es kann vorkommen, dass in einem Ring mehrere Stationen auf einmal getauscht werden.

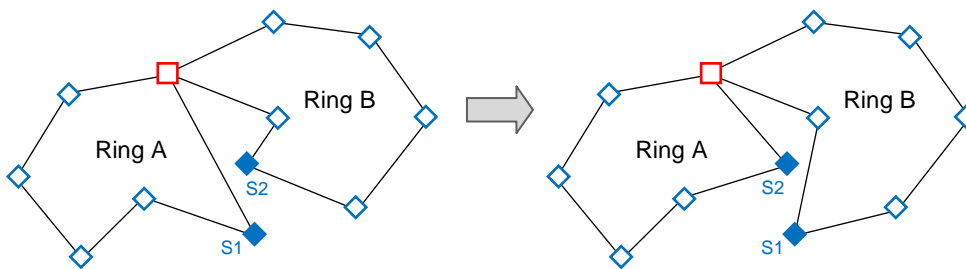


Bild: Tausch von Stationen zwischen Ring A und Ring B

In diesem Bild wurde die Station S1 aus dem Ring A mit der Station S2 aus dem Ring B getauscht, d.h. S1 befindet sich nun im Ring B und S2 in Ring A.

8.2.4 Verschieben von Stationen zwischen Ringpaaren

Das Verschieben von Stationen erfolgt auf die gleiche Weise wie der [Tausch von Stationen zwischen Ringpaaren](#). Es wird versucht, eine Station in einen benachbarten Ring zu verschieben. Dabei darf die Stationslast eines Ringgebietes nicht überschritten werden.

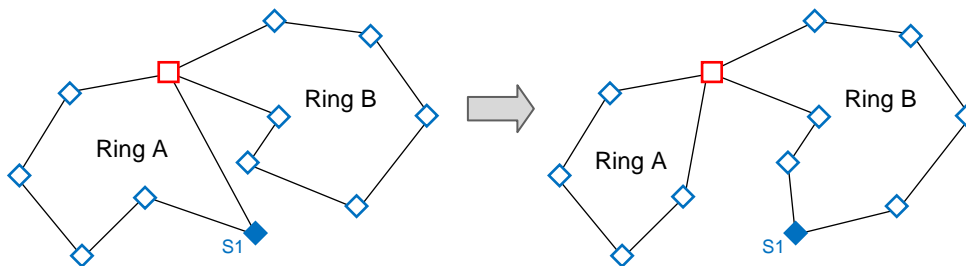


Bild: Verschieben der Station S1 von Ring A nach Ring B

In diesem Bild wurde die Station S1 vom Ring A in den Ring B geschoben.

8.2.5 Spangenbildung

Eine Spange ist eine Leitung, die zwischen zwei Umspannstationen verläuft, d.h. Anfangs- und Endpunkt sind nicht ident. Durch Verlegung einer Spange wird die Ausfallsicherheit erhöht.

Sowohl das Optimierungsverfahren rotierender Strahl als auch das Optimierungsverfahren beste Einsparungen sind primär nur auf die Generierung von Ringen ausgelegt. Dies ergibt sich aus der Notwendigkeit, die passende Anzahl von Netzstationen kostengünstig an eine Umspannstation anzubinden (unter Berücksichtigung von Trassenmodell und Stationsleistungen). Das Generieren von Spangen wird daher im Zuge der Nachoptimierung durchgeführt.

Die Bildung von Spangen wird in den Parametern für die optimale Netzstruktur aktiviert. Die folgenden zwei Optionen sind verfügbar:

- **Spangen bilden:**
Hierbei wird mit einem speziellen Nachoptimierungsverfahren versucht, die bestehende Ringstruktur in Spangen umzuwandeln, sofern dies ein besseres Optimierungsergebnis liefert.
- **Vordefinierte Spangen berücksichtigen:**
Mit dieser Option wird die Generierung von Spangen zwischen vordefinierten Umspannstationen erzwungen. Die Spangen werden dabei so erzeugt, dass ein möglichst optimales Optimierungsergebnis entsteht.

Funktionsweise der automatischen Spangenbildung

Für die Spangenbildung werden zwei nebeneinander liegende Ringe von unterschiedlichen Umspannstationen gesucht. Die Ringe werden in der Mitte zerteilt und in zwei Spangen umgewandelt. Dabei muss eine Umspannstation die Stationslasten einer kompletten Spange aufnehmen können.

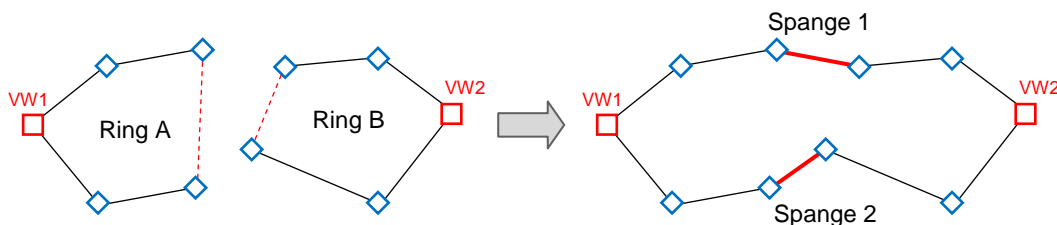


Bild: Umwandlung von zwei Ringen in zwei Spangen

In diesem Bild wurden die Ringe A und B geteilt und die Station S1 vom Ring A in den Ring B geschoben.

8.3 Generieren der Netzstruktur

Diese Funktion bietet die Möglichkeit, eine vollständige Netzstruktur aus den gewählten Ergebnissen der Optimierung zu erzeugen. Dies ist die Grundlage dafür, dass das neue "optimale" Netz mit den Simulationsverfahren wie Lastfluss, Kurschluss, Ausfallanalyse usw. detailliert untersucht werden kann.

Für das neu zu generierende Netz wird in den Berechnungsmethoden eine neue Variante erzeugt. Dies ist eine Untervariante der aktuell aktiven Variante. In dieser neuen Variante werden zuerst alle Leitungen, die Trassen zugeordnet sind, gelöscht. Nach dem Löschen bleibt ein Restnetz übrig. Dies besteht aus allen Netzelementen ohne Trassenzuordnung und natürlich auch aus dem Trassenmodell.

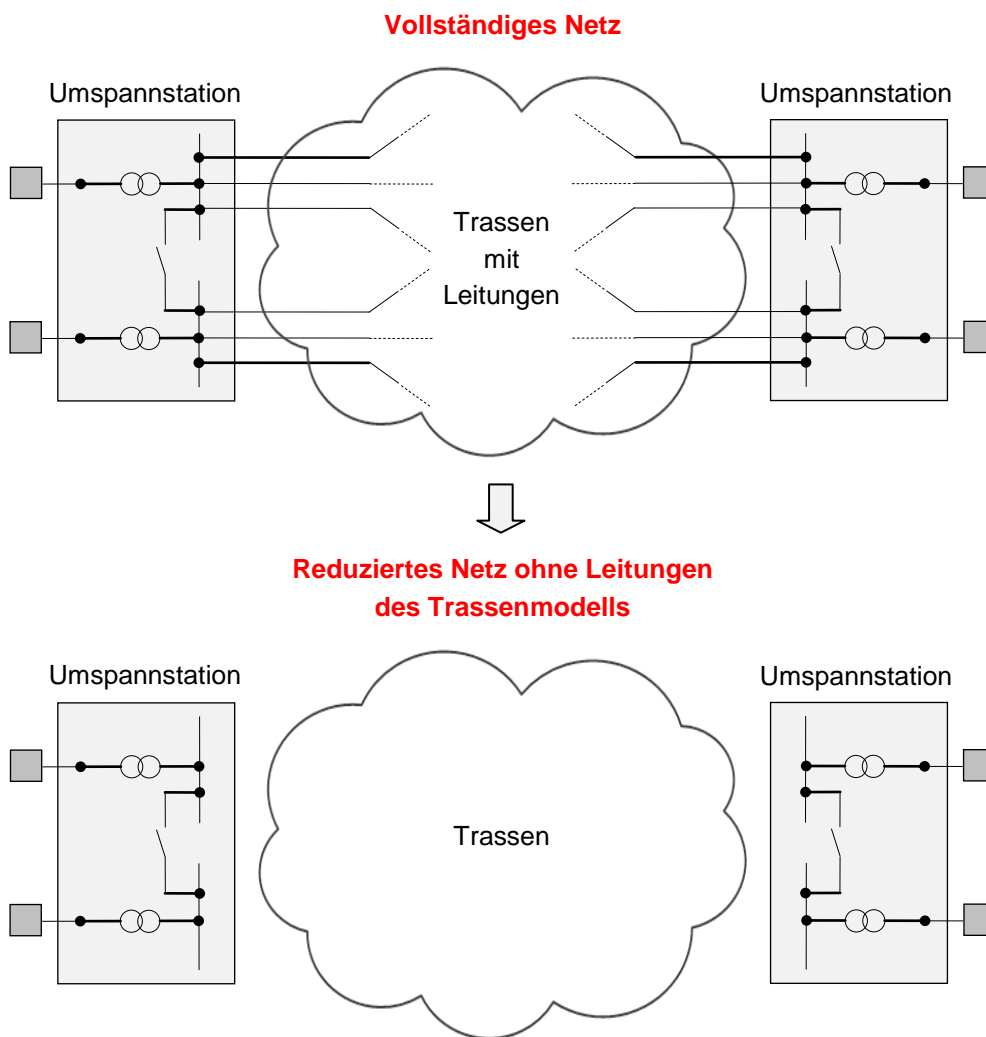


Bild: Ursprüngliches Netz und Variante ohne Trassen

Im nächsten Schritt wird nun in der Variante das trassenbasierende Netzmodell neu aufgebaut. Dazu werden die Optimierungsergebnisse verwendet. Die Leitungen werden komplett generiert, d.h. sowohl die Netzdaten als auch die Grafikdaten werden erzeugt und die Verbindung mit dem Trassenmodell wird hergestellt.

Abhängig vom Ausgangszustand wird das Netz unterschiedlich generiert. Hierbei wird zwischen folgenden Ausgangssituationen unterschieden:

- **Greenfieldplanung:**
Es ist kein Netzmodell vorhanden. Die Einspeisungen und Lasten werden stationsbezogen erzeugt.
- **Vereinfachtes Stationsmodell:**
Das Netzmodell besitzt typisierte Knoten und Stationen. Hierbei werden die erzeugten Leitungen an die bestehenden Knoten innerhalb der Station angeschlossen.
- **Detailliertes Stationsmodell:**
Das Netzmodell besteht aus typisierten Knoten, Stationen und Leitungen. Hierbei wird versucht, die erzeugten Leitungen an die jeweiligen Stationsknoten wieder anzuschließen.

All diese Ausgangssituationen werden auch in Kombination zueinander berücksichtigt, um am Ende der Generierung der Netzstruktur ein rechenbares Netz bereitzustellen.

Die Generierung der Netzstruktur ist im [Anwendungsbeispiel für Optimale Netzstruktur](#) im Kapitel [Netzstruktur erzeugen](#) genau beschrieben.

9. Anwendungsbeispiele

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

- Ermittlung der optimalen Trennstellen
- Kompensationsleistung
- Kondensatorplatzierung
- Lastsymmetrierung
- Optimale Netzstruktur

9.1 Anwendungsbeispiel für Optimale Trennstellen

Im Folgenden soll die **Ermittlung der optimalen Trennstellen** anhand eines einfachen Anwendungsbeispieles dargestellt werden. In den Beschreibungen werden

- das Voreinstellen der Berechnungsparameter,
- das Ermitteln der optimalen Trennstellen sowie
- das Darstellen und Auswerten der Ergebnisse

dargestellt.

Grundlagen

Alle Beschreibungen basieren auf folgendem Netz.

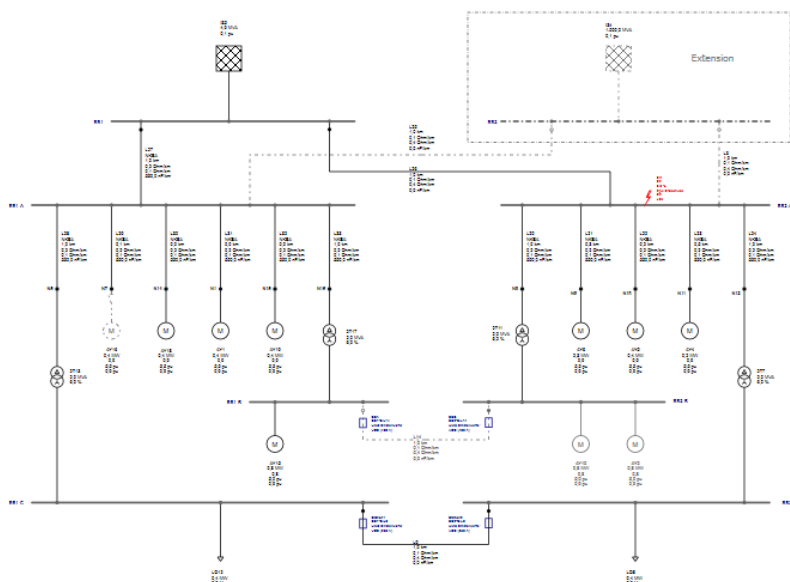


Bild: Beispielsnetz mit Eingabedaten

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

Voraussetzung für die optimale Trennstellensuche ist, dass der Punkt **Optimierung** im Menü **Berechnen – Methoden** (siehe Handbuch Bedienung, Kapitel Benutzeroberfläche, Abschnitt Voreinstellen der Berechnungsmethoden) aktiviert ist.

9.1.1 Voreinstellen der Berechnungsparameter

Globale Berechnungsparameter

In den globalen Berechnungsparametern kann das Optimierungsverfahren zur Bestimmung der Trennstellen konfiguriert werden. Die Maske zum Einstellen der Berechnungsparameter wird über den Menüpunkt **Berechnen – Parameter** aufgerufen.

Berechnungsparameter

Sicherungsüberprüfung Schutzkoordination Schutzeinstellwerte

Basisdaten Lastfluss Lastfluss erw. Optimierung Kurzschluss

Optimierender Lastfluss

Simulationsverfahren: **Gradientenverfahren**

Iterationen pro Lastfluss: 25 Anz. äuß. Iterationsschritte: 3,0 3,0

Generatorspannungen f1: 100,0 Generatorspannungen g1: 100,0

Generatorleistungen f2: 1,0 Generatorleistungen g2: 1,0

Trafospannungen f3: 10,0 Traforegelstufe g3: 10,0

Knotenspannungen f4: 10,0

Optimale Trennstellen

Lastfluss nach Schalthandlung: **Nein**

Schaltzustand ignorieren: **Nein**

OK Abbrechen

Bild: Datenmaske Berechnungsparameter – Optimierungen

Für das Optimieren der Trennstellen kann mit dem Feld **Lastfluss nach Schalthandlung** konfiguriert werden, ob nach jedem Öffnen einer Trennstelle eine Lastflussberechnung durchgeführt wird. Ist diese Option aktiv, so dauert die Ermittlung der Trennstellen länger, aber das Ergebnis entspricht besser dem idealen unvermaschten Schaltzustand des Netzes. Hierbei sind folgende Optionen verfügbar:

- **Nein:**
Es wird keine Lastflussberechnung durchgeführt.
- **Ja – ohne Grenzwertprüfung:**
Eine Lastflussberechnung wird durchgeführt, aber die Verletzung von Grenzwerten wird nicht überprüft.
- **Ja – mit Grenzwertprüfung:**
Eine Lastflussberechnung wird durchgeführt und die Verletzung der Grenzwerte wird überprüft. Bei Grenzwertverletzungen wird die geöffnete Trennstelle wieder geschlossen.

Die Option **Schaltzustand ignorieren** bewirkt, dass bei Ermittlung der Trennstellen alle im Netz geöffneten Schalter als geschlossen betrachtet werden. D.h. damit wird der aktuelle Schaltzustand des Netzes nicht berücksichtigt und ein vermaschtes Netz als Ausgangszustand für die Trennstellenermittlung verwendet. Das Schließen der Schalter bezieht sich nur auf jene Trennstellen, die an Zweigelementen (Leitungen, Transformatoren, etc.) gesetzt sind. Abgeschaltete Einspeisungen und Verbraucher sind von dieser Option nicht betroffen.

Aktivieren der Trennstellen über Netzebenen

Die Ermittlung der Trennstellen wird über die Netzebenen gesteuert. Hierzu wird die Maske **Netzebene** über den Menüpunkt **Einfügen – Netzebene** geöffnet.

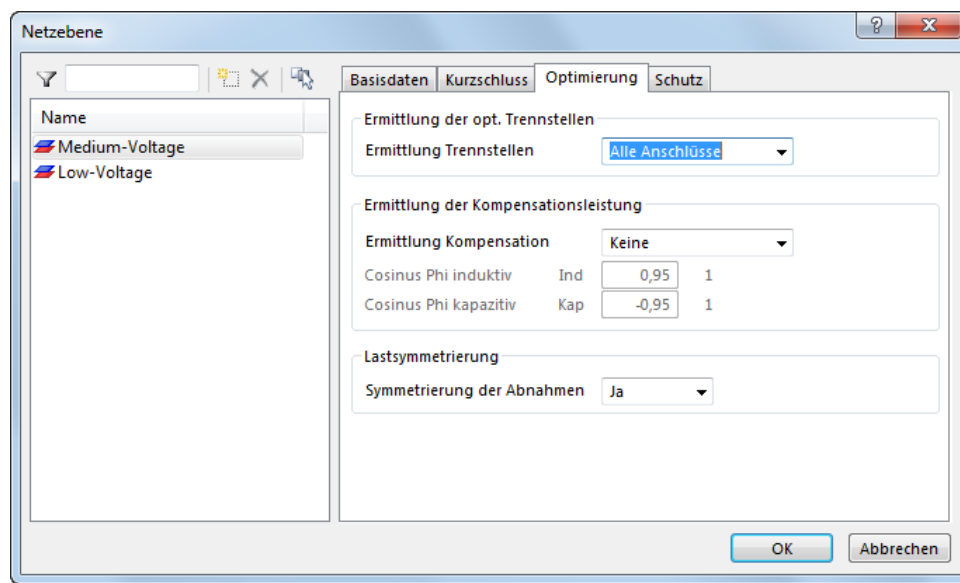


Bild: Datenmaske Netzebene – Optimierungen

Über das Feld **Ermittlung Trennstellen** kann parametrisiert werden, ob und wie eine Trennstellenoptimierung für die gewählte Netzebene durchgeführt wird:

- **Keine:**
Für diese Netzebene wird keine Ermittlung der optimalen Trennstellen durchgeführt.
- **Alle Anschlüsse:**
Diese Option bewirkt, dass die Trennstellen für die Anschlüsse aller Netzelemente ermittelt werden.
- **Nur physikalische Schalter:**
Mit dieser Option werden die Trennstellen nur an jenen Netzelementanschlüssen ermittelt, an denen tatsächlich physikalische Schalter vorhanden sind. Ein physikalischer Schalter wird wahlweise durch das Attribut "physikalische Schalter" im Anschluss gekennzeichnet oder durch den Einbau eines Schalters.

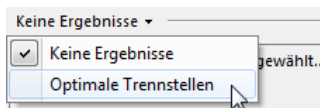
9.1.2 Ermitteln der Optimalen Trennstellen

Das Ermitteln der optimalen Trennstellen wird über den Menüpunkt **Berechnen – Optimierung – Optimierung Trennstellen** gestartet.

9.1.3 Darstellen und Auswerten der Ergebnisse

Wenn die Ermittlung der optimalen Trennstellen fehlerfrei durchgeführt werden kann und Trennstellen bestimmt wurden, dann wird nach dem Abschluss der Berechnung automatisch das Ergebnisfenster für die **Optimale Trennstellen** angezeigt.

Das Ergebnisfenster kann auch später über den Menüpunkt **Ansicht – Ergebnisbrowser** oder **Berechnen – Ergebnisse – Optimale Trennstellen** geöffnet werden. Mit Hilfe des Auswahlfeldes wird die Ergebnisdarstellung für die **Optimalen Trennstellen** aktiviert.



Durch diese Auswahl werden die letzten Ergebnisse geladen und im Ergebnisfenster bereitgestellt.

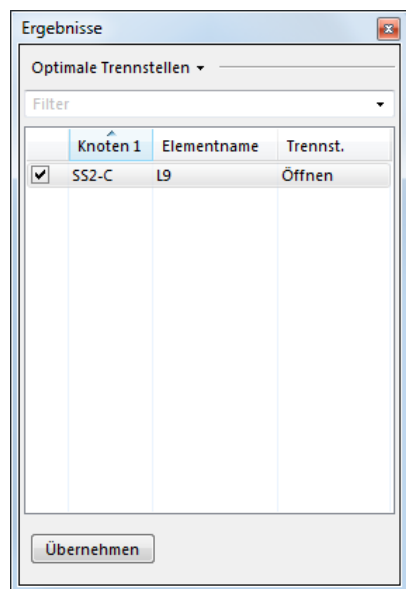


Bild: Ergebnisfenster für Optimale Trennstellen

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.

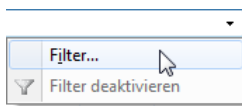


Bild: Menü zur Auswahl der Darstellung

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 ermittelten Trennstellen dargestellt. Hierbei werden das zu schaltende Netzelement und der dem Anschluss zugeordnete Knoten visualisiert. Außerdem wird in der Liste angezeigt, ob die Trennstelle für das jeweilige Netzelement geöffnet oder geschlossen wird.

Über das Kontextmenü sind erweiterte Bearbeitungsfunktionen verfügbar.

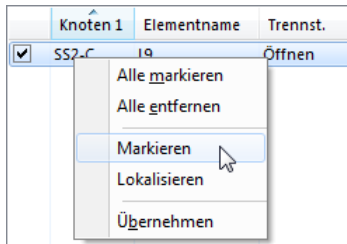


Bild: Kontextmenü der Trennstelle

- **Alle markieren:**
Alle Trennstellen 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 Trennstellen werden in das Netz übernommen.

Durch Klicken des Knopfes **Übernehmen** im Ergebnisdialog werden die Trennstellen, welche in der Liste markiert sind, in das Netz übernommen.

9.2 Anwendungsbeispiel für Ermittlung der Kompensationsleistung

Im Folgenden soll die **Ermittlung der Kompensationsleistung** anhand eines einfachen Anwendungsbeispielles dargestellt werden. In den Beschreibungen werden

- das Voreinstellen der Berechnungsparameter,
- das Ermitteln der Kompensationsleistung sowie
- das Darstellen und Auswerten der Ergebnisse

dargestellt.

Grundlagen

Alle Beschreibungen basieren auf folgendem Netz.

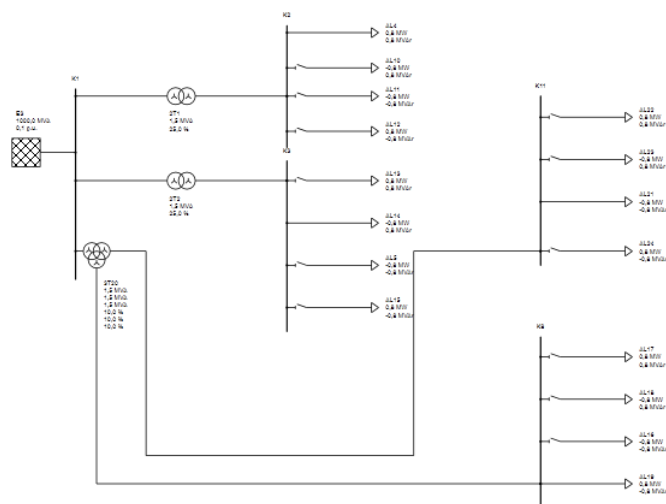


Bild: Kompensationsnetz mit Eingabedaten

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

Voraussetzung für die Kompensationsleistungsermittlung ist, dass der Punkt **Optimierung** im Menü **Berechnen – Methoden** (siehe Handbuch Bedienung, Kapitel Benutzeroberfläche, Abschnitt Voreinstellen der Berechnungsmethoden) aktiviert ist.

9.2.1 Voreinstellen der Berechnungsparameter

Die erforderliche Kompensationsleistung wird an den Trafounterspannungsknoten ermittelt. Diese Ermittlung kann über Parameter in der Netzebene gesteuert werden. Hierzu wird die Maske **Netzebene** über den Menüpunkt **Einfügen – Netzebene** geöffnet.

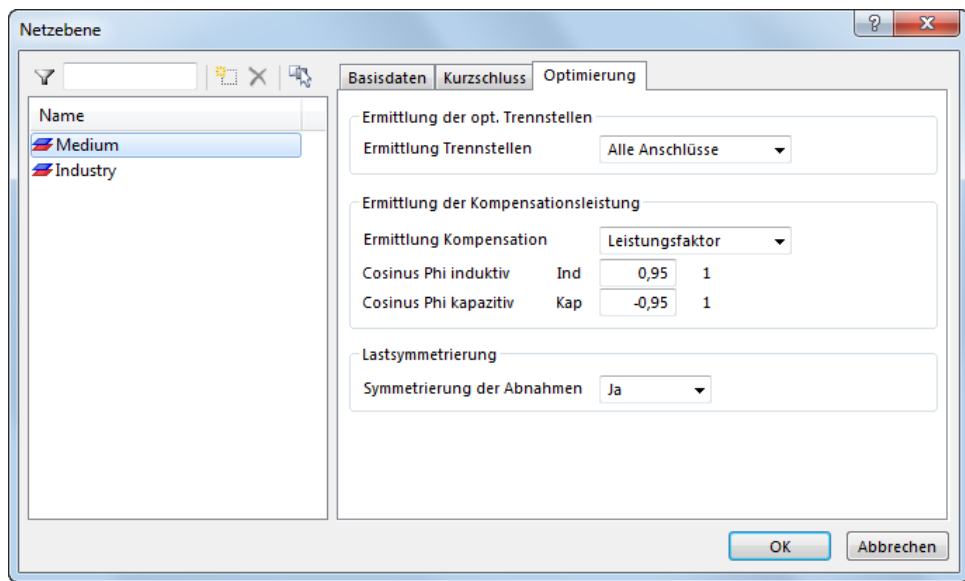


Bild: Datenmaske Netzebene – Optimierung

Im Register **Optimierung** kann die Berechnung der Kompensationsleistung über das Feld **Ermittlung Kompensationsleistung** gesteuert werden. Es kann zwischen folgenden Optionen gewählt werden:

- **Keine:**
Für diese Netzebene wird keine Ermittlung der Kompensationsleistung durchgeführt.
- **Leistungsfaktor:**
Mit dieser Option werden die Transformatoren anhand der schlechtesten Leistungsfaktoren zur Bestimmung der Kompensationsleistung herangezogen.

Die Zielfunktion der Kompensationsleistungsermittlung ist immer ein möglichst geringer Blindleistungsanteil in der Netzebene.

Der **Cosinus Phi induktiv** und der **Cosinus Phi kapazitiv** geben die Grenzen für die maximale Kompensationsleistung vor.

Achtung: Zur Ermittlung der Kompensationsleistung sind optionale Eingabedaten erforderlich, die im Normalfall nicht angezeigt werden. Über den Menüpunkt **Berechnen – Methoden** muss die Option **Optimierungen** aktiviert werden.

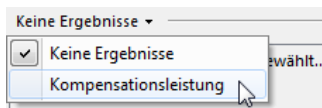
9.2.2 Ermitteln der Kompensationsleistung

Die Ermittlung der Kompensationsleistung wird über den Menüpunkt **Berechnen – Optimierung – Kompensationsleistung** gestartet.

9.2.3 Darstellen und Auswerten der Ergebnisse

Wenn die Ermittlung der Kompensationsleistung fehlerfrei durchgeführt werden kann und Kompensationsbedarf im Netz vorhanden ist, dann wird nach dem Abschluss der Berechnung automatisch das Ergebnisfenster für die **Kompensationsleistung** angezeigt.

Das Ergebnisfenster kann auch später über den Menüpunkt **Ansicht – Ergebnisbrowser** oder **Berechnen – Ergebnisse – Kompensationsleistung** geöffnet werden. Mit Hilfe des Auswahlfeldes wird die Ergebnisdarstellung für die **Kompensationsleistung** aktiviert.



Durch diese Auswahl werden die letzten Ergebnisse geladen und im Ergebnisfenster bereitgestellt.

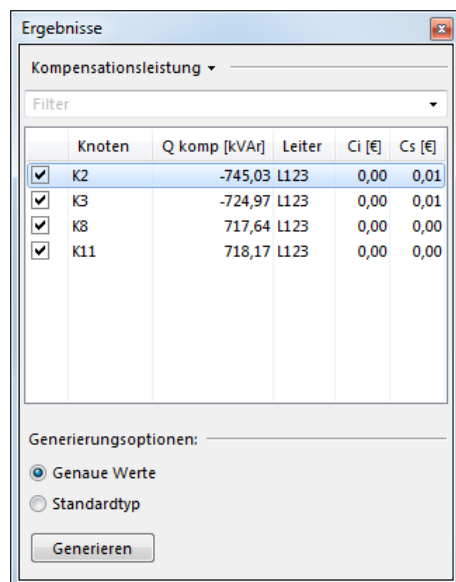


Bild: Ergebnisfenster für die Kompensationsleistung

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.

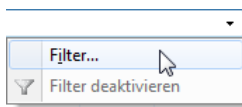


Bild: Menü zur Auswahl der Darstellung

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 dieser Liste werden alle Trafounterspannungsknoten bzw. -sammelschienen aufgelistet, an denen eine Leistungskompensation erforderlich ist. Anhand des Vorzeichens von Q komp kann festgestellt werden, ob induktive ($> \text{Null}$) oder kapazitive ($< \text{Null}$) Kompensationsleistung benötigt wird.

Über das Kontextmenü sind erweiterte Bearbeitungsfunktionen verfügbar.

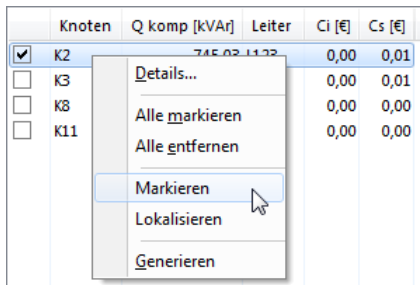


Bild: Kontextmenü der Knoten und Sammelschienen

- **Details:**
Die ausgewählten Ergebnisse werden in einer Datenmaske dargestellt.
- **Alle markieren:**
Alle Knoten 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.
- **Generieren:**
Die Kompensationselemente für alle markierten Knoten werden im Netz erzeugt.

Im Abschnitt **Generierungsoptionen** kann gesteuert werden, ob die Kompensationselemente direkt (also genau mit dem erforderlichen Kompensationswert) oder unter Berücksichtigung der Standardtypen erfolgen soll.

Durch Drücken des Knopfes **Generieren** werden die Kompensationselemente erzeugt.

Automatisches Generieren von Kompensationselementen

Das automatische Generieren von Kompensationselementen erfolgt über das Ergebnisfenster **Kompensationsleistung**.

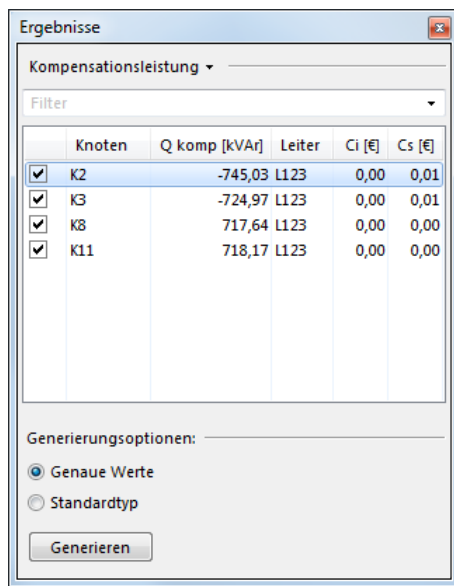


Bild: Ergebnisfenster für die Kompensationsleistung

Im diesem Fenster müssen alle jene Elemente markiert werden, an denen die Kompensationselemente erzeugt werden sollen. Dies kann durch einzelnes Anklicken der Listenelemente oder durch Klicken des Menüpunktes **Alle markieren** im Kontextmenü definiert werden.

Über die **Generierungsoptionen** kann gesteuert werden, ob die Kompensationselemente direkt (also genau mit dem erforderlichen Kompensationswert) oder unter Berücksichtigung der Standardtypen erfolgen soll.

Ist die Option **Standardtyp** aktiv, dann werden lokale und globale Standardtypdatenbanken nach passenden Kompensationselementen (Querdrosseln und Querkondensatoren) durchsucht. Wenn in den Standardtypdatenbanken kein Kompensationselement mit passender Kompensationsleistung vorhanden ist, dann werden mehrere Kompensationselemente generiert, um so die geforderte Kompensationsleistung zu erreichen.

Das Generieren der Kompensationselemente wird durch Drücken des Knopfes **Generieren** gestartet. Die Kompensationselemente werden automatisch im Netz erzeugt. Im folgenden Beispiel sind dies an den Sammelschienen K2 und K3 je zwei Querkondensatoren zur Kompensation von induktiver Blindleistung:

- **K2** $Q_{\text{komp}} = 745,03 \text{ kvar}$
- **K3** $Q_{\text{komp}} = 724,97 \text{ kvar}$

An den Sammelschienen K8 und K11 wurden zwei Querdrosseln zur Kompensation von kapazitiver Blindleistung generiert:

- **K8** $Q_{\text{komp}} = 717,64 \text{ kvar}$
- **K11** $Q_{\text{komp}} = 718,17 \text{ kvar}$

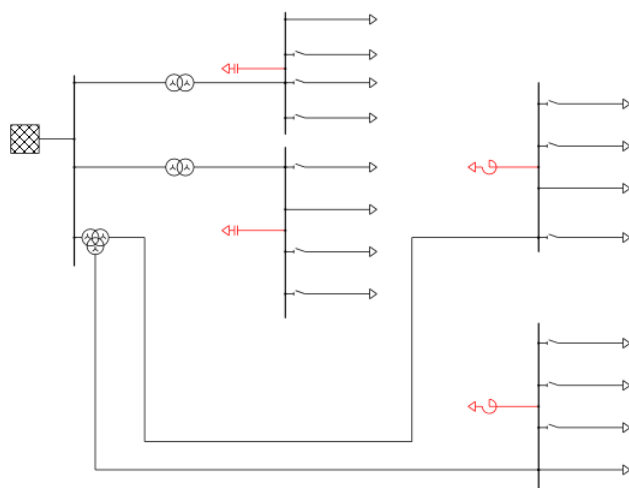


Bild: Netz mit erzeugten Kompensationselementen

Generieren von Kompensationselementen mit Berücksichtigung der Standardtypdatenbank

Voraussetzung für diese Generierungsart ist, dass entsprechende Standardelemente (also Querkondensator und Querdrossel) in der lokalen bzw. globalen Standardtypdatenbank vorhanden sind.

Das Generieren der Kompensationselemente wird wie oben beschrieben über das Ergebnisfenster **Kompensationsleistung** gesteuert. Hierbei muss die Option **Standardtyp** aktiviert werden.

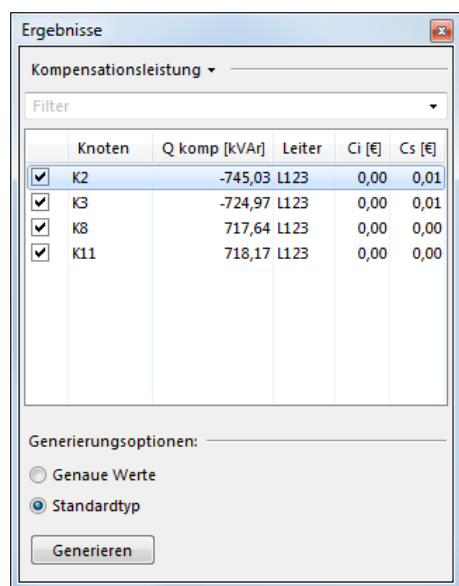


Bild: Ergebnisfenster für die Kompensationsleistung

Im folgenden Bild ist das Netz mit den erzeugten Kompensationselementen dargestellt. Durch die Berücksichtigung der Standardtypdatenbank wurden an den Sammelschienen anstatt einem Kompensationselement mehrere erzeugt, um die geforderte Kompensationsleistung zu erreichen.

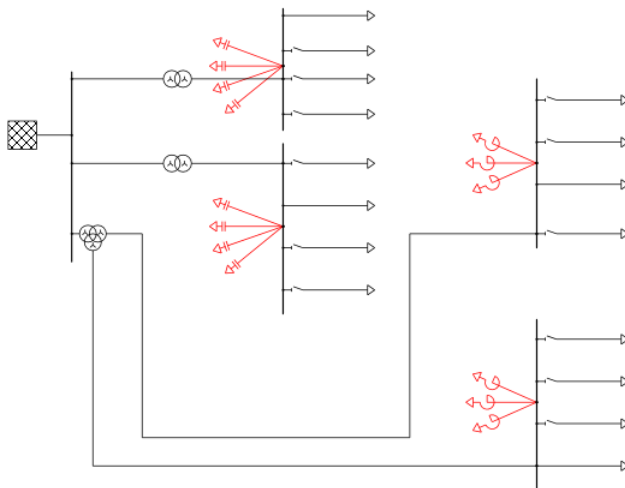


Bild: Netz mit erzeugten Kompensationselementen mit Standardtypen

Im Folgenden soll die Generierung der Kompensationselemente anhand der Sammelschiene K2 genauer beschrieben werden. An dieser Schiene besteht ein Kompensationsbedarf von 745,03 kvar induktiver Blindleistung.

An der Sammelschiene K2 wurden vier Querkondensatoren zur Kompensation induktiver Blindleistung generiert:

- **Querkondensator Typ QC.1** $Q_{\text{komp}} = 100 \text{ kvar}$ (aus Standardtypdatenbank)
- **Querkondensator Typ QC.5** $Q_{\text{komp}} = 500 \text{ kvar}$ (aus Standardtypdatenbank)
- **Querkondensator Typ QC.1** $Q_{\text{komp}} = 100 \text{ kvar}$ (aus Standardtypdatenbank)
- **Querkondensator kein Typ** $Q_{\text{komp}} = 45,03 \text{ kvar}$

Um die geforderte Blindleistung zu kompensieren, wurden passende Elemente aus der Standardtypdatenbank ausgewählt. Die in diesem Beispiel verfügbaren Standardtypen sind im folgenden Bild ersichtlich.

	Sn [MVA]	Un [kV]
Globale Typen		
Lokale Typen		
<input type="checkbox"/> QC.1	0,100	0,660
<input type="checkbox"/> QC.5	0,500	0,660
<input type="checkbox"/> QC1	1,000	0,660
<input type="checkbox"/> QC10	10,000	0,660
<input type="checkbox"/> QC5	5,000	0,660

Bild: Anzeige der lokalen Standardtypen für Querkondensatoren

Aus den vorhandenen Standardtypen wurden zwei Querkondensatoren mit je 100 kvar sowie ein Querkondensator mit 500 kvar ausgewählt. Die fehlende Kompensationsleistung wurde durch einen Kondensator ohne Standardtyp mit 45,03 kvar installiert.

- **Kompensationsbedarf** = 745,03 kvar
- **Installierte Kompensationsleistung** = 100 kvar + 100 kvar + 500 kvar + 45,03 kvar

9.3 Anwendungsbeispiel für die Kondensatorplatzierung

Im Folgenden soll die **Kondensatorplatzierung** anhand eines einfachen Anwendungsbeispiels dargestellt werden. In den Beschreibungen werden

- das [Voreinstellen der Berechnungsparameter](#),
- das [Definieren der verfügbaren Kondensatoren](#),
- das [Starten der Kondensatorplatzierung](#) sowie
- das [Darstellen und Auswerten der Ergebnisse](#)

dargestellt.

Grundlagen

Alle Beschreibungen basieren auf folgendem Netz.

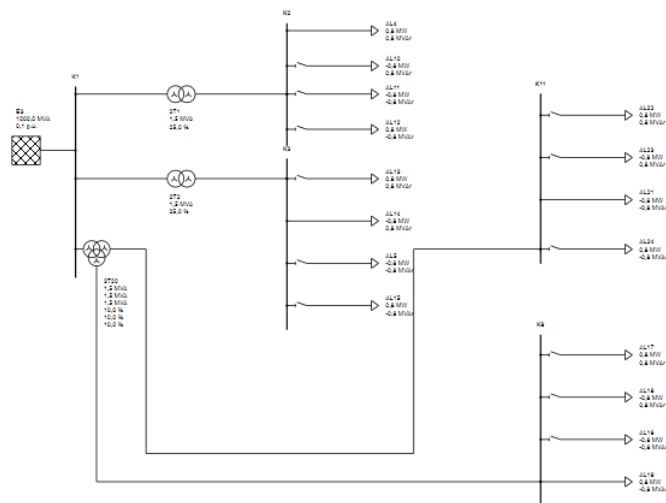


Bild: Kompensationsnetz mit Eingabedaten

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

Voraussetzung für die Kondensatorplatzierung ist, dass die Punkte **Optimierung** und **Wirtschaftlichkeit** im Menü **Berechnen – Methoden** (siehe Handbuch Bedienung, Kapitel Benutzeroberfläche, Abschnitt Voreinstellen der Berechnungsmethoden) aktiviert sind.

9.3.1 Voreinstellen der Berechnungsparameter

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

Berechnungsparameter

Basissdaten | **Lastfluss** | Lastfluss erw. | Optimierung | Kurzschluss | Wirtschaftlichkeit

Lastflussverfahren: **Newton Raphson** ☒ Flat Start

Ergebnisse speichern: **Je nach Methode** ☐ Lastfluss Umschaltung

Erweiterte Berechnungen: **Keine** ☐ Anrechnen

Impedanzlastumwandlung: **Nein** Regler aktivieren: **Normal**

Max. Iterationsanzahl: **200** Inselbetrieb: **Nein**

Spg.Grenze Lastreduktion: **80,0** % LF Beschleunigungsfaktor: **1,0** **1**

Leistungsfehler: **1,0** % Min. Leistungsfehler: **0,001** **MVA**

Maschengenauigkeit: **0,01** % Knotengenauigkeit: **0,01** %

Untergrenze Spannung: **98,0** % Obergrenze Spannung: **110,0** %

Belastungsgrenze Element: **100,0** % Belastungsgrenze Leitung: **95,0** %

Erweiterte Einstellungen für die Regelung

☒ Traforegelung aktivieren ☒ Generatorregelung aktivieren

☒ Querelementregelung aktivieren ☒ Austauschleistung aktivieren

☒ Lastabwurf

OK Abbrechen

Bild: Berechnungsparameter Lastfluss

Im Register **Lastfluss** muss das zulässige Spannungsband definiert werden. Dies erfolgt über die Felder **Obergrenze Spannung** und **Untergrenze Spannung**. Die Kondensatoren werden so platziert, dass diese Grenzwerte nicht verletzt werden.

Im Register **Wirtschaftlichkeit** müssen die **Energiekosten pro kWh** definiert werden. Anhand dieser Kosten erfolgt die Bewertung der Netzverluste und damit kann auch die Einsparung durch Verlustreduktion bestimmt werden.

9.3.2 Definieren der verfügbaren Kondensatoren

Die Grundlage des Optimierungsverfahrens bildet eine Menge von vordefinierten verfügbaren Kondensatoren, die ins Netz eingebaut werden können. Diese Kondensatoren werden über den Menüpunkt **Daten – Optimierung – Verfügbare Kondensatoren** definiert.

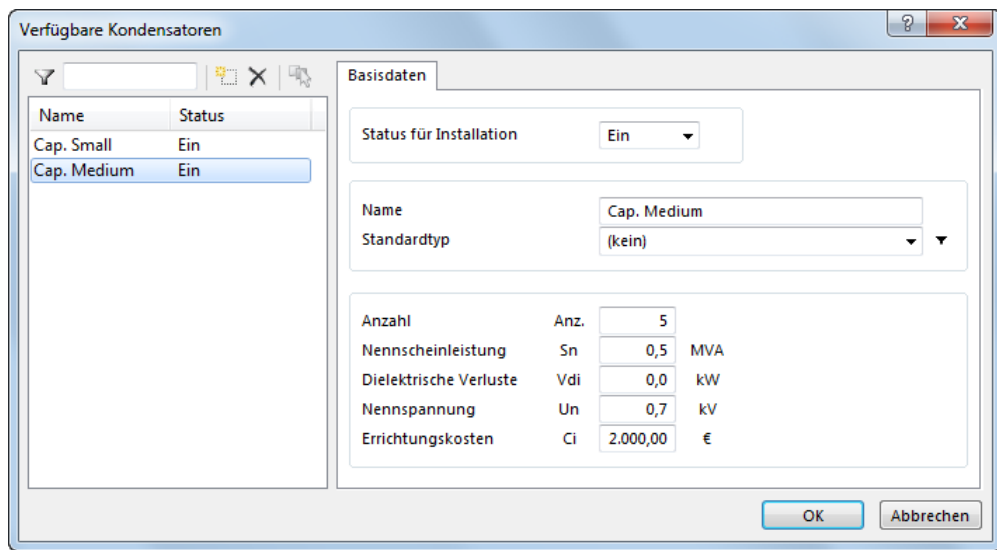


Bild: Verfügbare Kondensatoren definieren

In diesem Dialog können alle für den Einbau verfügbaren Kondensatoren definiert werden. Um die Definition zu vereinfachen, besteht die Möglichkeit, gleichartige Kondensatoren in Form von Paketen zu bündeln. Das heißt, es werden die charakteristischen Daten des Kondensators (**Nennscheinleistung**, **Nennspannung** und **Errichtungskosten**) definiert und über die **Anzahl** wird festgelegt, wie viele Kondensatoren dieses Typs vorhanden sind.

Eine genaue Beschreibung der Eingabedaten für verfügbare Kondensatoren ist im Handbuch Eingabedaten, Kapitel Allgemeine Steuer- und Eingabedaten, Abschnitt Verfügbare Kondensatoren zu finden.

9.3.3 Starten der Kondensatorplatzierung

Die Kondensatoren werden vom Optimierungsverfahren nur auf vorausgewählten Knoten platziert. Somit kann schon vor der Optimierung festgelegt werden, an welchen Punkten des Netzes das Platzieren von Kondensatoren überhaupt möglich ist. Hierzu werden die zulässigen Knoten einfach im Grafikeditor markiert. Anschließend kann die Kondensatorplatzierung über den Menüpunkt **Berechnen – Optimierung – Kondensatorplatzierung** gestartet werden.

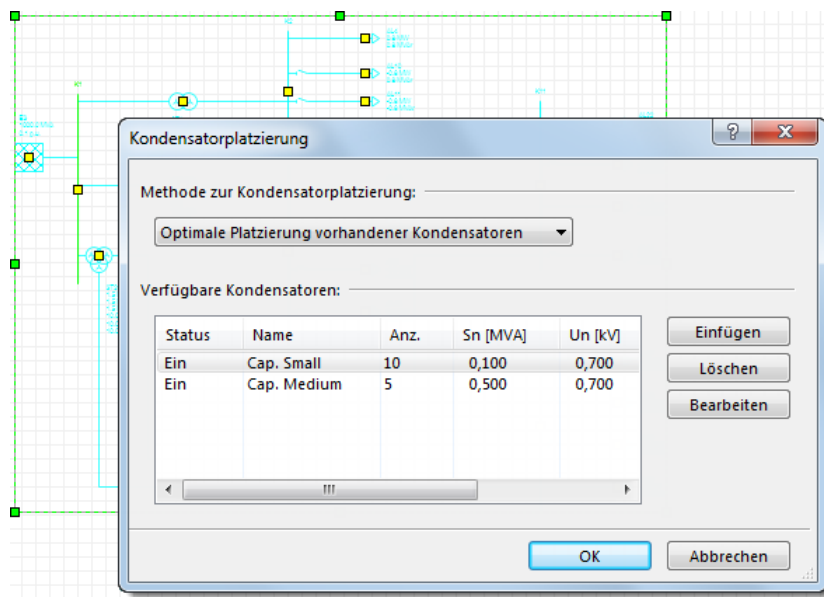


Bild: Start der Kondensatorplatzierung

Vor dem eigentlichen Start der Berechnungsmethode wird nochmals der Dialog mit den zum Einbau verfügbaren Kondensatoren angezeigt. Wahlweise können hier noch Änderungen vorgenommen werden. Im Abschnitt **Methode zur Kondensatorplatzierung** kann das Optimierungsverfahren ausgewählt werden. Hierbei sind folgende Verfahren verfügbar:

- Optimale Platzierung vorhandener Kondensatoren
- Optimale Platzierung von Kondensatoren
- Platzierung vorhandener Kondensatoren (erweitert)
- Platzierung vorhandener Kondensatoren

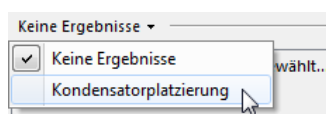
Die Qualität der Ergebnisse und auch die Rechendauer sind abhängig vom gewählten Optimierungsverfahren. Die Beschreibung dieser Verfahren ist im Kapitel [Kondensatorplatzierung](#) zu finden.

Durch Klicken von **OK** wird der Dialog geschlossen und die Simulationmethode gestartet.

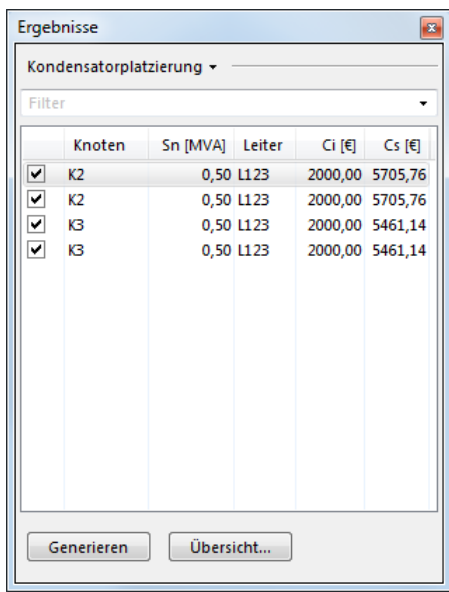
9.3.4 Darstellen und Auswerten der Ergebnisse

Wenn die Kondensatorplatzierung fehlerfrei durchgeführt werden kann, dann wird nach dem Abschluss der Berechnung automatisch das Ergebnisfenster für die **Kondensatorplatzierung** angezeigt.

Das Ergebnisfenster kann auch später über den Menüpunkt **Ansicht – Ergebnisbrowser** oder **Berechnen – Ergebnisse – Kondensatorplatzierung** geöffnet werden. Mit Hilfe des Auswahlfeldes wird die Ergebnisdarstellung für die **Kondensatorplatzierung** aktiviert.



Durch diese Auswahl werden die letzten Ergebnisse geladen und im Ergebnisfenster bereitgestellt.



	Knoten	Sn [MVA]	Leiter	Ci [€]	Cs [€]
<input checked="" type="checkbox"/>	K2	0,50	L123	2000,00	5705,76
<input checked="" type="checkbox"/>	K2	0,50	L123	2000,00	5705,76
<input checked="" type="checkbox"/>	K3	0,50	L123	2000,00	5461,14
<input checked="" type="checkbox"/>	K3	0,50	L123	2000,00	5461,14

Bild: Ergebnisfenster für die Kondensatorplatzierung

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.

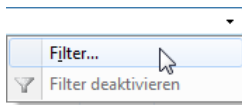


Bild: Menü zur Auswahl der Darstellung

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 dieser Liste werden alle Knoten aufgelistet, an denen die Kondensatoren angeschlossen werden sollten. Die Leistung des Kondensators, dessen Kosten sowie die Einsparung durch Verlustreduktion werden im Dialog aufgelistet.

Über das Kontextmenü sind erweiterte Bearbeitungsfunktionen verfügbar.

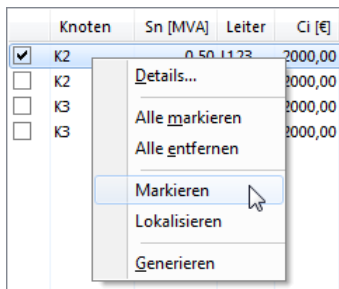


Bild: Kontextmenü der Verbraucher

- **Details:**
Die ausgewählten Ergebnisse werden in einer Datenmaske dargestellt.
- **Alle markieren:**
Alle Knoten 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.
- **Generieren:**
Die Kondensatoren für alle markierten Knoten werden im Netz erzeugt.

Durch Drücken des Knopfes **Generieren** werden die Kondensatoren erzeugt.

Durch Klicken des Knopfes **Übersicht** wird eine Datenmaske geöffnet, in der die Übersichtsergebnisse der Kondensatorplatzierung angezeigt werden.

Detailergebnisse in Datenmasken

Für jeden Knoten, an dem Kompensationselemente ermittelt wurden, wird ein Detailergebnis bereitgestellt. Dies kann über das Ergebnisfenster **Kondensatorplatzierung** durch Klicken des Menüpunktes **Details** im Kontextmenü des jeweiligen Elementes abgerufen werden.

Kompensationsleistungsergebnisse

Ergebnisse

Knoten:

Netzebene:

Kompensation

Nennscheinleistung	Sn	0,500	MVA
Kompensationsleistung	Q komp	-500,000	kVAr
Änderung Wirkverluste	dPI	6,513	kW
Änderung Blindverluste	dQI	0,000	kVAr
Änderung Scheinverluste	dSI	6,513	kVA

Kosten

Errichtungskosten	Ci	2.000,00	€
Jährliche Einsparung	Cs	5.705,76	€
Return on Investment	Ri	0,351	y

Leiter:

OK Abbrechen

Bild: Kompensationsleistungsergebnisse

Diese Ergebnismaske listet im Abschnitt **Kompensation** genauere Informationen zum ausgewählten Kompensationselement. Die **Kompensationsleistung** wird hier ausgewiesen, wobei negative Zahlen kapazitive und positive Zahlen induktive Kompensationsleistung kennzeichnen. Zusätzlich wird die Änderung der **Wirk-**, **Blind-** und **Scheinverluste** durch die Platzierung dieses Kompensationselementes dokumentiert.

Im Abschnitt **Kosten** werden wirtschaftliche Informationen zum Kompensationselement ausgewiesen. Die Errichtungskosten entsprechen den Kosten des Kompensationselementes. Im Feld **Jährliche Einsparung** wird ausgewiesen, wie viel Kostenersparnis durch die Reduktion der Verluste pro Jahr zu erwarten ist. Zur Bestimmung der Einsparung werden die **Energiekosten pro kWh** aus den Berechnungsparametern Wirtschaftlichkeit herangezogen. Das Feld **Return on Investment** gibt die Zeitdauer in Jahren an, bis sich die Anschaffungskosten durch die jährliche Einsparung amortisiert haben.

Übersichtsergebnisse in Datenmasken

Von diesem Optimierungsverfahren wird auch ein spezielles Übersichtsergebnis generiert, welches die Verbesserung im Netz bei Einbau aller ermittelten Kompensationselemente zeigt. Die Übersichtsergebnisse können durch Klicken des Knopfes **Übersicht** geöffnet werden.

Übersicht Kondensatorplatzierung			
Ergebnisse			
Kompensation			
Kapazitive Kompensationsleistung	Q kap	2.000,000	kVAr
Induktive Kompensationsleistung	Q ind	0,000	kVAr
Änderung Wirkverluste	dPI	14,325	kW
Änderung Blindverluste	dQI	2.186,862	kVAr
Änderung Scheinverluste	dSI	2.186,909	kVA
Kosten			
Errichtungskosten	Ci	8.000,00	€
Jährliche Einsparung	Cs	12.549,05	€
Return on Investment	Ri	0,637	y

Bild: Übersicht Kondensatorplatzierung

In dieser Ergebnismaske werden die ermittelten Kompensationsdaten in Form von **induktiver** und **kapazitiver Kompensationsleistung** für das gesamte Netz dokumentiert.

Darüber hinaus wird die Reduktion der **Verluste** dokumentiert, wenn alle ermittelten Kompensationselemente im Netz eingebaut werden.

Das Feld **Errichtungskosten** beinhaltet die kumulierten Kosten aller ermittelten Kompensationselemente.

Im Feld **Jährliche Einsparung** wird ausgewiesen, wie viel Kostenersparnis durch die Reduktion der Verluste pro Jahr zu erwarten ist. Zur Bestimmung der Einsparung werden die **Energiekosten pro kWh** aus den Berechnungsparametern Wirtschaftlichkeit herangezogen.

Das Feld **Return on Investment** gibt die Zeitdauer in Jahren an, bis sich die Anschaffungskosten durch die jährliche Einsparung amortisiert haben.

Automatisches Generieren von Kompensationselementen

Das automatische Generieren von Kompensationselementen erfolgt über das Ergebnisfenster **Kondensatorplatzierung**.

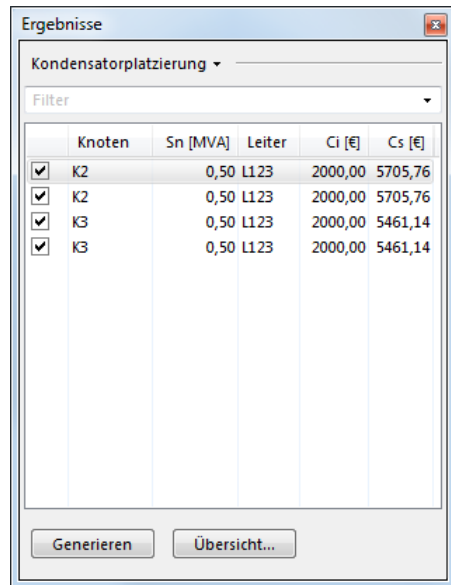


Bild: Ergebnisfenster für die Kondensatorplatzierung

Im diesem Fenster müssen alle jene Elemente markiert werden, an denen die Kondensatoren erzeugt werden sollen. Dies kann durch einzelnes Anklicken der Listenelemente oder durch Klicken des Menüpunktes **Alle markieren** im Kontextmenü definiert werden.

Das Generieren der Kompensationselemente wird durch Drücken des Knopfes **Generieren** gestartet. Die Kondensatoren werden automatisch im Netz erzeugt.

9.4 Anwendungsbeispiel für Lastsymmetrierung

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

- das [Voreinstellen der Berechnungsparameter](#),
- das [Starten der Lastsymmetrierung](#) sowie
- das [Darstellen und Auswerten der Ergebnisse](#)

dargestellt.

Grundlagen

Alle Beschreibungen basieren auf folgendem Netz.

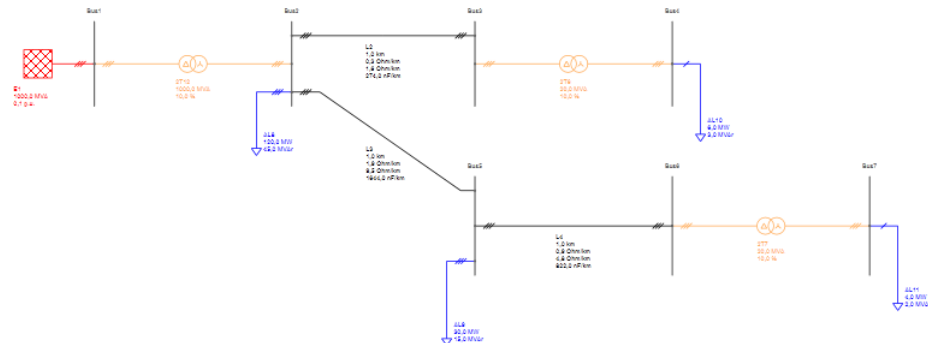


Bild: Netz mit unsymmetrischen Belastungen

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

Voraussetzung für die Lastsymmetrierung ist, dass der Punkt **Optimierung** im Menü **Berechnen – Methoden** (siehe Handbuch Bedienung, Kapitel Benutzeroberfläche, Abschnitt Voreinstellen der Berechnungsmethoden) aktiviert ist. Erst nach Aktivierung dieser Berechnungsmethode steht das Menü **Berechnen – Optimierung** zur Verfügung.

9.4.1 Voreinstellen der Berechnungsparameter

Die Teilnahme der Elemente an der Lastsymmetrierung wird über die Netzebene gesteuert. Hierzu wird die Maske **Netzebene** über den Menüpunkt **Einfügen – Netzebene** geöffnet.

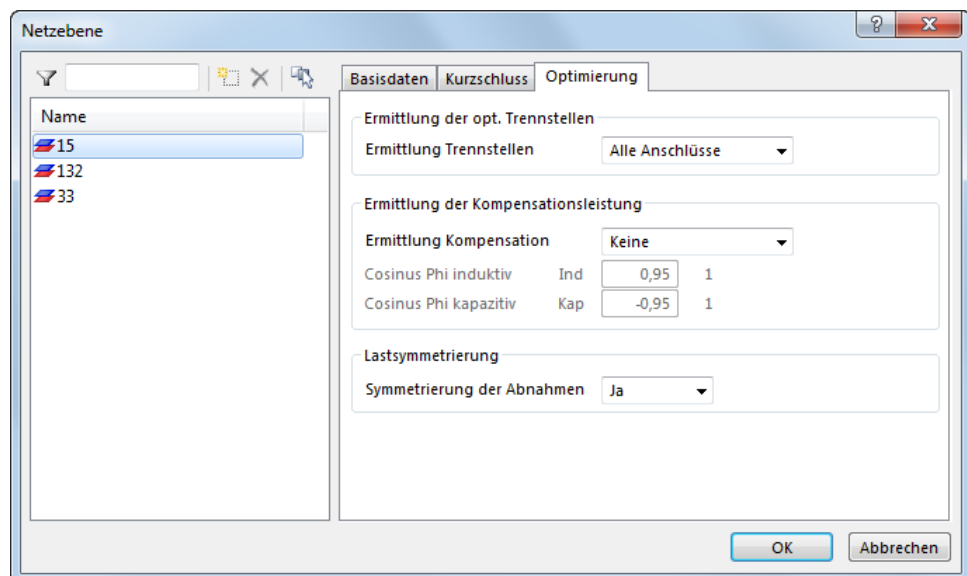


Bild: Datenmaske Netzebene – Optimierung

Über das Feld **Symmetrierung der Abnahmen** wird festgelegt, ob die Elemente dieser Netzebene an der Lastsymmetrierung teilnehmen.

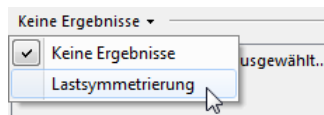
9.4.2 Starten der Lastsymmetrierung

Die Lastsymmetrierung wird über den Menüpunkt **Berechnen – Optimierung – Lastsymmetrierung** gestartet.

9.4.3 Darstellen und Auswerten der Ergebnisse

Wenn die Lastsymmetrierung fehlerfrei durchgeführt werden kann, dann wird danach automatisch das Ergebnisfenster für die **Lastsymmetrierung** angezeigt.

Das Ergebnisfenster kann auch später über den Menüpunkt **Ansicht – Ergebnisbrowser** oder **Berechnen – Ergebnisse – Lastsymmetrierung** geöffnet werden. Mit Hilfe des Auswahlfeldes wird die Ergebnisdarstellung für die **Lastsymmetrierung** aktiviert.



Durch diese Auswahl werden die letzten Ergebnisse geladen und im Ergebnisfenster bereitgestellt.

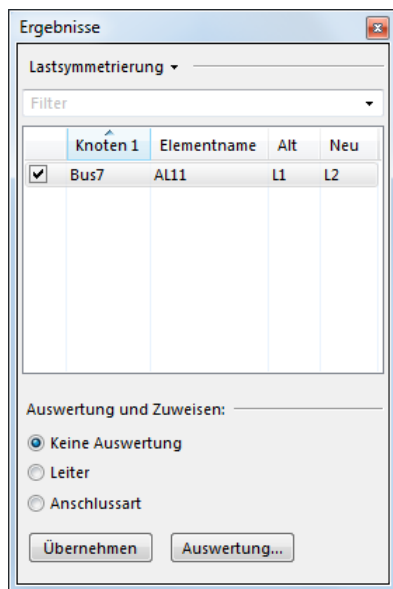


Bild: Ergebnisfenster für die Lastsymmetrierung

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.

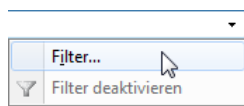


Bild: Menü zur Auswahl der Darstellung

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 für alle an der Lastsymmetrierung teil genommenen Elemente die alten und neuen Leiter dargestellt. Je nach Netzaufbau können zusätzlich zu den einzelnen Verbrauchern komplette Abgänge an andere Leiter angeschlossen werden. Diese werden durch einen gemeinsamen Abgangsschlüssel gruppiert. Damit wird ersichtlich, dass die Symmetrierungsmaßnahmen für alle Elemente des ausgewählten Abganges angewandt werden.

Über das Kontextmenü sind erweiterte Bearbeitungsfunktionen verfügbar.

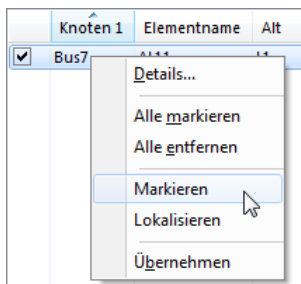


Bild: Kontextmenü der Einträge

- **Details:**
Die ausgewählten Ergebnisse werden in einer Datenmaske dargestellt.
- **Alle markieren:**
Alle Einträge 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 Einträge werden in das Netz übernommen.

Im Bereich **Auswertung und Zuweisen** kann eine Auswertung durchgeführt werden oder die neuen Leiter den Elementen zugewiesen werden.

Durch Klicken von **Leiter** oder **Anschlussart** wird die entsprechende Auswertung gestartet, d.h. die jeweiligen Elemente werden sofort im Grafikeditor farbig dargestellt. Um die farbigen Markierungen im Grafikeditor wieder rückgängig zu machen, wird **Keine Auswertung** geklickt.

Durch Drücken des Knopfes **Übernehmen** werden die neuen Leiter den ausgewählten Elementen bzw. allen Elementen der ausgewählten Abgänge zugeordnet.

Die Attribute für die Einfärbung können im Dialog **Auswertung** geändert werden. Dieser kann durch Klicken des Knopfes **Auswertung** geöffnet werden.

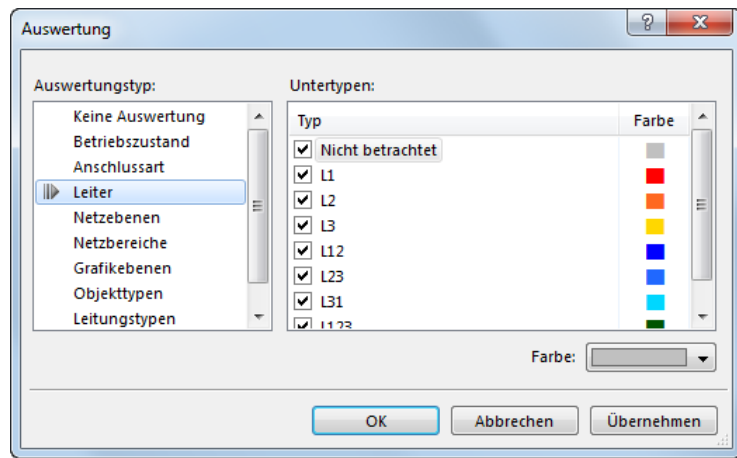


Bild: Dialog Auswertung

Eine genaue Beschreibung dieses Dialoges ist im Handbuch Bedienung, Kapitel Darstellung der Eingabedaten und Ergebnisse, Abschnitt Auswertungen zu finden.

9.5 Anwendungsbeispiel für Optimale Netzstruktur

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

- das [Voreinstellen der Berechnungsparameter](#),
- das [Starten der Optimierung](#) sowie
- das [Darstellen und Auswerten der Ergebnisse](#)

dargestellt.

Grundlagen

Alle Beschreibungen basieren auf folgendem Netz.



Bild: Netz mit Trassen und Stationen

Dieses Netz ("Example Route") wird bei der Installation von PSS SINICAL automatisch bereitgestellt und kann zum Testen des Simulationsverfahrens eingesetzt werden. In diesem Netz sind keinerlei Netzelemente vorhanden, es gibt lediglich Trassen und Stationen.

Voraussetzung für die Berechnung der optimalen Netzstruktur ist, dass der Punkt **Optimierung** im Menü **Berechnen – Methoden** (siehe Handbuch Bedienung, Kapitel Benutzeroberfläche, Abschnitt Voreinstellen der Berechnungsmethoden) aktiviert ist. Erst nach Aktivierung dieser Berechnungsmethode steht das Menü **Berechnen – Optimierung** zur Verfügung.

9.5.1 Voreinstellen der Berechnungsparameter

Die Berechnungsparameter für die Bestimmung der optimalen Netzstrukturen werden in einem speziellen Dialog eingestellt. Dieser kann über den Menüpunkt **Berechnen – Optimierung – Parameter Optimale Netzstruktur** geöffnet werden.

Bild: Datenmaske Parameter optimale Netzstruktur

In diesem Dialog können alle wesentlichen Steuerparameter eingestellt werden. Eine ausführliche Beschreibung aller Parameter ist im Handbuch Eingabedaten, Kapitel Parameter optimale Netzstruktur verfügbar.

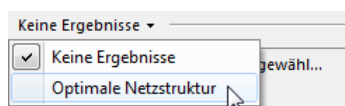
9.5.2 Starten der Optimierung

Die Bestimmung der optimalen Netzstruktur wird über den Menüpunkt **Berechnen – Optimierung – Optimale Netzstruktur** gestartet.

9.5.3 Darstellen und Auswerten der Ergebnisse

Wenn die Optimierung fehlerfrei durchgeführt wurde, dann können die ermittelten optimalen Netzstrukturen mit dem Ergebnisfenster analysiert werden, welches automatisch nach der Berechnung angezeigt wird.

Das Ergebnisfenster kann auch später über den Menüpunkt **Ansicht – Ergebnisbrowser** oder **Berechnen – Ergebnisse – Optimale Netzstruktur** geöffnet werden. Mit Hilfe des Auswahlfeldes wird die Ergebnisdarstellung für die **Optimale Netzstruktur** aktiviert.



Durch diese Auswahl werden die letzten Ergebnisse geladen und im Ergebnisfenster bereitgestellt.

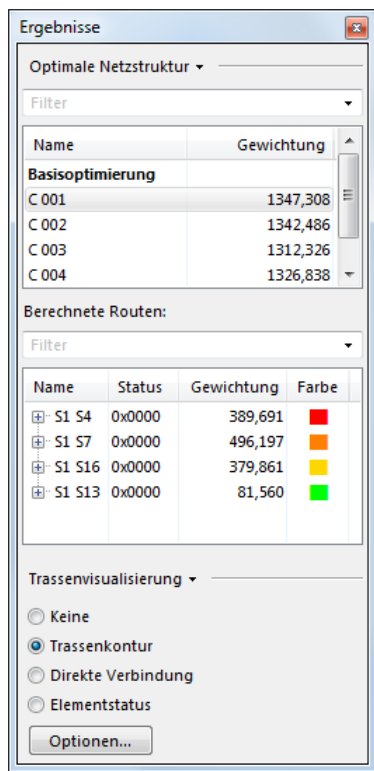


Bild: Ergebnisfenster für Optimale Netzstruktur

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.

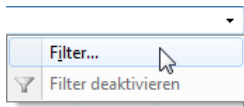


Bild: Menü zur Auswahl der Darstellung

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 oberen Auswahlliste sind alle Kombinationen der Optimalen Netzstruktur aufgelistet. Die Kombinationen werden nach den Ergebnisarten **Basisoptimierung** und **Nachoptimierung** gegliedert. Nach Auswahl einer Kombination werden alle berechneten Routen dieser Kombination in der Liste **Berechnete Routen** dargestellt. Die ausgewählte Kombination wird sofort in der Netzgrafik visualisiert. Hierfür werden die Einstellungen im Abschnitt [Trassenvisualisierung](#) verwendet.

Über das Kontextmenü sind erweiterte Bearbeitungsfunktionen verfügbar.

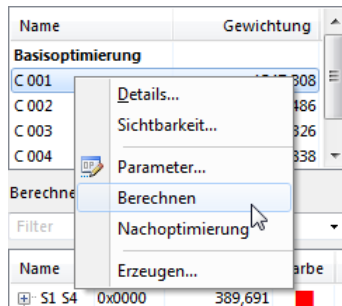


Bild: Kontextmenü der Kombinationen der optimalen Netzstruktur

- **Details:**
Die ausgewählten Ergebnisse werden in der Datenmaske [Kombination](#) dargestellt.
- **Sichtbarkeit:**
Der Dialog **Sichtbarkeit** wird geöffnet. Dort können die Kombinationen ausgewählt werden, welche in der Liste angezeigt werden sollen.
- **Parameter:**
Die Parameter für die optimale Netzstruktur werden angezeigt.
- **Berechnen:**
Die Basisoptimierungen werden berechnet.
- **Nachoptimierung:**
Die selektierte Kombination einer Optimierung wird nachoptimiert.
- **Erzeugen:**
Die Netzstruktur wird aus den Ergebnissen der selektierten Kombination erzeugt. Eine detaillierte Beschreibung finden Sie im Kapitel [Netzstruktur erzeugen](#).

Im Abschnitt **Berechnete Routen** befindet sich ein **Filterfeld**, mit dem der Darstellungsumfang in der Liste reduziert wird. Das Filterfeld hat grundsätzlich die gleiche Funktionalität wie oben, es stellt jedoch zusätzliche Filterfunktionen zur Verfügung. Durch Eingabe eines "=" wird der erweiterte Filter aktiviert. Dies ermöglicht es, ebenenabhängig zu filtern. Hierzu werden die Filterkriterien entsprechend der Ebene mit "." getrennt. Die Verwendung von Wildcards ist zulässig. Durch Drücken der Eingabetaste wird der Filter angewandt und der Darstellungsumfang der Liste entsprechend der Filterkriterien reduziert.

In der Auswahlliste **Berechnete Routen** werden alle ermittelten Routen einer Kombination dargestellt. Jeder Eintrag in dieser Liste entspricht einer Route und zeigt die verwendeten Netzelemente bzw. Trassenabschnitte an.

Über das Kontextmenü sind erweiterte Bearbeitungsfunktionen verfügbar.

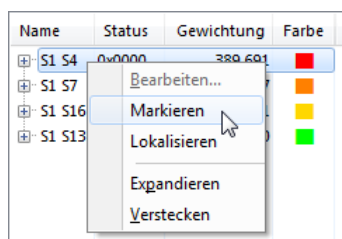


Bild: Kontextmenü der berechneten Route

Folgende Funktionen sind verfügbar:

- **Bearbeiten:**
Die Eingabemaske des jeweilig selektierten Netzelementes wird zur Bearbeitung geöffnet.
- **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.
- **Expandieren:**
Das Routenelement wird in der Auswahlliste geöffnet.
- **Verstecken:**
Das Routenelement wird in der Auswahlliste geschlossen.

Im unteren Teil des Ergebnisfensters kann in einem Auswahlfeld zwischen folgenden Abschnitten gewählt werden:

- [Trassenvisualisierung](#)
- [Dokumentation](#)

Trassenvisualisierung

Im Abschnitt **Trassenvisualisierung** kann die ausgewählte Kombination in der Netzgrafik hervorgehoben werden. Hierbei kann zwischen folgenden Optionen gewählt werden:

- **Keine:**
Löscht die aktuelle Hervorhebung in der Netzgrafik.
- **Trassenkontur:**
Erstellt eine Hervorhebung entlang der Kontur der verwendeten Netzelemente bzw. Trassenelemente.
- **Direkte Verbindung:**
Erzeugt die Hervorhebung zu den Routenpunkten mit direkten Linien.
- **Elementstatus:**
Erzeugt die Hervorhebung anhand des Elementstatus. D.h. die Routenabschnitte werden je nach Weiterverwendung (neues Element, Wiederverwendung oder Stilllegung) eingefärbt.

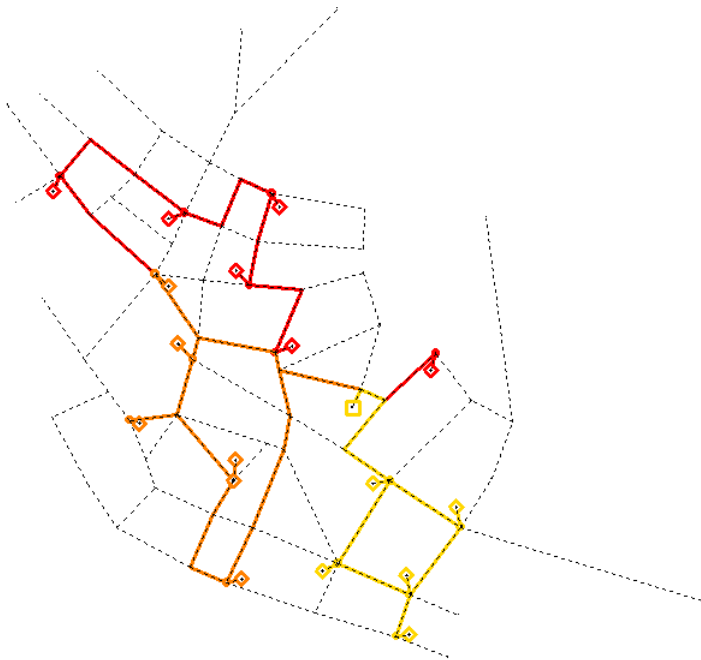


Bild: Visualisierung der optimalen Netzstruktur

Nach Klicken des Knopfes **Optionen** erscheint ein Dialog, in dem erweiterte Einstellungen für die Ergebnisdarstellung durchgeführt werden können.

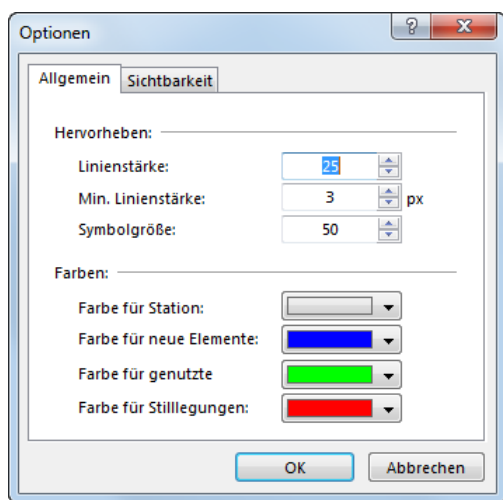


Bild: Dialog Optionen – Allgemein

Im Abschnitt **Hervorheben** können die **Linienstärke**, **Min. Linienstärke** und **Symbolgröße** eingegeben werden.

Im Abschnitt **Farben** kann eine **Farbe für die Station** eingegeben werden. Wird die Stationsfarbe auf transparent gesetzt, so werden die Stationen in der Farbe der Routen dargestellt. Andernfalls werden alle Stationen in der ausgewählten Farbe eingefärbt. Für die Visualisierung des Elementstatus stehen drei Farben für **neue Elemente**, **genutzte Elemente** und **Stilllegungen** zur Verfügung.

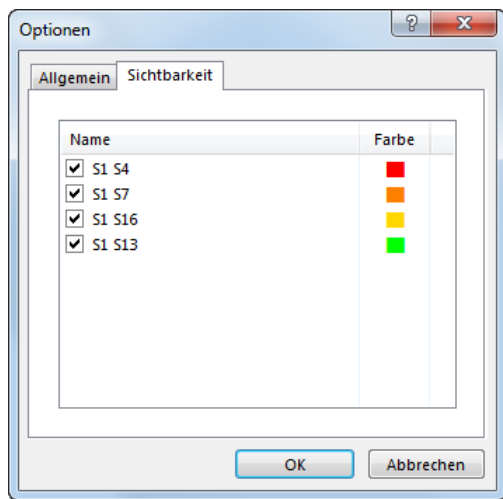


Bild: Dialog Optionen – Sichtbarkeit

In diesem Register kann die Sichtbarkeit der einzelnen Hervorhebungen innerhalb der PIC Datei gesteuert werden.

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.

Dokumentation

Dieser Abschnitt bietet die Möglichkeit, die Ergebnisse für die ausgewählte Kombination in eine Excel Datei zu exportieren. Mit Hilfe dieser Excel Datei können dann die Ergebnisse nach beliebigen Kriterien analysiert werden.

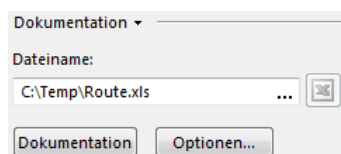


Bild: Erstellen einer Dokumentation

Im Feld **Dateiname** wird die gewünschte Excel Ausgabedatei definiert.

Durch Klicken des Knopfes **Optionen** erscheint der folgende Dialog.

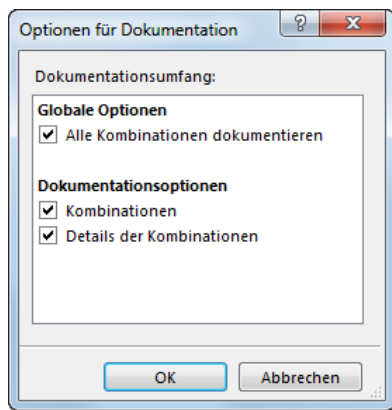


Bild: Dialog Optionen für Dokumentation

In der Liste **Dokumentationsumfang** können folgende vordefinierte Auswertungen aktiviert bzw. deaktiviert werden.

Globale Optionen

- **Alle Kombinationen dokumentieren:**
Ist diese Option aktiviert, werden alle Kombinationen für die Dokumentation berücksichtigt. Andernfalls werden nur jene verwendet, welche in der Auswahlliste der Kombinationen ausgewählt wurden.

Dokumentationsoptionen

- **Kombinationen:**
In dieser Auswertung wird die Kombination mit den Ergebnissen aufgelistet.
- **Details der Kombinationen:**
In dieser Auswertung werden alle berechneten Routen mit den Elementen und Ergebnissen sowie die Stilllegungen der Kombination aufgelistet.

Über den Knopf **Dokumentation** wird der Export der Auswertungen in die Excel Datei gestartet.

Nach Fertigstellung der Dokumentation kann die Excel Datei direkt durch Drücken des Excel-Knopfes geöffnet werden.

Eine detaillierte Beschreibung der Excel-Tabellen finden Sie im Kapitel Technische Referenz, Abschnitt Optimierungsdokumentation.

Kombinationsdetails

Durch Klicken des Menüpunktes **Details** im Kontextmenü eines Listeneintrages wird die detaillierte Ergebnismaske für diese Kombination geöffnet.

Basisdaten		
Name	C 001	
Basis		
Anmerkung	Cnt: 4 MaxP: 3.00 Concurrency: 0.80 Overlo	
Methode	RR 001 (20 EX)	
Status	0x0000	
Gewichtung	1.347,308	
Kosten	598.647,756	€
Länge	8,218	km
Leistung	8,568	MW
Verluste	1.242,027	kW
Gesamtbarwert	5.649.422,079	€
Barwert Verluste	1.056.325,731	€

Bild: Datenmaske Kombination

Dieser Dialog enthält detaillierte Informationen zur Kombination.

Im Feld **Name** wird die Bezeichnung der Kombination angezeigt.

Das Feld **Basis** zeigt die Bezeichnung der Ausgangskombination an.

Das Feld **Anmerkung** enthält zusätzliche Informationen zur Kombination.

Das Feld **Methode** beinhaltet Informationen zur Berechnungsmethode der optimalen Netzstruktur. Dazu zählen das Eröffnungsverfahren (rotierender Strahl oder beste Einsparungen) und die Verfahren der Nachoptimierung (Zwei-Optimalen Methode nach Lin und Drei-Optimalen Methode nach Lin).

Im Feld **Status** werden die aktuellen Stati der Kombination angezeigt.

Das Feld **Kosten** beinhaltet die Summe der Investitionsaufwendungen der Ringe. Diese beinhalten die Tiefbaukosten und die Kabelkosten.

Im Feld **Gewichtung** wird die Summe der Gewichtungen der Ringe angezeigt. Die Gewichtung eines Ringes ergibt sich aus der Summe der einzelnen Trassen. Die Trassengewichtung ergibt sich aus:

$$w_{\text{route}} = w_{\text{C}} + w_{\text{I}}$$

$$w_{\text{I}} = I_{\text{route}} * R * wf_{\text{I}}$$

$$w_{\text{C}} = \frac{I_{\text{route}} * C_{\text{route}} * wf_{\text{C}}}{10000}$$

$$C_{\text{route}} = C_{\text{Ce}} + C_{\text{Cable}}$$

w_{route}	...	Gewichtung der Trasse/Leitung
w_C	...	Gewichtung der Trassenkosten
w_l	...	Gewichtung der Trassenlänge
l_{route}	...	Länge der Trasse/Leitung
R	...	Widerstand
wf_l	...	Gewichtungsfaktor Länge
wf_C	...	Gewichtungsfaktor Kosten
C_{route}	...	Kosten der Trasse/Leitung
C_{Ce}	...	Tiefbaukosten
C_{Cable}	...	Kabelkosten

Hierbei ist zu beachten, dass bei bestehenden Leitungen keine Kosten für die Route anfallen. Bei Mitlegung entfallen nur die Tiefbaukosten.

Das Feld **Länge** zeigt die Summe der Länge der Ringe an.

Im Feld **Leistung** wird die Summe der Leistung der Ringe angezeigt.

Das Feld **Verluste** zeigt die Summe der Verluste der Ringe bei optimaler Schaltauslegung an. D.h. bei einem Ring wird die optimale Trennstelle gesetzt. Danach werden bei beiden Ringhälften die Verlustleistungen bestimmt. Diese erfolgt als vereinfachte Berechnung nur über den Widerstand R der angegebenen Leitung.

Die **Gesamtbarwert** ergibt sich aus:

$$Bar = Bar_P - Bar_L - Bar_C$$

$$Bar_C = \sum_1^t \frac{C}{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^t}$$

$$Bar_P = \sum_1^t \frac{P * 8760 * k_a}{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^t}$$

Der **Barwert Verluste** ergibt sich aus:

$$Bar_L = \sum_1^t \frac{L * 8760 * k_a}{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^t}$$

t	...	Zeit in Jahren
C	...	Investitionsaufwendungen pro Jahr
k_a	...	Energiekosten pro kWh
p	...	Zinssatz [%]

P	...	Leistung [kW]
L	...	Verluste [kW]
Bar	...	Gesamtbarwert über den Planungszeitraum
Bar _C	...	Barwert der anfallenden Kosten über den Planungszeitraum
Bar _L	...	Barwert der anfallenden Verlustkosten über den Planungszeitraum
Bar _P	...	Barwert der anfallenden Leistungskosten über den Planungszeitraum

Die Zeit in Jahren wird aus den beiden Datumsfeldern **Betrachtungszeitpunkt** und **Planungshorizont** in den Berechnungsparametern für die Wirtschaftlichkeit ermittelt. Die **Energiekosten pro kWh** werden ebenfalls aus den Wirtschaftlichkeitsparametern herangezogen.

Netzstruktur erzeugen

Diese Funktion bietet die Möglichkeit, eine vollständige Netzstruktur aus den gewählten Ergebnissen der Optimierung zu erzeugen. Die erzeugte Netzstruktur wird dabei als Untervariante angelegt.

Hierzu wird der Menüpunkt **Erzeugen** im Kontextmenü der selektierten Kombination geklickt. Es erscheint ein Dialog zur Eingabe des Variantennamens.

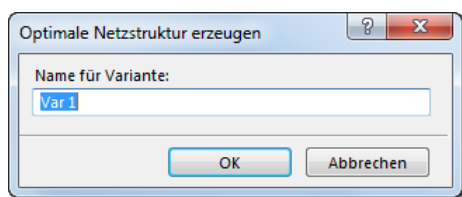


Bild: Eingabe eines neuen Variantennamens

Für das neu zu generierende Netz wird nun in den Berechnungsmethoden die neue Variante Var 1 erzeugt. Dies ist eine Untervariante der aktuell aktiven Variante. In dieser neuen Variante werden zuerst alle Leitungen, die Trassen zugeordnet sind, gelöscht. Nach dem Löschen bleibt ein Restnetz übrig. Dies besteht aus allen Netzelementen ohne Trassenzuordnung und natürlich auch aus dem Trassenmodell.

Im nächsten Schritt wird nun in der Variante das trassenbasierende Netzmodell neu aufgebaut. Dazu werden die Optimierungsergebnisse verwendet. Die Leitungen werden komplett generiert, d.h. sowohl die Netzdaten als auch die Grafikdaten werden erzeugt und die Verbindung mit dem Trassenmodell wird hergestellt.

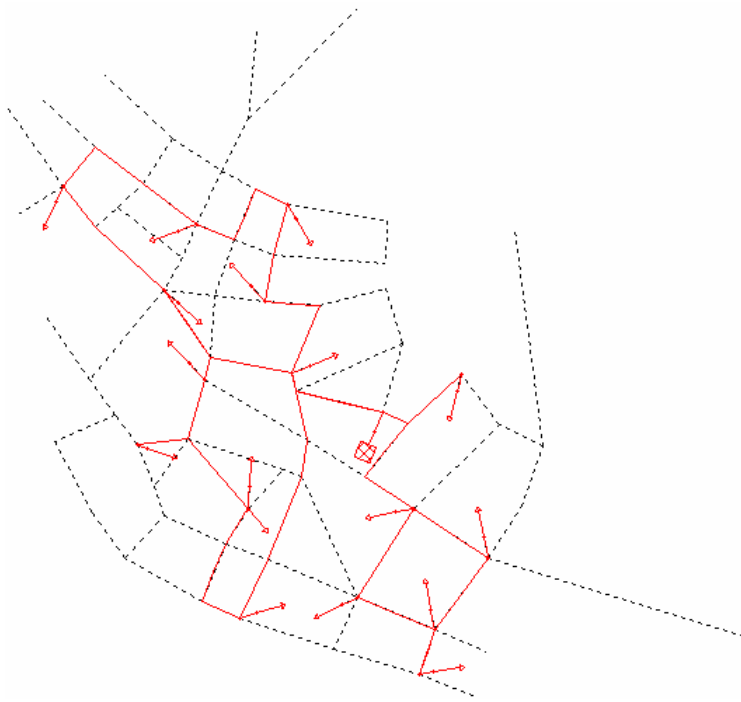


Bild: Generiertes Netz

Das Ergebnis, welches zur Generierung des Netzes verwendet wurde, wird in die aktuelle Variante mit übernommen und ist im Ergebnissenster als **Generiertes Netz** aufgelistet.

9.6 Anwendungsbeispiel für die VoltVar Optimierung

Im Folgenden soll die **VoltVar Optimierung** anhand eines einfachen Anwendungsbeispiels dargestellt werden. In den Beschreibungen werden

- das [Starten der VoltVar Optimierung](#) sowie
- das [Darstellen und Auswerten der Ergebnisse](#)

dargestellt.

Grundlagen

Alle Beschreibungen basieren auf folgendem Netz.

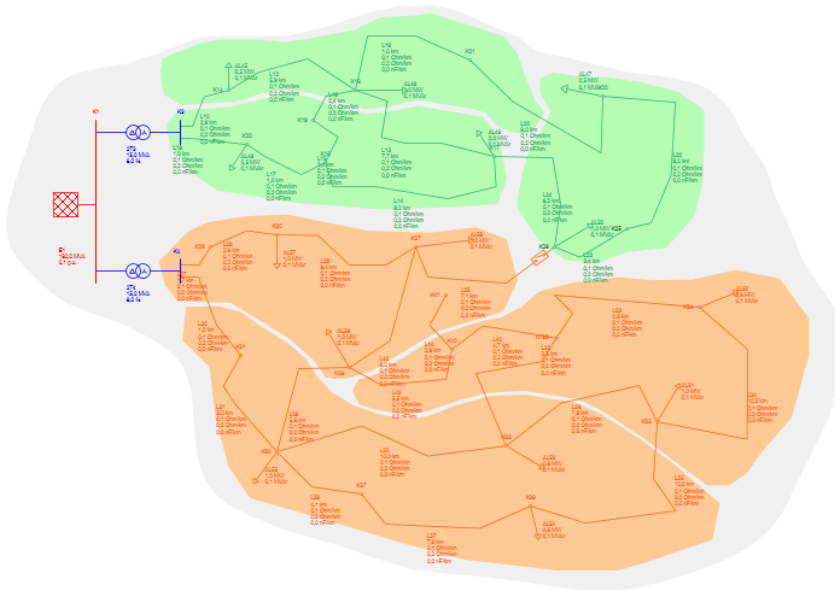


Bild: Netz mit Eingabedaten

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

Voraussetzung für die VoltVar Optimierung ist, dass der Punkt **Optimierung** im Menü **Berechnen** – **Methoden** (siehe Handbuch Bedienung, Kapitel Benutzeroberfläche, Abschnitt Voreinstellen der Berechnungsmethoden) aktiviert sind.

9.6.1 Starten der VoltVar Optimierung

Die VoltVar Optimierung wird über den Menüpunkt **Berechnen** – **Optimierung** – **VoltVar Optimierung...** gestartet. Hierbei wird ein Dialog geöffnet, in dem die wichtigsten Steuerparameter eingegeben werden können.

Wichtig ist hierbei, dass vor dem Öffnen des Dialoges im Grafikeditor ein Knoten oder Netzelement des Abganges markiert wird. Anhand dieser Auswahl wird dann jener Abgang bestimmt, in dem die Optimierung durchgeführt werden soll. Wenn Knoten bzw. Netzelemente aus mehreren Abgängen markiert werden, dann wird die Optimierung für all diese Abgänge durchgeführt.

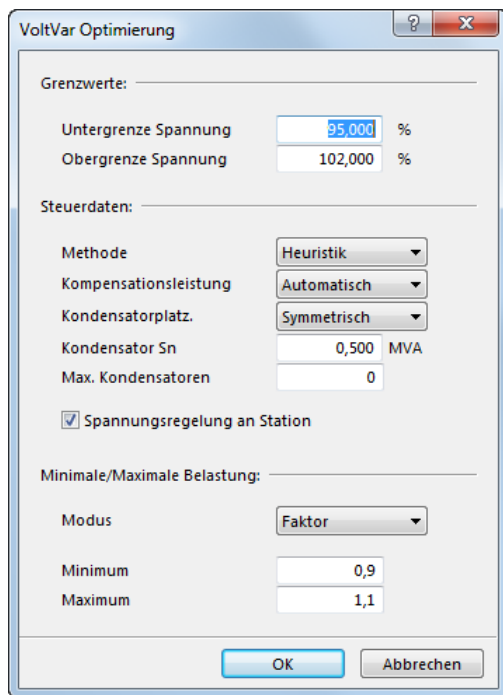


Bild: Steuerdialog für VoltVar Optimierung

Im Abschnitt **Grenzwerte** können die zulässigen Grenzen für die Spannung im Abgang an den Verbraucherknoten definiert werden.

Im Abschnitt **Steuerdaten** wird definiert, wie die VoltVar Optimierung durchgeführt wird.

Zwischen folgenden **Methoden** kann gewählt werden:

- **Heuristik:**
Mithilfe der Ergebnisse der einzelnen Platzierungen werden die Kombinationen aufgrund der Differenzen zum Basisergebnis berechnet. Kombinationen basieren auf bereits ermittelten und gültigen Kombinationen.
- **Ant Methode:**
Die Kombinationen entstehen mit Hilfe von Wahrscheinlichkeiten, Zufall und der Bewertung der einzelnen Platzierungen. Diese Methode kann schneller zu einem Ergebnis führen, liefert aber nicht immer idente Ergebnisse.

Um das Verfahren möglichst flexibel nutzbar zu machen, sind unterschiedliche Optimierungen möglich, die mit der Option **Kompensationsleistung** ausgewählt werden können:

- **Automatisch:**
Diese Optimierung erreicht die optimale Kompensation im Abgang. Es wird die Nennleistung der Kondensatoren vorgegeben und auch wie viele maximal eingebaut werden dürfen. Die erforderliche Kompensationsleistung wird vom Optimierungsverfahren automatisch bestimmt und natürlich auch die Positionen, an denen die Kondensatoren eingebaut werden.
- **Vordefiniert:**
Dies ist eine Optimierung mit fixen Vorgaben. Es wird definiert, wie viele Kondensatoren eingebaut werden, und auch die Nennleistung der Kondensatoren. Das Optimierungsverfahren bestimmt dann die optimalen Einbaupositionen.

Mit der Option **Kondensatorplatzierung** kann festgelegt werden, ob die Kondensatoren symmetrisch oder individuell pro Leiter angeschlossen werden.

Über die **Kondensatorleistung Sn** wird die Größe der Kondensatoren bestimmt, die in den Abgang eingebaut werden. Bei symmetrischer Platzierung wird hier die Drehstromleistung angegeben, bei Platzierung pro Leiter wird die Phasenleistung angegeben. Die im Abgang eingebauten Kondensatoren haben allesamt identische Leistungen, aber bei Bedarf werden auch mehrere Kondensatoren am selben Knoten eingebaut.

Mit **Max. Kondensatoren** kann definiert werden, wie viele Kondensatoren maximal im Abgang eingebaut werden. Bei der automatischen Optimierungsmethode ist dies ein Grenzwert, der nicht überschritten werden darf, aber die Anzahl der benötigten Kondensatoren wird durch das Optimierungsverfahren bestimmt. Wenn hier der Wert Null eingegeben wird, dann ist die Anzahl der Kondensatoren nicht begrenzt.

Mit der Option **Spannungsregelung an Station** wird am Anfang des Abganges eine Spannungsregelung vorausgesetzt, welche für Stark- und Schwachlast die optimale Anpassung vornehmen kann. Wenn diese Option aktiv ist, wird die minimale und maximale Spannung als Ergebnis bereitgestellt.

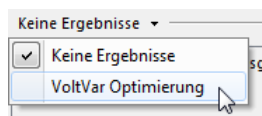
Im Abschnitt **Minimum/Maximum** für Belastung wird definiert, wie die Werte von Belastungen angepasst werden, um einen minimalen und maximalen Belastungszustand des Abganges zu simulieren. Hier sind folgende Optionen verfügbar:

- **Faktor:**
Alle Lasten und Asynchronmaschinen im Abgang werden mit einem definierten Faktor für Minimallast und Maximallast in der Optimierung berücksichtigt.
- **Arbeitspunkt:**
Hiermit kann eine individuelle Anpassung der Lasten durchgeführt werden. Dabei wird jeweils der für Minimum und Maximum zugeordnete Arbeitspunkt der Lasten verwendet.

9.6.2 Darstellen und Auswerten der Ergebnisse

Wenn die VoltVar Optimierung fehlerfrei durchgeführt werden kann, dann wird nach dem Abschluss der Berechnung automatisch das Ergebnisfenster für die **VoltVar Optimierung** angezeigt.

Das Ergebnisfenster kann auch später über den Menüpunkt **Ansicht – Ergebnisbrowser** oder **Berechnen – Ergebnisse – VoltVar Optimierung** geöffnet werden. Mit Hilfe des Auswahlfeldes wird die Ergebnisdarstellung für die **VoltVar Optimierung** aktiviert.



Durch diese Auswahl werden die letzten Ergebnisse geladen und im Ergebnisfenster bereitgestellt.

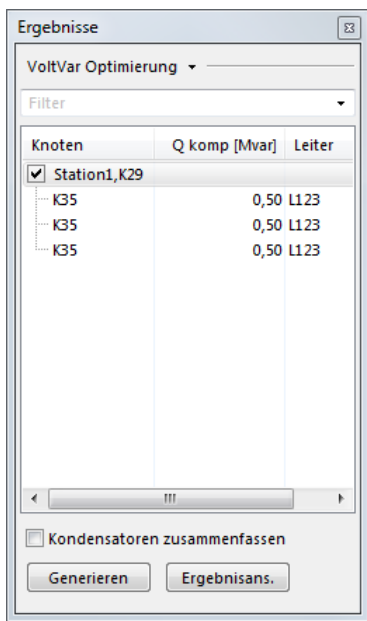


Bild: Ergebnisfenster für die VoltVar Optimierung

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.

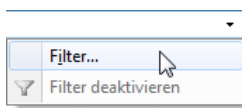


Bild: Menü zur Auswahl der Darstellung

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 dieser Liste werden pro optimierten Abgang die Ergebnisse des Optimierungsverfahrens dargestellt. Diese beinhalten alle Knoten, an denen die Kondensatoren angeschlossen werden sollten. Zusätzlich wird die Leistung des Kondensators und die Leiter, an denen dieser angeschlossen wird, im Dialog aufgelistet.

Über das Kontextmenü sind erweiterte Bearbeitungsfunktionen verfügbar.

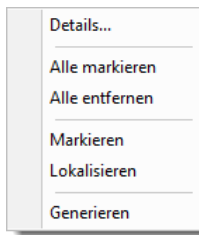


Bild: Kontextmenü der Verbraucher

- **Details:**
Die ausgewählten Ergebnisse werden in einer Datenmaske dargestellt.
- **Alle markieren:**
Alle Abgänge werden in der Liste markiert.
- **Alle entfernen:**
Alle Markierungen werden in der Liste entfernt.
- **Markieren:**
Der selektierte Knoten 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.
- **Generieren:**
Die Kondensatoren für alle markierten Abgänge werden im Netz erzeugt.

Ist die Option **Kondensatoren zusammenfassen** aktiviert, dann werden beim Generieren des Kondensators all jene errechneten Kompensationsleistungen an den gleichen Knotenpunkten und in denselben Leitern zu einem einzelnen Kondensator zusammengefasst.

Durch Drücken des Knopfes **Generieren** werden die Kondensatoren erzeugt.

Zusätzlich können die Ergebnisse der VoltVar Optimierung in der **Ergebnisansicht** angezeigt werden.

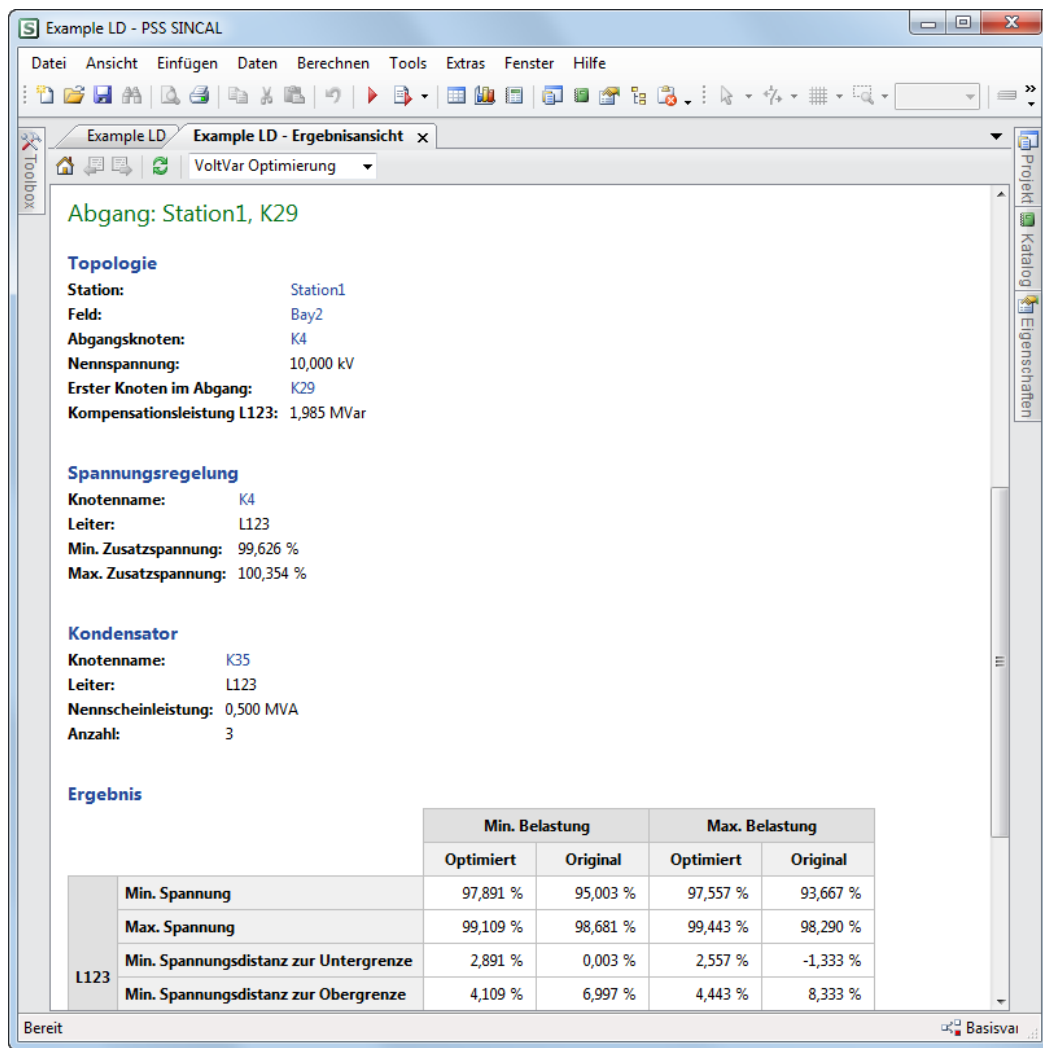


Bild: Ergebnisansicht der VoltVar Optimierung

Die Ergebnisansicht beinhaltet im oberen Teil die allgemeinen Eingabe- und Steuerdaten des Optimierverfahrens. Dann werden jeweils pro optimierten Abgang die Ergebnisse des Optimierverfahrens dargestellt. Diese zeigen die erreichten Spannungsgrenzwerte für die minimale und maximale Belastung im Abgang. Der Einbauort der Kondensatoren sowie die erforderliche Spannungsanpassung durch den Transformator werden ebenfalls dargestellt.

Zusätzlich zur Ergebnisansicht werden für alle optimierten Abgänge auch Ergebnisdiagramme generiert, die den Spannungsverlauf im Abgang vor und nach der Optimierung visualisieren.

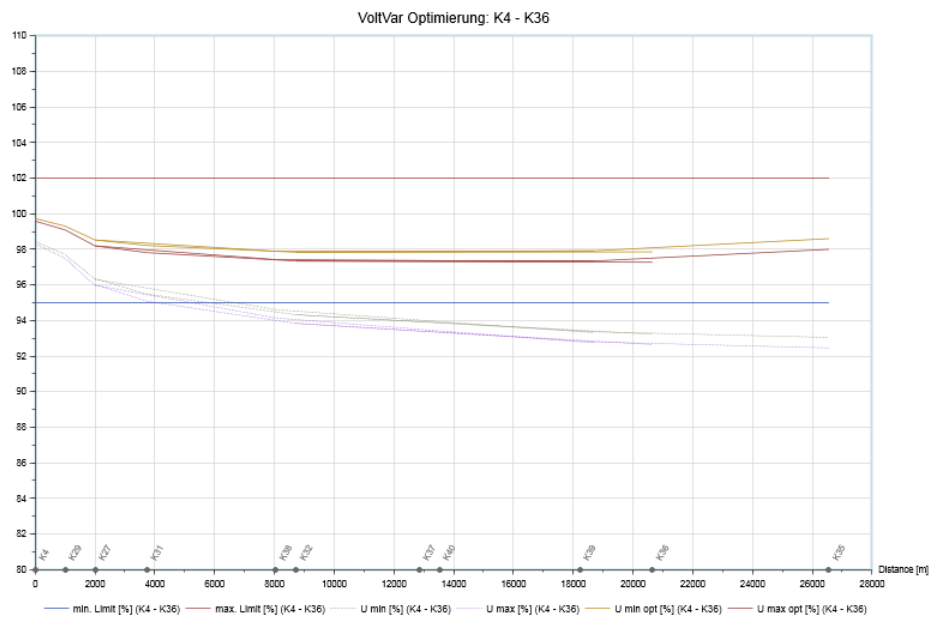


Bild: Ergebnisdiagramm der VoltVar Optimierung