



Hochschule Anhalt
Anhalt University of Applied Sciences

emw

Fachbereich
Elektrotechnik, Maschinenbau
und Wirtschaftsingenieurwesen

Bachelorarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Engineering (B. Eng.)

Felix Stange

Vorname Nachname

Elektro- und Informationstechnik, 2012,
4056379

Studiengang, Matrikel, Matrikelnummer

Thema:

**Überarbeitung des Schutzkonzeptes
für das Mittelspannungsnetz
der Stadtwerke Bernburg GmbH**

Prof. Dr. Igor W. Merfert

Vorsitzende(r) der Bachelorprüfungskommission

Prof. Dr. Igor W. Merfert

1. Prüfer(in)

Prof. Dr. Jürgen Schwarz

2. Prüfer(in)

06.04.2016

Abgabe am

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik.....	2
2.1 Netzaufbau	2
2.1.1 Einteilung der Spannungsebenen	2
2.1.2 Netzformen.....	2
2.1.3 Offener und geschlossener Betrieb	3
2.1.4 Schaltstationen	4
2.1.5 Netzeinbindungen.....	4
2.2 Netzelemente.....	5
2.2.1 Transformatoren	5
2.2.2 Wandler	6
2.2.3 Kabel.....	6
2.2.4 Freileitungen.....	7
2.3 Schutztechnik.....	8
2.3.1 Maximalstromzeitschutz	9
2.3.2 Distanzschutz	10
2.3.3 Differentialschutz.....	10
2.4 Berechnungen im Netz.....	11
2.4.1 Lastflussberechnung	12
2.4.2 Fehlerarten	12
2.4.3 Kurzschlussstromberechnung.....	13
2.4.4 Dreipoliger Kurzschluss.....	13
3 Vorstellung des Versorgungsbetriebes	15
3.1 Die Stadtwerke Bernburg GmbH.....	15
3.2 Beschreibung des Mittelspannungsnetzes der SWB.....	15

4	Erfassung der Schutzgeräte.....	20
4.1	Tabellarische Übersicht	20
4.2	Schutz-Topologie-Übersicht.....	20
5	Überprüfung der aktuellen Einstellwerte	23
5.1	Prüfung von UMZ-Schutzgeräten	23
5.1.1	Mechanische und thermische Belastung	23
5.1.2	Überstromstufe	25
5.1.3	Hochstromstufe - Berechnung des Kurzschlussstromes.....	25
5.1.4	Beispiel Landnetz – Schalthaus Zepzig.....	27
5.2	Prüfung von Distanzschutzgeräten	31
5.2.1	Anregung und Auslösung.....	31
5.2.2	Berechnung der Impedanz.....	33
5.2.3	Beispiel Landnetz – J21 „Schalthaus Zepzig“	34
5.3	Verteilung der Last	37
6	Anzupassende Schutzdaten.....	38
6.1	UMZ-Schutzgeräte - Überstromstufe	38
6.2	UMZ-Schutzgeräte - Hochstromstufe	38
6.3	Distanzschutzgeräte	39
7	Empfehlungen für den zukünftigen Einsatz	40
8	Zusammenfassung.....	41
	Literatur- und Quellenverzeichnis	VI
	Anlagenverzeichnis.....	VII
	Selbstständigkeitserklärung.....	XXVII

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Strahlen-, Ring- und Maschennetz (Quelle: (vgl.) [1, p. 20])	3
Abbildung 2.2: Strangnetz (Quelle: (vgl.) [1, p. 20])	3
Abbildung 2.3: Betriebsweise (Quelle: [1, p. 21])	4
Abbildung 2.4: Netzeinbindung (Quelle: [1, p. 23])	5
Abbildung 2.5: Umspannwerk (Quelle: (vgl.) [1, p. 18])	5
Abbildung 2.6: Wandler (Quelle: (vgl.) [1, p. 109])	6
Abbildung 2.7: Masttypen (Quelle: [1, p. 103]).....	7
Abbildung 2.8: Zeiten von Schutzsystemen (Quelle: [1, p. 117])	8
Abbildung 2.9: Zeitstaffelschutz (Quelle: [1, p. 123]).....	9
Abbildung 2.10: Staffelplan Distanzschutz (Quelle: [1, p. 124])	10
Abbildung 2.11: Differentialschutz am Transformator (Quelle: [1, p. 125])	11
Abbildung 2.12: Fehlerarten (Quelle: [1, p. 157]).....	12
Abbildung 2.13: Ungestörter und gestörter Betrieb (Quelle: [1, p. 154])	14
Abbildung 2.14: Übersichtsplan und Schaltplan (Quelle: (vgl.) [1, p. 159])	14
Abbildung 3.1: luftisolierte Zellen im UW Süd	16
Abbildung 3.2: Ausschnitt BHKW Friedenshall	17
Abbildung 3.3: Ausschnitt BHKW Strenzfeld	17
Abbildung 3.4: Schaltheis Gröna	18
Abbildung 3.5: Ausschnitt Schaltheis Gröna	19
Abbildung 3.6: Ausschnitt PVA mit Schutzgerät	19
Abbildung 4.1: Schaltzeichen Schutzsysteme (Quelle: (vgl.) [7, p. 336])	21
Abbildung 4.2: Übersichtsplan Stadtnetz mit Zentrale und UW West	21
Abbildung 4.3: Übersichtsplan Stadtnetz Rest.....	22
Abbildung 4.4: Übersichtsplan Landnetz.....	22
Abbildung 5.1: Bestimmung zulässiger Kurzschlussströme (Quelle: (vgl.) [10, p. 41]).....	24
Abbildung 5.2: Kurzzeitstromdichte für Aluminiumleiter (Quelle: (vgl.) [7, p. 458])	25
Abbildung 5.3: Ausschnitt Schaltheis Zepzig	27
Abbildung 5.4: Staffelplan UMZ-Schutz	28
Abbildung 5.5: Impedanzanregung mit polygonaler Charakteristik (Quelle: (vgl.) [11, p. 14]).....	31
Abbildung 5.6: Impedanzanregung mit kreisf. Charakteristik (Quelle: (vgl.) [11, p. 15])	32
Abbildung 5.7: Staffelplan Distanzschutz	34
Abbildung 5.8: Staffelplan UMZ- und Distanzschutz	36

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.1: Ausschnitt Schutzgeräteübersicht mit Einstellwerten.....	20
Tabelle 5.1: Einstellwerte "Schalthaus Zepzig"	27
Tabelle 5.2: Einstellwerte J21 „Schalthaus Zepzig“	34
Tabelle 5.3: Widerstandswerte Stufe 1	35

Abkürzungsverzeichnis

A	Ampere
AFE	Automatische Frequenzentlastung
AMZ	Abhängiges Maximalstromzeitrelais
AWE	Automatische Wiedereinschaltung
BHKW	Blockheizkraftwerk
EEA	Energieerzeugungsanlage
I	Elektrische Stromstärke
PVA	Photovoltaikanlage
R	Ohmscher Widerstand
SS	Sammelschiene
SWB	Stadtwerke Bernburg GmbH
U	Elektrische Spannung
UMZ	Unabhängiges Maximalstromzeitrelais
UMZ-R	Gerichtetes unabhängiges Maximalstromzeitrelais
UW	Umspannwerk
V, kV	Volt, Kilovolt
WP	Windpark
X	Reaktanz
Z	Impedanz

1 Einleitung

Jeder kennt wohl diese eine Geschichte die zur Erfindung des Blitzableiters führte. Ein amerikanischer Erfinder namens Benjamin Franklin lässt während eines Gewitters einen Drachen steigen, um die atmosphärische Elektrizität nachzuweisen. Ob er dieses Experiment tatsächlich durchführte ist umstritten; dass er damit Recht hatte nicht. Ihm folgten noch viele weitere namhafte Persönlichkeiten, die wir heutzutage vor allem als Einheiten technischer Größen kennen. Was im 18. Jahrhundert noch Ideen in den Köpfen der Forscher waren, ist für uns heute unentbehrlicher Alltag. Diese Abhängigkeit wird den Menschen jedoch nur bewusst, wenn es zu Ausfällen in der Energieversorgung kommt. Wo bei der Versorgung mit anderen Medien, wie Wasser oder Gas, zumindest noch kleinere Puffer vorhanden sind, bevor der Verbraucher es bemerkt, ist die Unterbrechung der Stromversorgung auch sofort beim Verbraucher zu spüren. Dies ist ärgerlich für jeden Betroffenen und besonders kritisch bei großen Produktionsbetrieben, die Millionenverluste bei einem Stromausfall hinnehmen müssen, oder Krankenhäusern, die ihre Patienten versorgen.

In Bernburg tritt die Stadtwerke Bernburg GmbH als Energieversorger auf. Um die Sicherheit und Zuverlässigkeit des Mittelspannungsnetzes heute und in Zukunft zu garantieren, sind regelmäßige Überprüfungen unumgänglich. Zu diesem Zweck werden im Verlauf dieser Bachelorarbeit alle Schutzgeräte erfasst und in einer Übersicht aufgelistet. Dazu zählen auch die in Kundeneigentum stehenden Geräte. Hinzu kommen die Details zu den Schutzgeräten sowie ihre aktuellen Einstellwerte. Das Energieversorgungsnetz ist Veränderungen unterworfen. Neue Stationen kommen hinzu, alte Stationen entfallen. Jeder Veränderung muss das Netz angepasst werden. Deshalb soll aus dieser Übersicht zunächst ein Plan erarbeitet werden, um die Lage der Schutzgeräte im Netz zu verdeutlichen und ihr Zusammenspiel überprüfen zu können. Auf dieser Grundlage können die heute nötigen Einstellungen berechnet werden und mit den erfassten aktuellen Einstellwerten verglichen werden. Dabei wird unter anderem das Netzberechnungsprogramm CERBERUS von Adapted Solutions verwendet. Nach Prüfung aller Werte können Empfehlungen für anzupassende Schutzgeräte unter technischen und wirtschaftlichen Bedingungen gegeben werden.

2 Stand der Technik

2.1 Netzaufbau

2.1.1 Einteilung der Spannungsebenen

Üblicherweise unterteilt man das Spannungsnetz in vier Ebenen mit jeweils eigener Nennspannung. Diese Ebenen sind durch Umspannungen miteinander verbunden. Das Höchstspannungsnetz mit 380 kV dient zur Übertragung im europäischen Verbundnetz. Das Hochspannungsnetz mit 110 kV ist das erste Verteilernetz und versorgt Städte und Landkreise. Unter dem Mittelspannungsnetz versteht man 10, 15, 20 und 30 kV-Netze, wobei das Bernburger Mittelspannungsnetz 20 kV nutzt, um die Wohn- und Gewerbegebiete zu versorgen. Zuletzt ist noch das Niederspannungsnetz zu erwähnen. Es versorgt die Endkunden mit den üblichen 400 V und auch einige Industriebetriebe mit 690 V. [1, p. 17] Die angegebenen Spannungen sind verkettet, man spricht von der Leiter-Leiter-Spannung.

2.1.2 Netzformen

Die einfachste Netzform ist das Strahlennetz. Es ist am einfachsten zu konstruieren und im Fehlerfall zu reparieren. Da es nur einfach gespeist wird, gibt es keinerlei Redundanz, sodass die Wiederversorgung erst nach Reparatur möglich ist.

Bei günstiger Planung ist der Mehraufwand zum Ringnetz gering, da lediglich die Verbindung fehlt, um den Ring zu schließen. Hierbei werden beide Enden des Rings auf dieselbe Sammelschiene (SS) geführt, sodass zwei aktive Transformatoren nötig sind. So können jederzeit Teilnetze außer Betrieb genommen werden bei gleichzeitiger Weiterversorgung der restlichen Teile. Lediglich der Fehler muss zunächst gefunden werden, um das betroffene Teilnetz zu bestimmen. Der Zeitdruck für die Reparatur entfällt. Diese Netzform ist (n-1)-sicher. Im Maschennetz sind zusätzlich Verbindungen zwischen Netzknoten vorhanden und führen zu einer höheren Versorgungssicherheit. Diese Netzform ist betrieblich jedoch sehr anspruchsvoll, für das Schaltpersonal unübersichtlich und erschwert die Fehlersuche. Schalthandlungen müssen genau geplant werden, aber die Versorgungsunterbrechung kann insgesamt verkürzt werden.

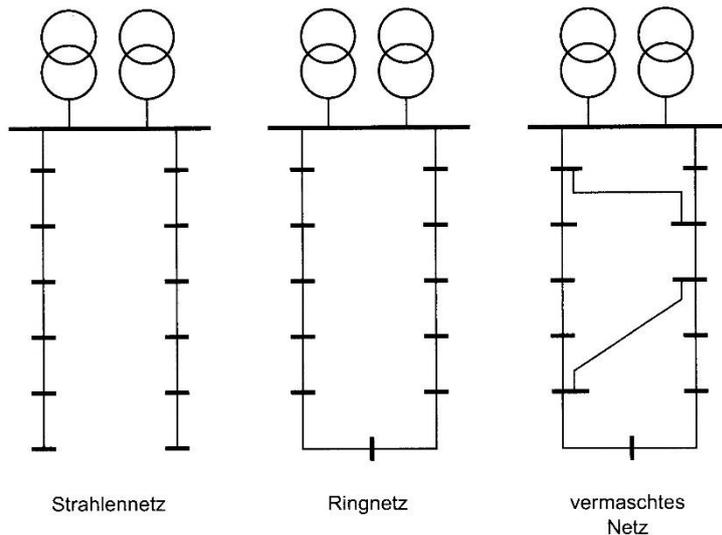


Abbildung 2.1: Strahlen-, Ring- und Maschennetz (Quelle: (vgl.) [1, p. 20])

Im Unterschied zum Ringnetz werden die Enden des Strangnetzes auf verschiedene Sammelschienen mit eigener Einspeisungen aufgelegt und benötigen im normalen Betrieb nur einen aktiven Transformator. Deshalb muss es auch nicht (n-1)-sicher sein. [1, p. 20 ff]

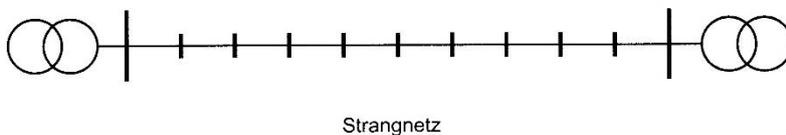


Abbildung 2.2: Strangnetz (Quelle: (vgl.) [1, p. 20])

2.1.3 Offener und geschlossener Betrieb

Ring- und Strahlennetze können im geschlossenen aber auch im offenen Betrieb gefahren werden. Dazu wird in der Nähe des Versorgungstiefpunktes ein Schalter geöffnet. Die dazugehörige Station wird dann als Trennstelle bezeichnet. Auf diese Weise können im normalen Betrieb die Vorteile des Strahlennetzes genutzt werden. Gleichzeitig wird im Fehlerfall durch Umschaltung die Versorgungssicherheit des Ring- bzw. Strangnetzes erhalten. [1, p. 21]

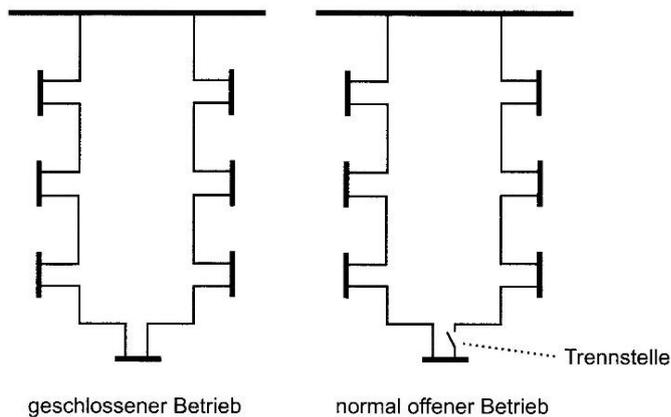


Abbildung 2.3: Betriebsweise (Quelle: [1, p. 21])

2.1.4 Schaltstationen

In Schaltstationen laufen mehrere Ringe oder Stränge zusammen. Sie besitzen eigene Schutz-ausrüstung und sind meist fernsteuerbar. Ihre Ausstattung entspricht annähernd einem Umspannwerk, jedoch sind sie nicht direkt, sondern erst über weitere Leitungen, an die Einspeisung angebunden. Wenn in der Zubringerleitung bereits Stationen eingebunden sind, können Probleme mit den Netzverlusten und dem Spannungsabfall auftreten. Zudem ist ein erhöhter Kapitalaufwand für ihre Unterhaltung nötig. Dem gegenüber erhöhen sie aber die Zuverlässigkeit des Netzabschnitts durch die zusätzliche Schutz-ausrüstung. [1, p. 22]

2.1.5 Netzeinbindungen

Anschlussleitungen können als Stichleitung über Abzweigmuffen bzw. Kreuztraversenmaste mit dem Netz verbunden werden. Diese Einbindung ist kostengünstig und gefährdet nicht die Ringleitungen, jedoch kann der Anschluss bei Störungen erst nach Reparatur wiederversorgt werden.

Für die Einschleifung trennt man die Ringleitung auf und realisiert den Anschluss über zwei parallel laufende Leitungen. Dies erhöht die Versorgungssicherheit für den Anschluss, aber steigert auch die Kosten sowie die Belastung des Ringes bzw. Stranges, da die Leitungslänge steigt. [1, p. 23 ff]

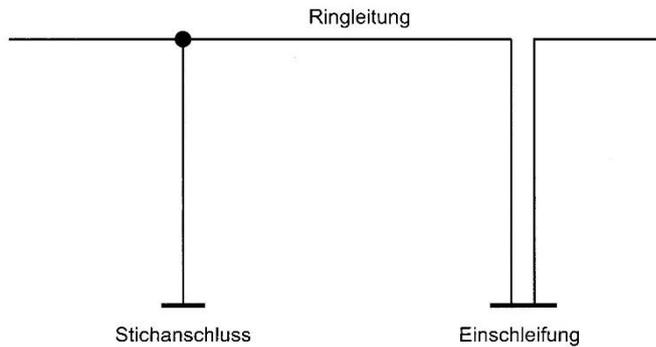


Abbildung 2.4: Netzeinbindung (Quelle: [1, p. 23])

2.2 Netzelemente

2.2.1 Transformatoren

Um Spannung und Strom an die Anforderungen von Erzeugern und Verbrauchern anzupassen, sind Transformatoren unerlässlich. Zur Umspannung sind mindestens zwei Wicklungsteile erforderlich. Die Wicklung auf der Seite der Einspeisung wird als Primärwicklung bezeichnet. Dabei ist es unerheblich, ob die Spannung dort höher oder niedriger ausfällt. Die Wicklung, die die Energie wieder abgibt, wird als Sekundärwicklung bezeichnet. Die Unterspannungswicklung befindet sich meist innen, nahe am Eisenkern. Entsprechend den Spannungsebenen tragen die Transformatoren eigene Bezeichnungen, Netztransformatoren zwischen dem 110 kV- und dem 20 kV-Netz, Ortsnetztransformatoren zwischen dem 20 kV- und dem 400 V-Netz. [1, p. 25 ff]

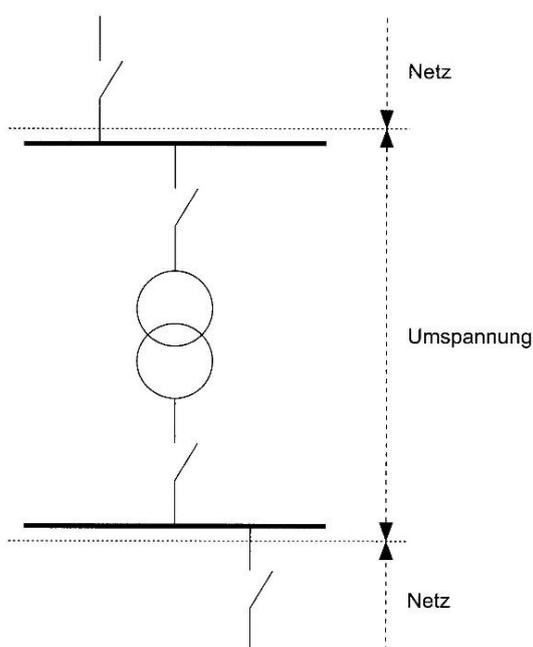


Abbildung 2.5: Umspannwerk (Quelle: (vgl.) [1, p. 18])

2.2.2 Wandler

Für die messtechnische Erfassung von Strömen und Spannungen sind Wandler nötig. Diese übersetzen unter Anwendung des Transformatorprinzips die Leitungsgrößen in akzeptable Größen für die Messgeräte. Typisch sind 1 A- oder 5 A-Wandler für den Strom bzw. 100 V-Wandler für die Spannung. Die Messgeräte werden sekundärseitig wie üblich verbaut, d.h. Voltmeter parallel und Amperemeter in Reihe. Bei Stromwandlern ist auf die korrekte Einbaurichtung zu achten. Außerdem dürfen sie niemals offen betrieben werden, da sonst der gesamte Primärstrom als Magnetisierungsstrom auftritt und sekundärseitig eine starke Spannungsspitze entsteht, der die Isolierung nicht standhalten kann. Neben der Übersetzung sorgen Wandler für eine elektrische und magnetische Isolierung der Messgeräte gegenüber den Hochstrom- bzw. Hochspannungsanlagen. [1, p. 108 ff]

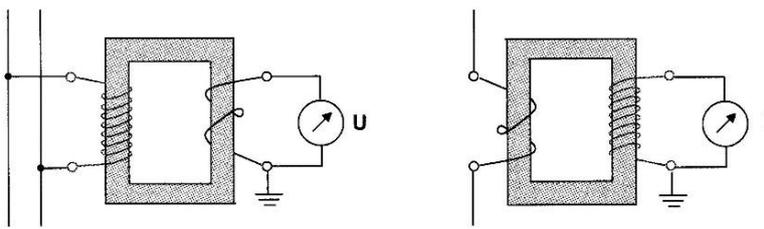


Abbildung 2.6: Wandler (Quelle: (vgl.) [1, p. 109])

2.2.3 Kabel

Als Kabel werden die in der Erde verlegten Leitungen zur Energieversorgung bezeichnet. Im Mittelspannungsbereich wurden bisher überwiegend papierisolierte, ölgetränkte Kabel verwendet. Bei Neuanlagen und Erweiterungen setzt man mittlerweile auf einadrige VPE-isolierte Kunststoffkabel. Diese bestehen aus Kupfer- oder Aluminiumleiter, Rußpapier als Leitschicht, VPE-Isolierung, Kupferdrahtschirm und PE-Mantel. Massekabel bleiben weitestgehend von Alterungserscheinungen verschont, jedoch kann bei Erwärmung die Öltränkung inhomogen werden, was zu einer ungleichmäßigen Isolierung führt. Die Isolierung von Kunststoffkabeln bleibt zwar stets gleichmäßig, jedoch altert der Kunststoffanteil und wird brüchig.

Um mit einem Aluminiumkabel die gleiche elektrische Leitfähigkeit zu erreichen wie mit einem Kupferkabel, muss der Leiter einen 60 % stärkeren Querschnitt haben, wiegt dabei aber nur etwa die Hälfte. Damit ein Leiter mit größerem Querschnitt ausreichend biegsam bleibt, wird mehrdrähtiges Aluminium verwendet. Außerdem ergeben sich aus ihm die maximale

elektrische Belastbarkeit und Erwärmung. Zudem muss in wirtschaftlicher Hinsicht ein langfristiges Optimum zwischen Anschaffungs-/Installationskosten und Verlustleistung gefunden werden.

Verlustleistung bedeutet, dass sich die Kabel bei Belastung erwärmen und so ständig Energie verloren geht. Um eine dauerhafte Haltbarkeit des Kabels zu gewährleisten, muss die entstehende Wärme abgeführt werden. Dazu müssen Faktoren wie Umgebungstemperatur, Belastungsgrad, Verlegeart und Kabelanzahl berücksichtigt werden. Bei übermäßiger Erwärmung des Kabels steigt auch der Leitungswiderstand, sodass wiederum ein größerer Strom fließt, der das Kabel noch stärker erwärmt. Bei Überbelastung droht ein Durchbrennen. Für die Ortung von Fehlerstellen und die Kontrolle der Kabelqualität gibt es spezielle Kabelmesswagen. [1, p. 86 ff]

2.2.4 Freileitungen

Als Freileitung bezeichnet man Konstruktionen von Leiterseilen, die mit Isolatoren und Armaturen zwischen Masten gespannt werden. Im Mittelspannungsbereich ist diese Art der Leitung noch weit verbreitet. Die Installation von Freileitungen ist gegenüber Kabeln günstiger und Reparaturen sind einfacher und schneller durchzuführen. Durch die geringe öffentliche Akzeptanz und die Empfindlichkeit gegenüber der Umwelt werden aber immer mehr Kabel genutzt. Um stärkeren Umwelteinflüssen entgegenzuwirken, können auch VPE-isolierte Seile, die den Kunststoffkabeln ähnlich sind, eingesetzt werden. [1, p. 103 ff]

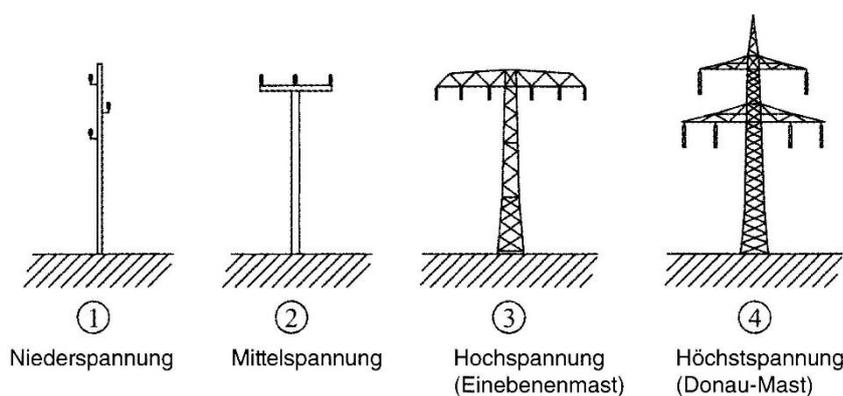
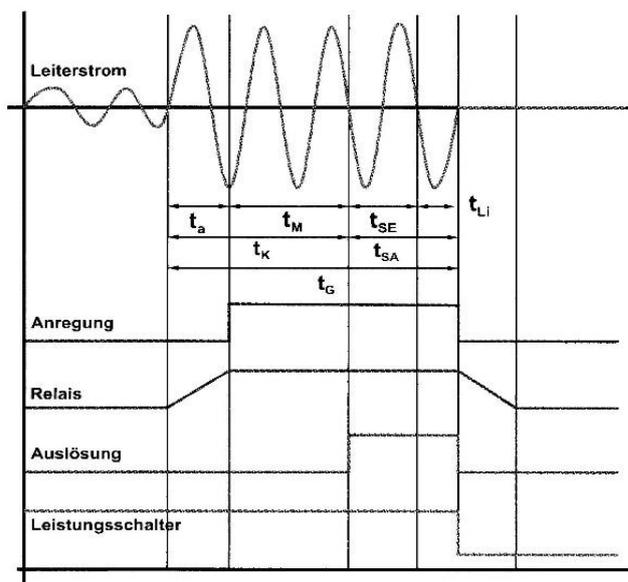


Abbildung 2.7: Masttypen (Quelle: [1, p. 103])

2.3 Schutztechnik

Um elektrische Betriebsmittel vor Überbelastung in jedem Fall zu schützen, müssen Vorkehrungen getroffen werden. Dabei müssen für die Fehlerstromschätzung viele Faktoren berücksichtigt werden. Dazu zählen unter anderem die Höhe der Betriebsspannung, die relative Kurzschlussspannung der Transformatoren sowie der Netzaufbau mit den vorhandenen Schaltern, Energieeinspeisungsanlagen und Verbrauchern. Damit die Schutzrelais zuverlässig auslösen, muss die Streuung der möglichen Kurzschlussströme richtig interpretiert und für die Relaiseinstellung ausgewählt werden. So können unnormale Betriebszustände an der Fehlerstelle erfasst und der gestörte Teil zügig vom Netz getrennt werden, um eine Beeinflussung des restlichen Netzes zu verhindern und die Netzstabilität zu gewährleisten.

Bei den Maximalstromzeitschutzrelais und Distanzschutzrelais ist die Einstellung so vorgesehen, dass das Relais zuerst auslöst, das dem Fehler am nächsten ist. So wird erreicht, dass im Fehlerfall die Versorgung von so wenig wie möglich Stationen unterbrochen wird. Neben der eingestellten Verzögerungszeit muss auch die Ausschaltzeit berücksichtigt werden, da sonst bereits das weiter entfernte Relais auslöst und die Versorgung von mehr Stationen als nötig abgeschaltet wird. An ein Schutzsystem werden also vor allem die Forderungen nach Selektivität und Schnelligkeit gestellt. [1, p. 115 ff]



t_a : Ansprechzeit t_m : Ansprechzeit Messglied
 t_k : Kommandozeit t_{SE} : Schalt ereigenzeit
 t_{Li} : Löschzeit t_{SA} : Ausschaltzeit
 t_G : Kurzschlussdauer

Abbildung 2.8: Zeiten von Schutzsystemen (Quelle: [1, p. 117])

2.3.1 Maximalstromzeitschutz

Das Unabhängige Maximalstrom-Zeitrelais (UMZ) ist eine Kombination aus Überstrom- und Zeitrelais. Neben der Überstromauslösung kann eine weitere Stufe für die Schnellauslösung gewählt werden. Außerdem ist es möglich die Richtung der Kurzschlussleistung festzulegen, jedoch wird dann neben dem Stromwandler auch ein Spannungswandler benötigt. Dies nennt man einen gerichteten UMZ-Schutz oder UMZ-R. Beim Überschreiten einer eingestellten Stromstärke und Ablauf der zugehörigen Verzögerungszeit löst das Relais aus. Dabei ist der tatsächlich fließende Strom unerheblich für das Auslöseverhalten. Die Zeit- und Auslösewertstaffelungen werden so gewählt, dass das Relais, das der Fehlerstelle am nächsten ist, zuerst auslöst. Bei vielen Stationen ergeben sich so relativ hohe Abschaltzeiten an der Einspeisung, wodurch die Forderung nach Selektivität und Schnelligkeit nicht erfüllt werden kann.

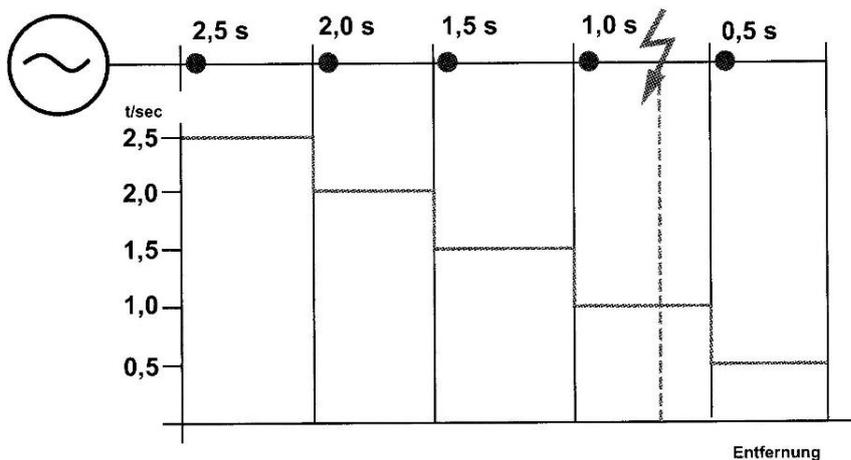


Abbildung 2.9: Zeitstaffelschutz (Quelle: [1, p. 123])

Das Abhängige Maximalstrom-Zeitrelais (AMZ) ist anders als das UMZ-Schutzgerät von der tatsächlichen Stromstärke abhängig. Diese wirkt sich nach Überschreitung des Ansprechstromes direkt auf die Auslösezeit aus. Das AMZ-Schutzgerät wird überwiegend zum Schutz von Motoren und Transformatoren eingesetzt, da diese im Einschaltmoment einen sehr hohen Strom benötigen. [1, p. 122 ff]

2.3.2 Distanzschutz

Der Distanzschutz arbeitet ebenfalls mit Zeitstaffelungen, aber in Abhängigkeit vom Widerstand. Bei einem Kurzschluss bricht die Spannung zusammen und es fließt ein hoher Strom, sodass sich eine kleine Impedanz ergibt. Umso näher die Fehlerstelle am Schutzgerät liegt, desto kleiner ist die Impedanz und wird schneller abgeschaltet. Die Impedanz ist also auch ein Maß für die Entfernung der Fehlerstelle vom Relais. Auch hier kann die Richtung bestimmt werden. Im Fehlerfall werden zunächst alle Relais in der Kurzschlussstrecke angeregt und messen die Impedanz. Nachdem das nächstgelegene Relais ausgelöst hat, fallen die anderen Relais wieder in die Ruhelage zurück. [1, p. 124]

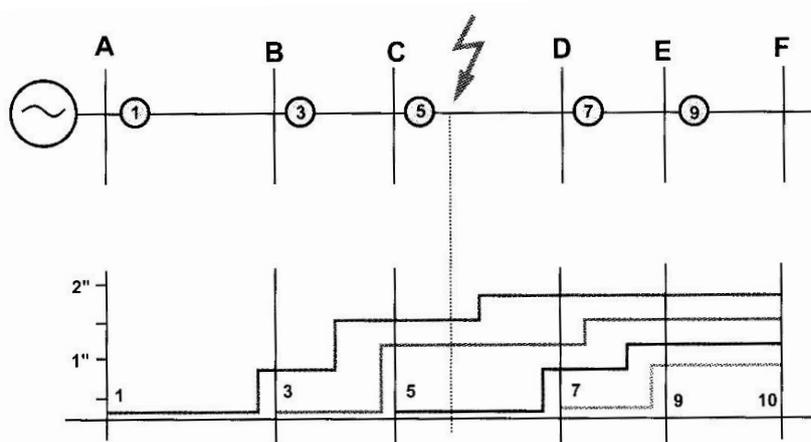


Abbildung 2.10: Staffelplan Distanzschutz (Quelle: [1, p. 124])

In Abbildung 2.10 liegt der Fehler zwischen den Stationen C und D. Die Relais A bis C werden angeregt. Da sich für C die geringste Staffelzeit ergibt, löst dieses zuerst aus und die anderen Relais fallen wieder ab. Falls C versagt, bilden sie die Reserve.

2.3.3 Differentialschutz

Zur Erkennung von inneren und äußeren Kurzschlüssen, Doppelerdschlüssen und Windungsschlüssen an Transformatoren eignet sich der Differentialschutz. So wird verhindert, dass Transformatorfehler als Sammelschienenfehler erkannt werden und parallel arbeitende Transformatoren mit abgeschaltet werden. Beim Differentialschutz werden die Ströme auf beiden Seiten des zu schützenden Objektes gemessen und ihr Betrag und ihre Phasenlage miteinander verglichen. Die Einrichtung des Schutzgerätes erfolgt so, dass die Ströme auf beiden Seiten gleich sind, sich gegenseitig aufheben und somit kein Strom durch die Brücke

fließt. Bei einem Kurzschluss zwischen den Wicklungen ändert sich die Stromstärke in der betroffenen Wicklung, da die Wicklungszahl abnimmt. In diesem Fall fließt der Differenzstrom von der Speiseseite über das Auslöserelay ab und regt dieses an. Kleinere Fehlerströme können bereits im Betrieb auftreten und Öltransformatoren sind im kleinen Bereich selbstheilend. Für den Normalbetrieb muss das Auslöserelay gegen Leerlauf- und Anlaufströme des Transformators stabilisiert werden.

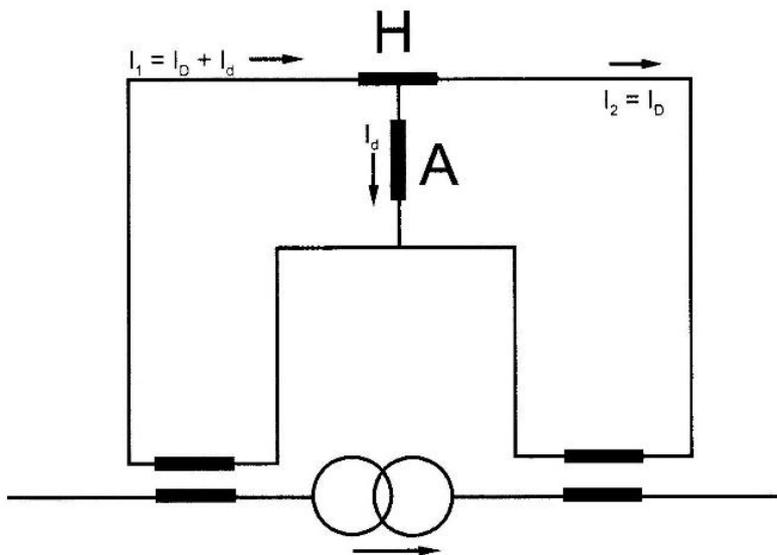


Abbildung 2.11: Differentialschutz am Transformator (Quelle: [1, p. 125])

Um das Differentialschutzprinzip auch auf Leitungen anzuwenden, ist es nötig eine Hilfsleitung zwischen dem Kabeleingang und -ausgang zu verlegen. Dabei muss die Länge der Hilfsleitung berücksichtigt werden, da sie die Impedanz erhöht. [1, p. 125 ff]

2.4 Berechnungen im Netz

Durch Berechnungen ist es möglich das Versorgungsnetz effizient und zuverlässig zu gestalten. Das betrifft nicht nur neue Netzteile, sondern auch sich verändernde Bestandsnetze. Durch die Berechnung von Kurzschlussströmen kann die Beanspruchung der Betriebsmittel im Störfall ermittelt werden. Dazu wird zunächst die symmetrische Komponente, d.h. der dreipolige Kurzschluss, berechnet. Daraus kann anschließend auch die asymmetrische Komponente bestimmt werden. Insbesondere bei vermaschten Netzen ist dies sehr aufwändig. Netzberechnungssoftware wie CERBERUS von Adapted Solutions ist daher besonders hilfreich. Damit lassen sich sowohl die Kurzschlussströme in verschiedenen Fehlerfällen errechnen als auch Lastflussanalysen durchführen.

2.4.1 Lastflussberechnung

Lastflussanalysen stellen das Netz im Normalbetrieb, also ohne Fehler, dar. Dabei werden Strom, Spannungsabfall sowie Blind- und Wirkleistung ermittelt, um die Auslastung der Betriebsmittel einschätzen zu können. Mit Hilfe eines Netzberechnungsprogramms kann so z.B. das Ergebnis einer Schalthandlung angezeigt oder die optimale Lage einer Trennstelle für offen betriebene Ringe/Maschen gefunden werden. Für die Berechnung wird jedem Betriebsmittel ein elektrisches Ersatzschaltbild mit dessen Werten zugewiesen. Begonnen wird mit der Berechnung im Leerlauf. Diese wird wiederholt durchgeführt, solange bis sich das Ergebnis kaum noch ändert. [1, p. 152 ff]

2.4.2 Fehlerarten

Fehler in elektrischen Netzen entstehen durch Verbindungen zwischen den Leitern oder mindestens einem Leiter mit der Erde. Einfluss auf den Fehler hat dabei auch die Sternpunktterdung. [1, p. 157 ff]

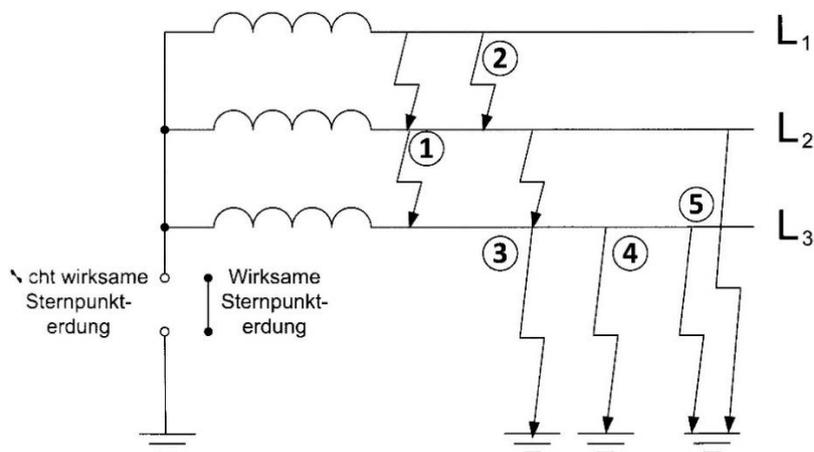


Abbildung 2.12: Fehlerarten (Quelle: [1, p. 157])

Folgende Fehlerarten sind unabhängig von der Sternpunktterdung:

1. dreipoliger Kurzschluss I_{k3}
2. zweipoliger Kurzschluss I_{k2} (kann aus I_{k3} berechnet werden)
3. zweipoliger Kurzschluss mit Erdberührung I_{k2E}

Bei wirksamer Sternpunktterdung können sich außerdem folgende Fehler ergeben:

4. einpoliger Kurzschluss bzw. Erdkurzschluss I_{k1}
5. Doppelerdkurzschluss

Bei nicht wirksamer Sternpunkterdung (isolierter Sternpunkt) ergeben sich für die Fehler 4 und 5 andere Bezeichnungen und Ströme:

4. Erdschluss I_E
5. Doppelerdschluss

2.4.3 Kurzschlussstromberechnung

Neben der Lastflussanalyse ist auch die Kurzschlussstromberechnung ein wichtiges Werkzeug der Netzbewertung. Für die mechanische und thermische Auslegung ist der maximale Kurzschlussstrom entscheidend. So können bezüglich ihrer Kurzschlussfestigkeit geeignete Betriebsmittel für neue Netzteile ausgewählt und vorhandene Elemente überprüft werden. Anhand des minimalen Kurzschlussstromes werden die Schutzgeräte eingerichtet, um den Netzbetrieb zu optimieren. Kurzschlüsse treten nur im Fehlerfall auf. Zum Beispiel können Freileitungen von Bäumen beschädigt oder Kabel bei unbesonnenen Erdarbeiten durchtrennt werden. [1, p. 153]

2.4.4 Dreipoliger Kurzschluss

Im Normalbetrieb ist die Einspeisung symmetrisch, hingegen kann die Belastung leicht unsymmetrisch sein. Der Strom wird hauptsächlich durch die Verbraucherimpedanz bestimmt. Bei einem dreipoligen Kurzschluss besteht Kontakt zwischen allen drei Phasen zur gleichen Zeit. Es handelt sich dabei um eine symmetrische Belastung, d.h. der Strom fließt über alle drei Phasen gleichmäßig ab. Wird der Betrieb durch einen Kurzschluss gestört, entfallen alle Impedanzen, die aus Sicht der Einspeisung hinter dem Kurzschluss liegen. Der Strom wird folglich nur noch durch die Impedanzen der Leitungen bestimmt. Daraus resultiert ein, im Vergleich zum vorherigen Betriebsstrom, sehr viel größerer Kurzschlussstrom. Mit dem sogenannten Überlagerungsverfahren lassen sich Kurzschlüsse genau berechnen, da es alle Verbraucher berücksichtigt, die auch vor dem Fehlerfall vorhanden waren und weiterhin fließen.

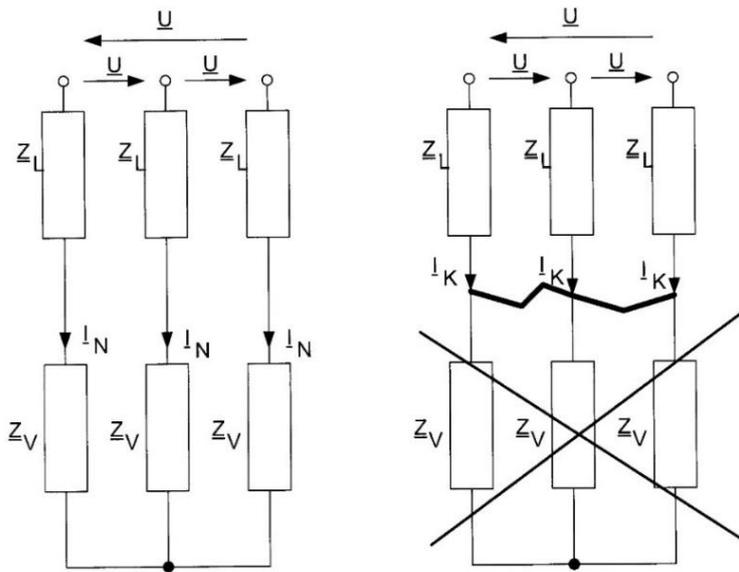


Abbildung 2.13: Ungestörter und gestörter Betrieb (Quelle: [1, p. 154])

Für die vereinfachte Methode nach DIN VDE 0102 „Verfahren der Ersatzspannungsquelle“ werden außerdem auch alle Ströme zu parallel liegenden Verbrauchern vernachlässigt, da sie ohnehin sehr klein werden. [2] Man sagt dazu: „der Strom sucht sich den Weg des geringsten Widerstandes“. Diese Methode ist ausreichend genau für die Abschätzung der maximalen und minimalen Kurzschlussströme. Hinzu kommen aus Sicht der Quelle die Impedanzen der Einspeisung und der dazwischenliegenden Transformatoren. So ergibt sich ein verändertes Ersatzschaltbild.

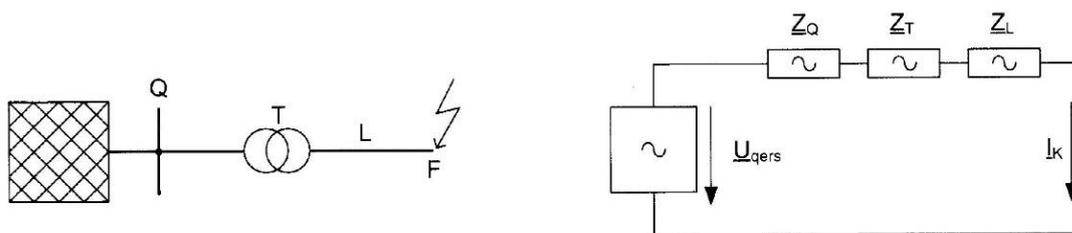


Abbildung 2.14: Übersichtsplan und Schaltplan (Quelle: (vgl.) [1, p. 159])

3 Vorstellung des Versorgungsbetriebes

3.1 Die Stadtwerke Bernburg GmbH

Die Geschichte der Bernburger Energiewirtschaft beginnt vor über 100 Jahren mit dem Bau des ersten Gaswerkes am heutigen Platz der Jugend, das jedoch 40 Jahre später wieder aufgegeben werden musste. Erfolgreicher lief es für das Wasserwerk Leopoldshall und das Gaswerk in der Köthenschen Straße. Beide Werke wurden 1939 erstmals als Stadtwerke Bernburg geführt. Nach dem Ende des 2. Weltkrieges kam es zur Enteignung. Erst seit 1991 existiert die Stadtwerke Bernburg GmbH (SWB) in ihrer heutigen Form. [3]

Die SWB versorgt ihre Kunden mit Strom, Erdgas und Fernwärme. Momentan setzt sich der Strom aus 14,6 % erneuerbarer Energie (Wasser, Wind, Sonne), 80 % fossile Energie und 5,4 % Kernenergie zusammen. Über insgesamt 63,5 km Freileitung und 541,5 km Kabelleitung wurden im Jahr 2014 36.817 Einwohner auf einer Fläche von 10.580 ha versorgt. Über das Mittelspannungsnetz wurden 75.024.567 kWh an 65 Entnahmestellen und über das Niederspannungsnetz 74.440.769 kWh an 24.761 Entnahmestellen geliefert. 2015 wurde das Unternehmen nach DIN EN ISO 50001 zertifiziert für die nachgewiesene Anwendung eines Energiemanagementsystems. [4]

3.2 Beschreibung des Mittelspannungsnetzes der SWB

Moderne Umspannwerke haben mindestens zwei Sammelschienen. Jede Sammelschiene verfügt über eine eigene Einspeisung und einen Netztransformator. Gespeist wird das Mittelspannungsnetz vom 110 kV-Netz der MITNETZ STROM GmbH. Die Teilung der Sammelschienen sorgt für eine erhöhte Versorgungssicherheit. Wenn einer der Netztransformatoren durch Störung oder Wartung außer Betrieb genommen werden muss, kann dessen Versorgungsnetz an die Sammelschiene der anderen Einspeisung gekuppelt werden, um eine Versorgungsunterbrechung zu vermeiden. Von den Sammelschienen gehen die Zweige ab, die die Stationen versorgen.

Überwiegend setzt die SWB auf eine Ringstruktur im offenen Betrieb mit drei Strahlen. Die einzelnen Strahlen sind im Umspannwerk (UW) mit je einem UMZ-Schutzgerät gesichert. Momentan bilden nur drei Abzweige eine Ausnahme und werden mit Distanzschutzgeräten überwacht. Es besteht jedoch bereits die Intention die UMZ-Schutzgeräte in den Umspannwerken durch Distanzschutzgeräte zu ersetzen, um Fehler genauer lokalisieren zu können.

Das UW West ist deutlich kleiner als das UW Süd und befindet sich vollständig unter der Kopfstation „Zentrale“. Zwischen dem UW Süd und dem UW West bestehen drei Querverbindungen. So können die Zweige des UW West notfalls auch über das UW Süd versorgt werden. Diese Möglichkeit hat historische Ursachen, da das UW Süd diese Zweige bereits versorgte als das UW West noch nicht existierte.



Abbildung 3.1: luftisolierte Zellen im UW Süd

An die Kopfstation „BHKW“ ist das namensgebende „Blockheizkraftwerk Friedenshall“ angebunden. Die drei Zugänge zur Kopfstation werden als geschlossener Ring betrieben und sind jeweils durch ein gerichtetes UMZ-Schutzrelais gesichert. Die vier Module des Kraftwerkes besitzen je ein Differentialschutzgerät für den Transformator sowie ein UMZ-Schutzgerät. Das Differentialschutzgerät ist als Blockschutzgerät ausgelegt, d.h. es werden neben dem Transformator auch der Generator und die dazwischenliegende Leitung überwacht. Der Blockschutz ermöglicht den Schutz von der Erregung bis zum Netz.

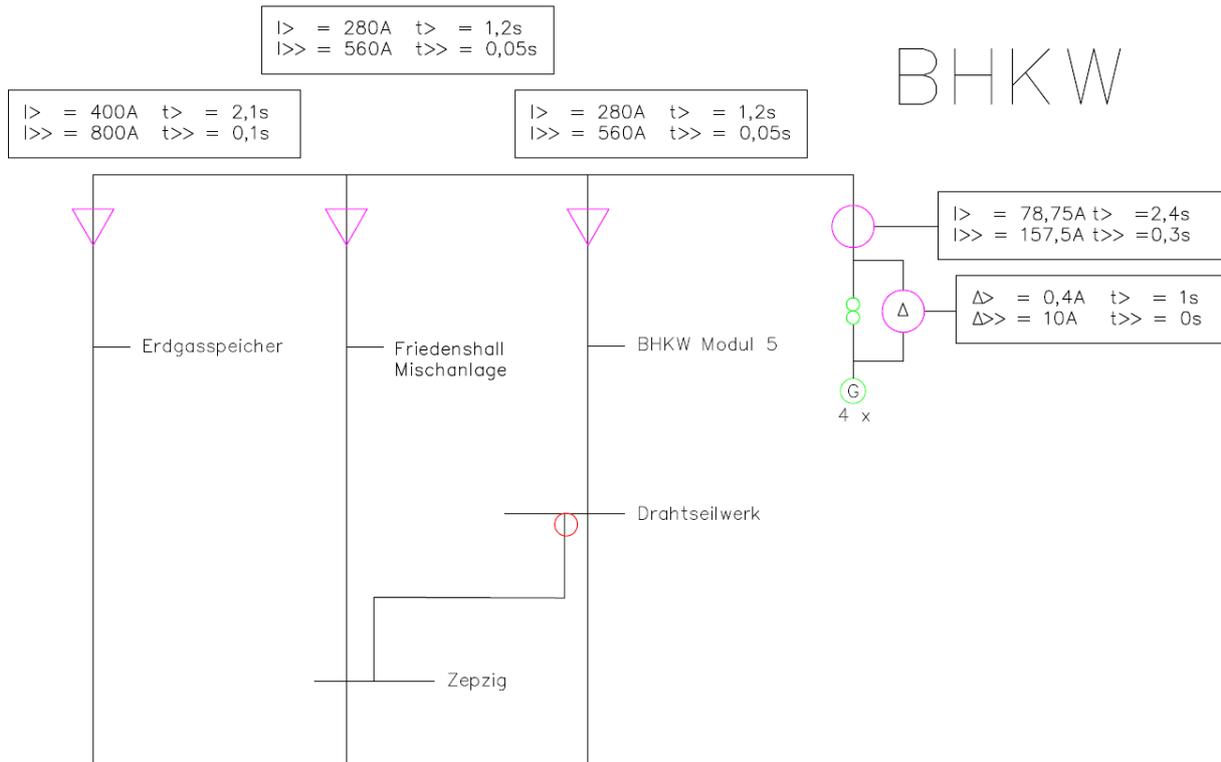


Abbildung 3.2: Ausschnitt BHKW Friedenshall

Ein weiteres geschlossenes Ringnetz wird vom UW West versorgt. Innerhalb des Rings speist das Blockheizkraftwerk Strenzfeld ein. Es sichert seine Transformatoren mittels UMZ-Schutzgeräten. Außerdem sind an der Stichleitung netzseitig Distanzschutzgeräte verbaut, die das Netz bis zur Einspeisung am Umspannwerk überwachen.

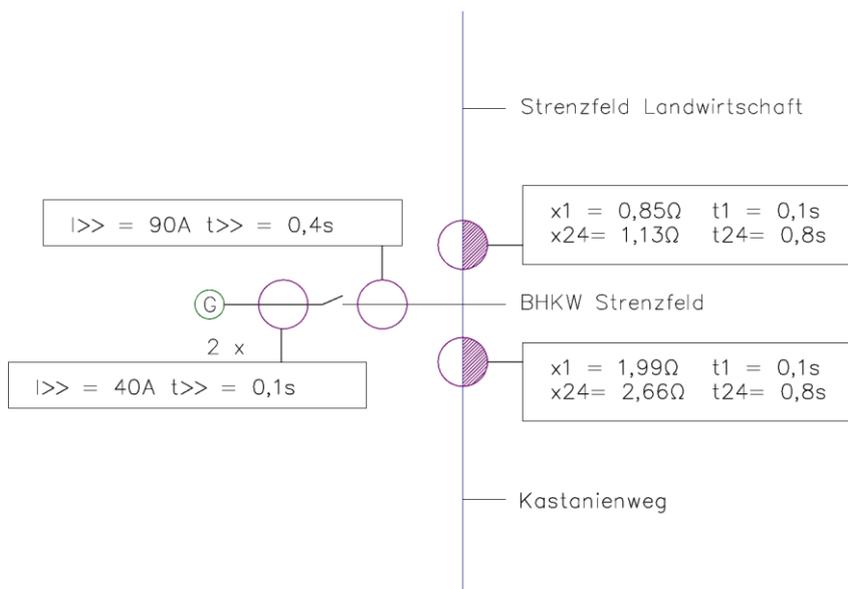


Abbildung 3.3: Ausschnitt BHKW Strenzfeld

Im Mittelspannungsnetz finden sich außerdem die Schalthäuser „Gröna“ und „Zepzig“ mit eigener Schutzausrüstung. Das „Schalthaus Zepzig“ gehört zum Landnetz und wird im Abschnitt 5.1.4 genauer vorgestellt.



Abbildung 3.4: Schalthaus Gröna

Das „Schalthaus Gröna“ wird vom UW Süd gespeist, bildet aber gleichzeitig die Trennstelle zum UW West. Die abgehenden Zweige werden jeweils durch ein gerichtetes UMZ-Schutzgerät überwacht. Durch die Trennstelle zum UW West und die Stromflussrichtung wird aber normalerweise nur eines der drei Schutzgeräte genutzt. In Abbildung 3.4 ist das Innere des Schalthauses zu sehen. Hier werden Schutzgeräte vom Typ „Acos 353“ der Firma IDS verwendet.

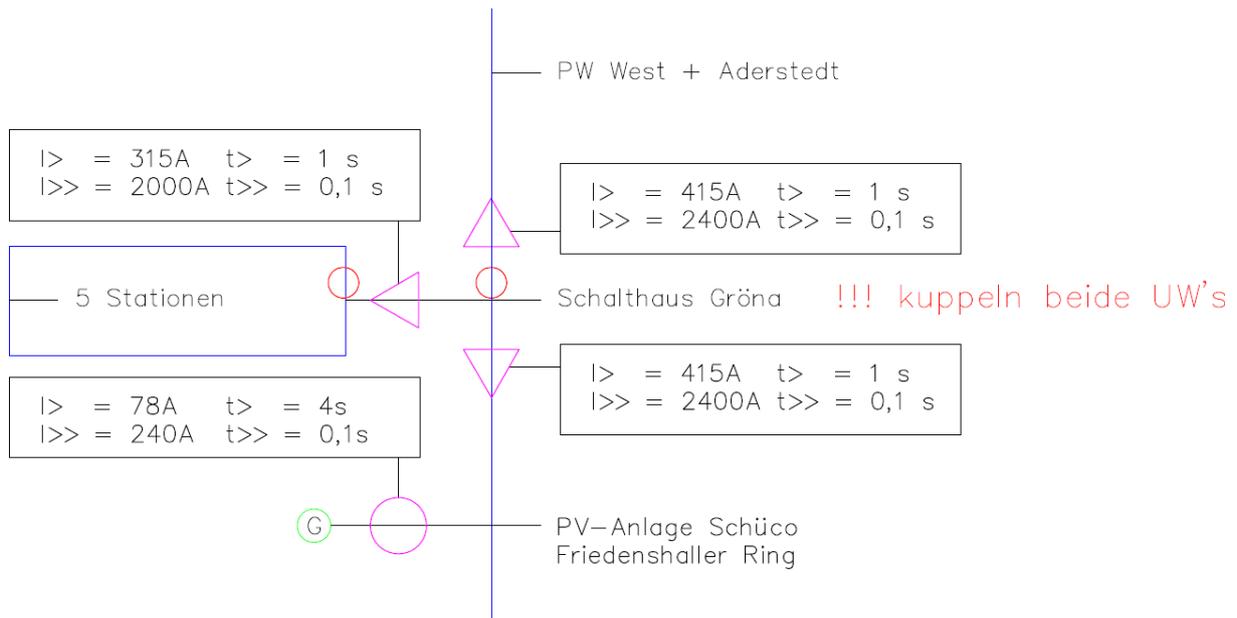


Abbildung 3.5: Ausschnitt Schalthaus Gröna

Weitere kleinere Energieerzeugungsanlagen (EEA) in Form von Photovoltaikanlagen (PVA) und Windparks (WP) finden sich im ganzen Netz. Diese sind größtenteils mit UMZ-Schutzgeräten abgesichert, um sie im Fehlerfall vom Netz zu trennen. Ebenso sind einige Privatkunden mit eigenem UMZ-Schutz ausgerüstet. Der Privatanschluss an das Mittelspannungsnetz kann laut VBEW-Richtlinie gewährt werden, wenn die Leistungsanspruchnahme der Höhe der Bemessungsleistung von Ortsnetztransformatoren im Versorgungsgebiet entspricht. Dies entspricht bei der SWB mindestens 400 kW. [5] Die Schutzeinrichtung der Übergabestation muss mit der SWB abgestimmt und mit Berücksichtigung der Selektivität zum vorgelagerten Schutz eingestellt werden. HH-Sicherungen können nur bis zu einer Nennstromstärke von 63 A verwendet werden. [6] Für größere Kundenanlagen sind daher UMZ-Schutzgeräte erforderlich.

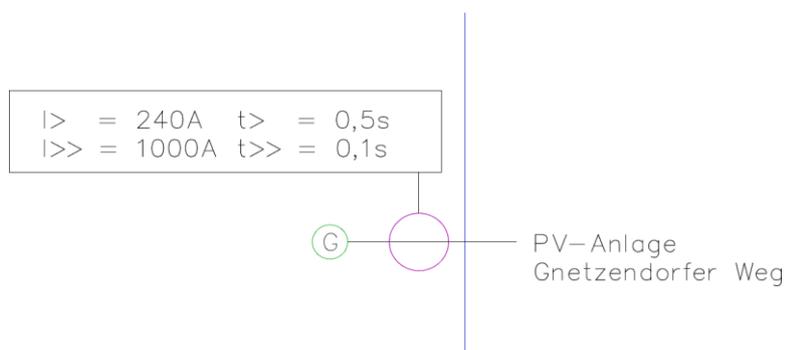


Abbildung 3.6: Ausschnitt PVA mit Schutzgerät

4 Erfassung der Schutzgeräte

4.1 Tabellarische Übersicht

Bevor mit der Prüfung der Schutzgeräte begonnen werden kann, müssen die Schutzgeräte zunächst erfasst werden. Dazu werden die nötigen Dokumente, sowohl digital als auch in Papierform, zusammengetragen und in einer Übersicht dargestellt. Für die tabellarische Darstellung hat sich das Kalkulationsprogramm Excel von Microsoft bewährt. So können innerhalb der Tabelle auch Berechnungen für die fortführenden Betrachtungen durchgeführt werden. Die einzelnen Positionen sind zunächst eingeteilt nach dem Umspannwerk, von dem sie versorgt werden. Den Schutzgeräten, die sich direkt im Umspannwerk befinden, folgen die externen Anlagen. Dazu gehören die Schalthäuser, Blockheizkraftwerke und Kundenanlagen. In den Spalten neben der lokalen Bezeichnung sind Beschreibungen zu den Schutzgeräten und ihre aktuellen Einstellwerte zu finden. Tabelle 4.1 zeigt einen Ausschnitt aus Anlage 1.

Objekt	Zelle	Schutzart	Hersteller	Modell	Überstromstufe		Kurzschlussstufen		Erdschluss		Distanzschutz		
					Strom [A]	Zeit [s]	Strom [A]	Zeit [s]	Strom [A]	Zeit [s]	Impedanz [Ω]	Zeit [s]	Richtung
UW Süd													
Kupplung	J01	UMZ	AEG	PM481	1125	1,9	7250	0,5					
Trafo 101	J03	Distanz+NotUMZ	AEG	PD531	1375	2,3			1000	2,3	0,5	0,15	vorwärts
											1	0,9	vorwärts 3 mal
		UMZ	AEG	PM481	1375	2,3	5000	0,9	1000	2,3			
Trafo 102	J04	Distanz+NotUMZ	AEG	PD531	1375	2,3			1000	2,3	0,5	0,15	vorwärts
											1	0,9	vorwärts 3 mal
		UMZ	AEG	PM481	1375	2,3	5000	0,9	1000	2,3			
PV-Anlage Friedeshaller Ring	J05	Distanz+NotUMZ	AEG	PD531	1200	0,8							
											7,95	0,8	vorwärts
											9,3	1,1	vorwärts
											13,4	1,4	vorwärts

Tabelle 4.1: Ausschnitt Schutzgeräteübersicht mit Einstellwerten

4.2 Schutz-Topologie-Übersicht

Mit Hilfe der tabellarischen Übersicht konnte anschließend ein Plan erstellt werden, der die Position der Schutzgeräte im Netz verdeutlicht. Als Grundlage dient ein Übersichtsplan der Stadtwerke Bernburg GmbH. Die ursprünglich separat dargestellten Stationen wurden, soweit nicht für die Schutzdarstellung und Orientierung erforderlich, zusammengefasst. Die Symbole für die Schutzgeräte sowie die Einstellwerten wurden entsprechend ihrem Standort in den Plan eingepflegt. Für die Bearbeitung wurde der Zeichnungseditor AutoCAD von Autodesk verwendet. Die Erstellung des Plans dient nur der Orientierung und schnellen Erfassung der Einstellwerte, daher wurde auf eine DIN-gerechte Darstellung verzichtet.

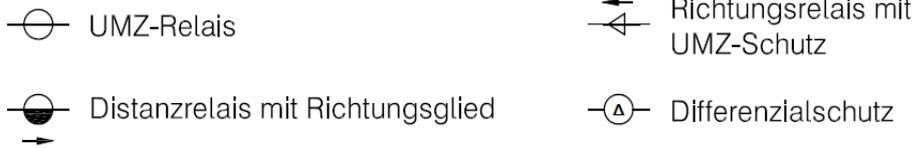


Abbildung 4.1: Schaltzeichen Schutzsysteme (Quelle: (vgl.) [7, p. 336])

Der erstellte Plan wurde für eine bessere Überschaubarkeit in drei Teile gegliedert, die in Anlage 9 zu finden sind. Der erste Teil beinhaltet die Einspeisungen vom 110 kV-Netz, das gesamte UW West, das „BHKW Strenzfeld“, „Schalthaus Gröna“ und die Kopfstation „Zentrale“.

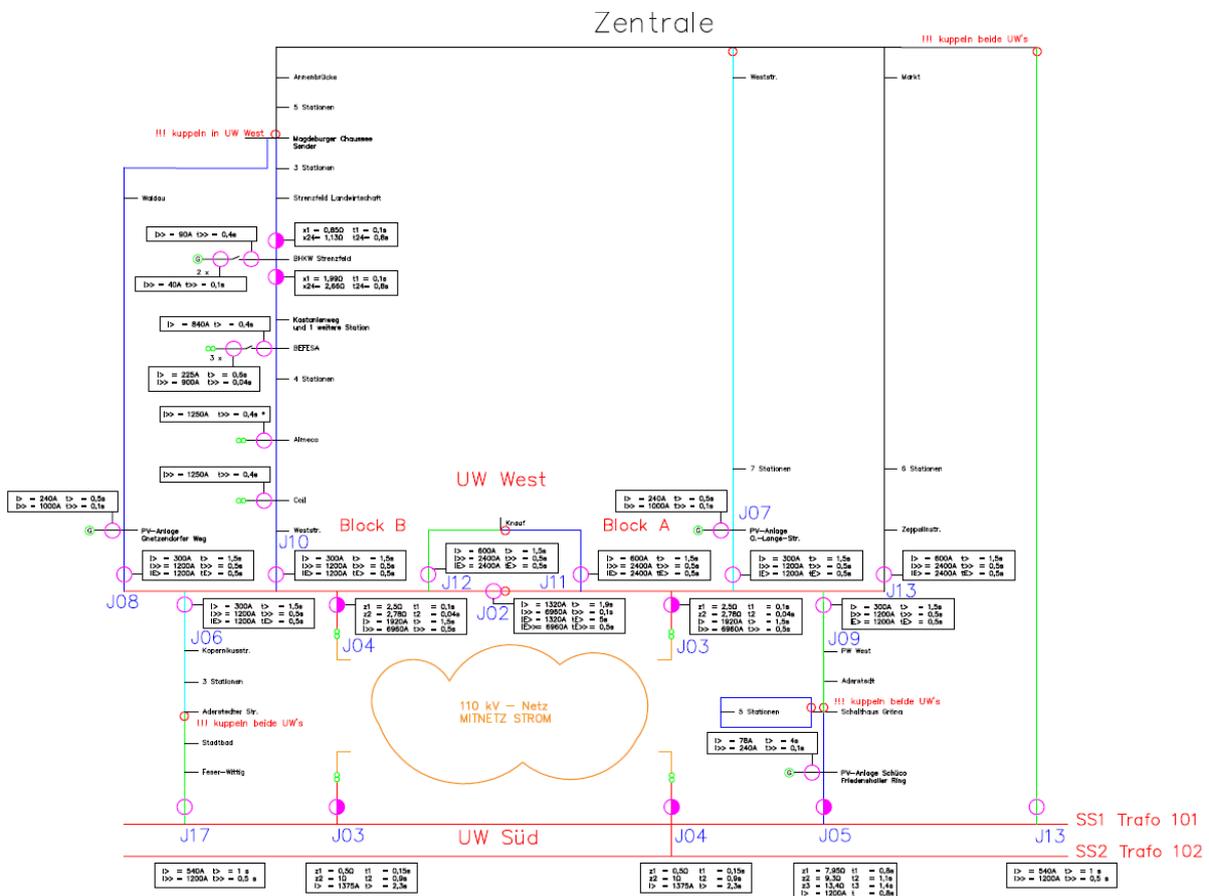


Abbildung 4.2: Übersichtsplan Stadtnetz mit Zentrale und UW West

Das restliche Stadtnetz umfasst die Kopfstationen „Krankenhaussiedlung“, „Saalemühlen“, „Gaswerk“ und „BHKW“. Im Teilnetz „BHKW“ ist auch das „BHKW Friedenshall“ zu finden.

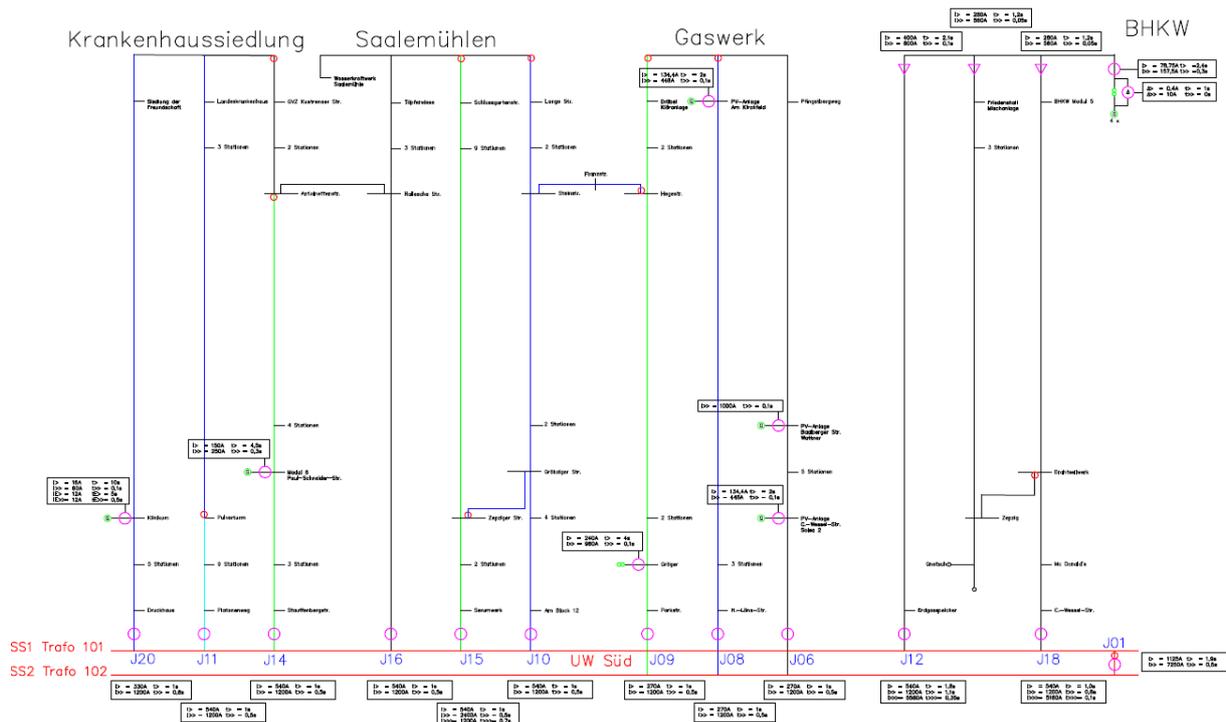


Abbildung 4.3: Übersichtsplan Stadtnetz Rest

Im letzten Plan ist das Landnetz dargestellt. Dort ist unter anderem das „Schalthaus Zepzig“ zu finden, das im folgenden Kapitel noch genauer beschrieben wird.

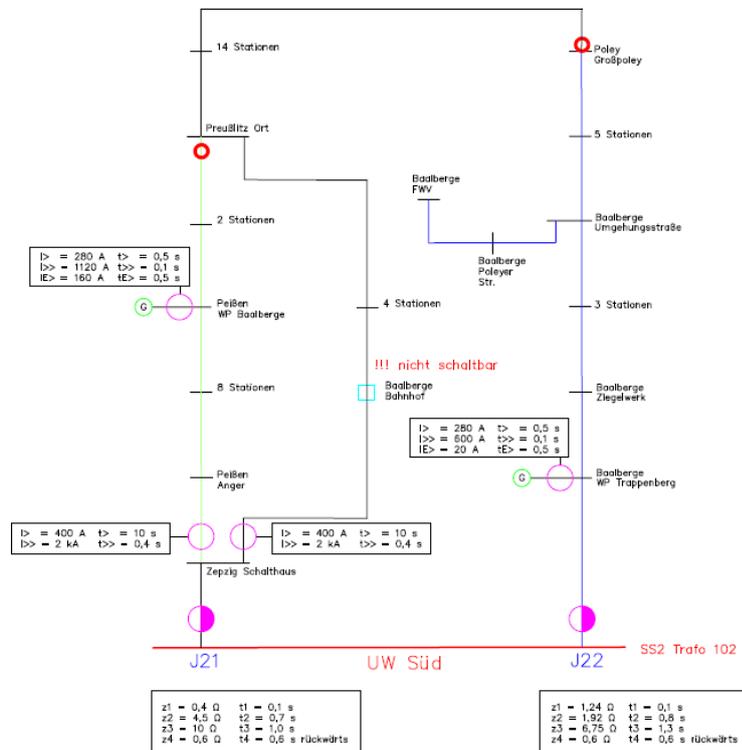


Abbildung 4.4: Übersichtsplan Landnetz

5 Überprüfung der aktuellen Einstellwerte

Für die Überprüfung der eingestellten Werte müssen zunächst Vergleichswerte erstellt werden. Diese Vergleichswerte beruhen auf theoretischen Betrachtungen.

Zur Kontrolle der Funktion in der Praxis sind unabhängig von der Art der Schutzgeräte Schutzprüfungen vorgeschrieben. Die erste Schutzprüfung erfolgt bereits vor der Auslieferung im Werk. Eine weitere Schutzprüfung wird im Zuge der Inbetriebnahme durchgeführt. Die weiteren Schutzprüfungen erfolgen im Intervall von vier Jahren. Wird nach drei Jahren eine Funktionsprüfung durchgeführt, kann das Intervall auf sechs Jahre verlängert werden.

5.1 Prüfung von UMZ-Schutzgeräten

Maximalstromzeitrelais werden allein vom fließenden Strom angeregt. Damit ist die Nutzung der Schutzgeräte relativ einfach und günstig, da sie lediglich einen Stromwandler benötigen. Jedoch ist keine Fehlerortung möglich und die Selektivität ist stark eingeschränkt. Mit aktuellen Relais können mehrere Stufen programmiert werden. Die Erste ist die Überstromstufe. Die Weiteren sind Hochstromstufen in Schnellauslösung.

Für gerichtete UMZ-Schutzgeräte sind außerdem Spannungswandler nötig. Das erhöht die Investitionskosten, ermöglicht aber auch die Fehlerortung in Form von km- oder Ω -Angaben am Schutzgerät. Bei beiden Ausführungen des UMZ-Schutzrelais ist die Abschaltung eines einspeisungsnahen Fehlers mit der längsten Abschaltzeit verbunden.

Bei digitalem Schutz ist eine Staffelzeit Δt von 0,3 s zwischen den gestaffelten Relais üblich. Beginnend bei 0,1 s entsteht eine Staffelung von 0,1/0,4/0,7 s. Bei elektromechanischem Schutz und älteren Leistungsschaltern wird die Staffelzeit Δt auf 0,4 s erhöht. Die Staffelung ergibt sich folglich zu 0,1/0,5/0,9 s. [8, p. 51 ff]

5.1.1 Mechanische und thermische Belastung

Im Normalbetrieb werden die Betriebsmittel bereits belastet. Im Fehlerfall steigt diese Belastung um ein Vielfaches. Zunächst erfolgt eine starke mechanische Belastung durch den Stoßkurzschlussstrom, da durch den Stromfluss in zwei parallel verlaufenden Leitern Kräfte wirksam werden. Der anschließend fließende Dauerkurzschlussstrom sorgt vor allem für eine starke thermische Belastung. Dieser wirkt bis zur Zerstörung des am stärksten belasteten Betriebsmittels, wenn keine Abschaltung erfolgt. Ursache ist die verstärkte Wärmeentwicklung, die durch die Impedanzen der Betriebsmittel entsteht und nicht mehr in

ausreichendem Maß abgeführt werden kann. Repräsentativ für die Wärmemenge steht der thermisch gleichwertige Kurzzeitstrom I_{th} . Die thermische Kurzschlussfestigkeit ist gegeben solange der Kurzzeitstrom I_{th} nicht den zulässigen Wert übersteigt. Mithilfe der vereinfachten Formel kann der thermisch gleichwertige Kurzzeitstrom I_{th} aus dem Anfangskurzschlusswechselstrom $I_{k'}$ berechnet werden.

$$I_{th} = I_{k'} * \sqrt{m + n} \quad (1)$$

Die Parameter m und n stehen für die Wärmeanteile, die die Gleich- und Wechselstromkomponenten hervorrufen. [9] In Abbildung 5.1 ist das Verhältnis zwischen Kurzschlussstrom I_{KS} , der Kurzschlussdauer t_{KS} und dem Leiterquerschnitt A für Leitungen mit Aluminiumleiter dargestellt.

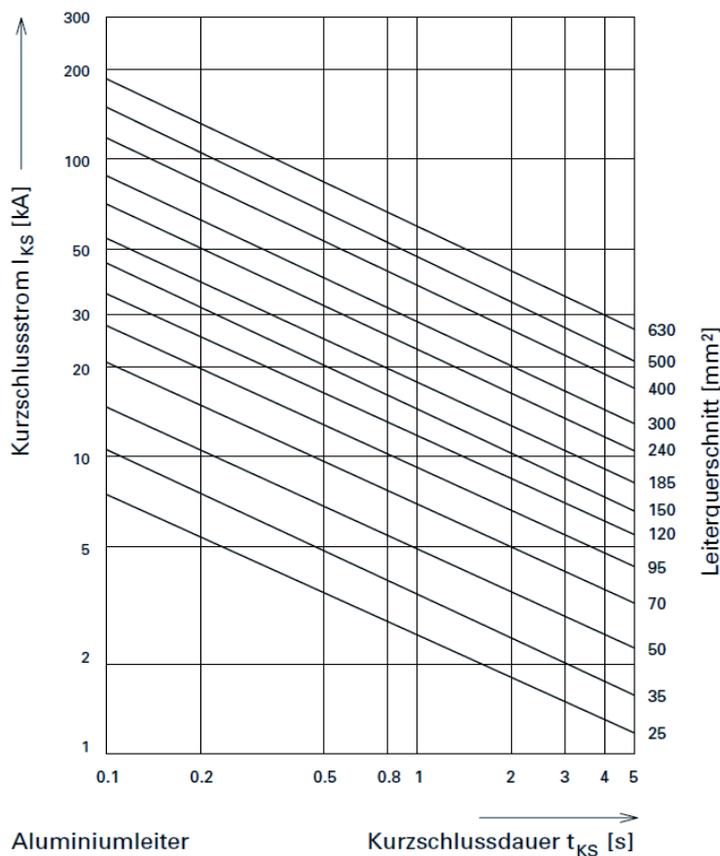


Abbildung 5.1: Bestimmung zulässiger Kurzschlussströme (Quelle: (vgl.) [10, p. 41])

Zur Betrachtung von Leitungen ist es sinnvoll den Kurzzeitstrom I_{th} auf den Leiterquerschnitt A zu beziehen.

$$S_{th} = \frac{I_{th}}{A} \quad (2)$$

Analog gilt Gleichung 1 auch für die thermische Kurzzeitstromdichte S_{th} . Das Verhältnis der Kurzzeitstromdichte zu Betriebstemperaturen ϑ_b und Endtemperaturen ϑ_e ist in Abbildung 5.2 dargestellt. Die dargestellten Werte gelten für Freileitungen und annähernd auch für Kabel.

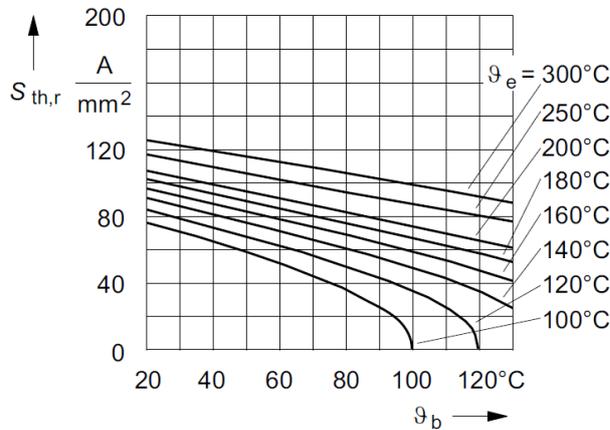


Abbildung 5.2: Kurzzeitstromdichte für Aluminiumleiter (Quelle: (vgl.) [7, p. 458])

5.1.2 Überstromstufe

Die Überstromstufe schützt die Betriebsmittel vor überhöhten Betriebsströmen, die aber noch nicht so hoch wie bei einem Kurzschluss sind. Die Einstellung hängt grundsätzlich von der maximalen Belastbarkeit der Betriebsmittel ab, kann aber höher festgelegt werden, um Fehlauflösungen zu verhindern. Beim Einschalten von Transformatoren kann es zu einem stark erhöhten Einschaltstrom kommen, wenn der Eisenkern ungünstig vormagnetisiert ist. Ähnlich verhält es sich beim Anlaufen von Motoren. Da der Rotor aus dem Stillstand in die Bewegung gebracht werden muss, fließt ein höherer Strom als im Nennbetrieb. Ebenso interessant sind die maximal zu erwartenden Betriebsströme, damit die Einstellwerte nicht zu gering gewählt werden. Eine Tabelle mit den maximal zulässigen Betriebsmittelströmen und den maximal zu erwartenden Betriebsströmen ist in Anlage 2 dargestellt.

5.1.3 Hochstromstufe - Berechnung des Kurzschlussstromes

Die Hochstromstufen lösen deutlich schneller aus als die Überstromstufe und schützen vor Kurzschlüssen. Die typischen Zeiten bewegen sich hier unter einer Sekunde, da die eingestellten Ströme sehr viel größer sind. Entsprechend der Methode nach DIN VDE 0102 „Verfahren der Ersatzspannungsquelle“ [2] kann der dreipolige Kurzschlussstrom berechnet

werden. Dazu werden zunächst alle Impedanzen benötigt, die auf der Kurzschlussbahn liegen. Dies betrifft somit die Impedanzen der Einspeisung, des Transformators und der Leitungen.

$$Z_{ers} = Z_Q + Z_T + Z_L \quad (3)$$

Alternativ können auch zunächst alle Widerstände R und Reaktanzen X addiert und anschließend die Ersatzimpedanz gebildet werden.

$$Z_{ers} = \sqrt{\Sigma R^2 + \Sigma X^2} \quad (4)$$

Dabei müssen die Impedanzen auf die gleiche Bezugsspannung umgerechnet werden. Dies betrifft insbesondere die Einspeisung.

$$Z_{bez} = \left(\frac{U_{bez}}{U_n}\right) * Z_n \quad (5)$$

Damit konnte die Berechnung bis auf das Ohmsche Gesetz vereinfacht werden. Der Kurzschlussstrom ergibt sich aus dem Quotienten von Ersatzspannung der Quelle und Ersatzimpedanz als Summe von Quellen, Transformator und Leitungsimpedanzen.

$$I_{k3} = \frac{U_{qers}}{Z_{ers}} \quad (6)$$

Um die Ersatzspannung aus der Nennspannung zu berechnen, muss diese mit dem Verkettungsfaktor auf das einpolige Ersatzschaltbild übertragen werden. Durch den Einfluss des Spannungsfaktors c wird zudem die Unterscheidung zwischen minimalem und maximalem Kurzschluss erreicht.

$$U_{qers} = \frac{c * U_n}{\sqrt{3}} \quad (7)$$

Der Spannungsfaktor ist ebenfalls in der DIN VDE 0102 je nach Nennspannung und Berechnungsziel festgelegt. Für Mittelspannungsnetze beträgt er 1 bis 1,1 für c_{min} bzw. c_{max} . Eingesetzt in die Formel für den Kurzschlussstrom ergibt sich letztendlich:

$$I_{k3} = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * (Z_Q + Z_T + Z_L)} \quad (8)$$

Mit CERBERUS können diese Berechnungen für das gesamte Netz durchgeführt werden. Eine weitere Spalte mit den Ergebnissen wurde in Anlage 2 eingefügt. Inwiefern sich der Kurzschlussstrom bei veränderter Netzstruktur verringert, kann in Anlage 4 eingesehen werden.

5.1.4 Beispiel Landnetz – „Schalthaus Zepzig“

Das „Schalthaus Zepzig“ gehört zum Landnetz und befindet sich im Abgang J21, der im UW mit einem Distanzschutzgerät geschützt wird. Im Schalthaus wird das Netz auf zwei Strahlen aufgetrennt.

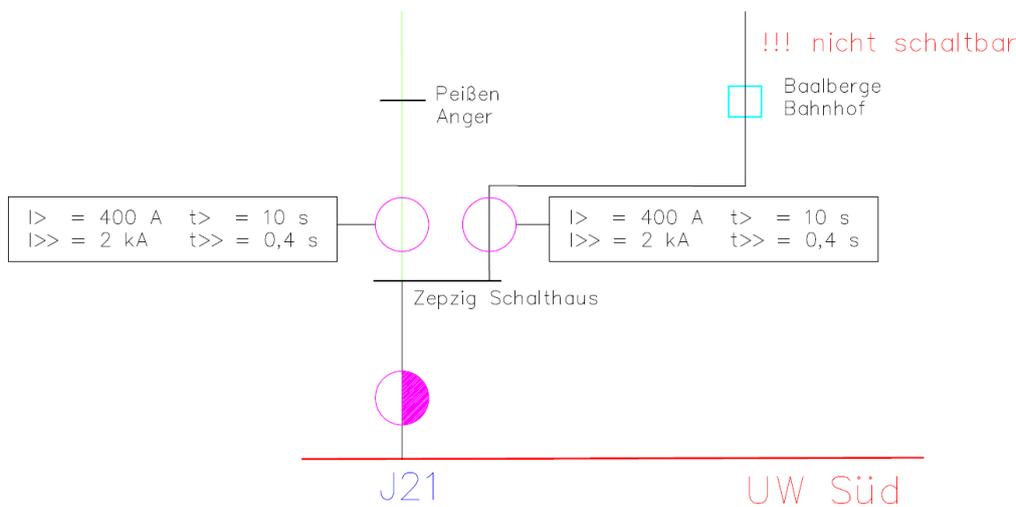


Abbildung 5.3: Ausschnitt Schalthaus Zepzig

Über den ersten Zweig werden 12 Stationen versorgt, darunter auch der „Windpark Baalberge“ (Peißen), der über ein eigenes UMZ-Schutzgerät verfügt. Im zweiten Zweig sind 20 Stationen angebunden. Die Konfiguration der beiden Strahlen kann in der Station „Preußnitz Ort“ verändert werden, sodass 15 Stationen vorübergehend in den ersten Zweig verschoben werden könnten. Jeder dieser Strahlen ist durch ein eigenes UMZ-Schutzgerät gesichert. Beide haben dieselben Einstellungen.

Zielbezeichnung	Zelle	Schutzart	Überstromstufe		Hochstromstufe	
			Strom [A]	Zeit [s]	Strom [A]	Zeit [s]
Schalthaus Zepzig	J01	UMZ	400	10	2000	0,4
	J02	UMZ	400	10	2000	0,4
Peißen Windpark Baalberge	J01	UMZ	280	0,5	1120	0,1

Tabelle 5.1: Einstellwerte "Schalthaus Zepzig"

Anhand der gegebenen Werte kann die Staffelung im ersten Strahl überprüft werden. Das Schutzgerät der Kundenanlage bildet die letzte und kleinste Zone. Die eingestellten Ströme sind kleiner und die Zeiten sind kürzer als im Schalthaus. Das Schalthaus bildet somit die größere vorgeschaltete Zone. Dadurch ist gewährleistet, dass Fehler in der Kundenanlage vom Netz getrennt werden und das Teilnetz weiter versorgt wird. Im Staffelplan sind die Einstellwerte dargestellt.

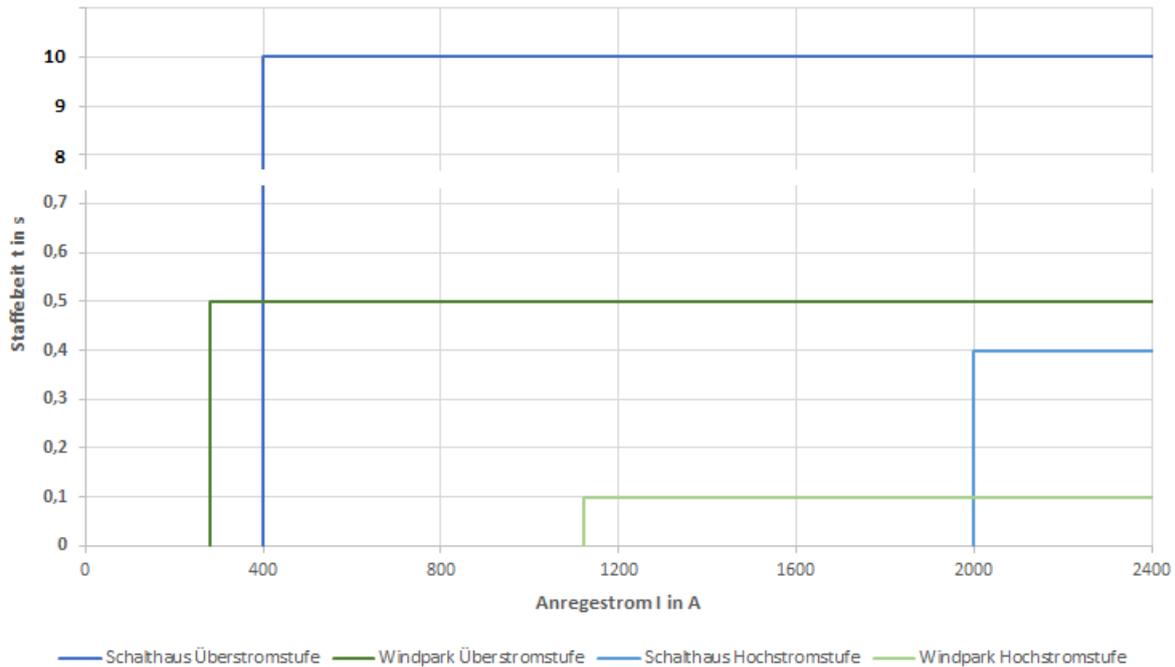


Abbildung 5.4: Staffelplan UMZ-Schutz

Ein Kurzschluss mit über 2000 A im betroffenen Teilnetz würde also 0,4 s anliegen, zuzüglich den Eigenzeiten des Relais und des Schalters. Ein Strom zwischen 400 A und 2000 A läge ganze 10 s an, bis die Schutzanregung erfolgt. Ströme unter 400 A führen nicht zur Auslösung. Bei der Prüfung der Überstromstufe wurden unter anderem die Leitungen betrachtet. Diese können laut Herstellerangaben teilweise nur mit maximal 320 A auf Dauer belastet werden. Damit liegt die aktuelle Einstellung 80 A höher.

Zur Überprüfung der Hochstromstufe muss der kleinstmögliche Kurzschlussstrom berechnet werden. Für die Einspeisung ist der komplexe Widerstand in kartesischen Werten gegeben. Diese müssen vom 110 kV-Netz auf die Bezugsspannung 20 kV umgerechnet werden. Vom Transformator sind die Scheinleistung und die Leistungsfaktoren bekannt. Daraus wird ebenfalls der komplexe Transformatorwiderstand Z_T bestimmt. Die Eigenschaften der Leitungen wurden einschlägiger Literatur entnommen. Aus den relativen Widerständen und der jeweiligen Leitungslänge wird der Leitungswiderstand Z_L berechnet. Durch Einsetzen des

Ersatzwiderstandes Z_{ers} , der Ersatzquellenspannung U_{qers} und dem Spannungsfaktor c in die Gleichung erhält man den Kurzschlussstrom I_{k3min} .

Einspeisung

$$R = 0,933295 \Omega, X = 9,33295 \Omega$$

$$R_Q = R * \frac{U_{bez}}{U_n} = 0,933295 \Omega * \frac{20000 V}{110000 V} = 0,0309 \Omega$$

$$X_Q = X * \frac{U_{bez}}{U_n} = 9,33295 \Omega * \frac{20000 V}{110000 V} = 0,3085 \Omega$$

$$Z_Q = \sqrt{R_Q^2 + X_Q^2} = \sqrt{0,0308527^2 + 0,308527^2} = 0,3101 \Omega$$

Transformator

$$S_n = 25 MVA, u_r = 0,83 \%, u_k = 12,12 \%$$

$$R_T = u_r * \frac{U^2}{S_n} = 0,83 \% * \frac{(20000 V)^2}{25000000 VA} = 0,1328 \Omega$$

$$Z_T = u_k * \frac{U^2}{S_n} = 12,12 \% * \frac{(20000 V)^2}{25000000 VA} = 1,9392 \Omega$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = \sqrt{1,9392^2 - 0,1328^2} = 1,9347 \Omega$$

Kabel Abgang J01

Über eine Länge von 16,5 km ist die Summierung aller Kabelabschnitte relativ umfangreich. Eine Tabelle mit den einzelnen Werten ist in Anlage 3 dargestellt.

$$\Sigma R_L = \Sigma(R' * l) = 3,891 \Omega$$

$$\Sigma X_L = \Sigma(X' * l) = 3,0703 \Omega$$

$$Z_L = \sqrt{R_L^2 + X_L^2} = \sqrt{3,891^2 + 3,0703^2} = 4,9565 \Omega$$

Gesamt Abgang J01

$$Z_{ers} = Z_Q + Z_T + Z_L = 0,3101 \Omega + 1,9392 \Omega + 4,9565 \Omega = 7,2057 \Omega$$

$$I_{k3} = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * Z_{ers}} = \frac{1 * 20000 V}{\sqrt{3} * 7,2057 \Omega} = 1602,5 A$$

Der kleinstmögliche Kurzschlussstrom I_{k3min} konnte mit 1602,5 A bestimmt werden bei einer Ersatzimpedanz Z_{ers} von $7,2 \Omega$ auf der Kurzschlussbahn. Der ermittelte Wert liegt damit rund 400 A unter dem Eingestellten. Ein Kurzschlussstrom von 2000 A würde an der Station „Peißen Windpark Baalberge“ entstehen. D.h. die beiden folgenden Stationen sind nicht korrekt abgesichert. Ein Kurzschluss in der Nähe der Station „Leau – Am Friedhof“ würde die Hochstromstufe nicht anregen und somit erst durch die Überstromstufe nach 10 s oder das vorgeschaltete Distanzschutzrelais abgeschaltet.

Kabel Abgang J02

Der Abgang J02 ist mit rund 30 km Kabellänge noch umfangreicher als J01. In Anlage 3 können die einzelnen Kabelwiderstände eingesehen werden.

$$\begin{aligned}\Sigma R_L &= \Sigma(R' * l) = 7,8022 \Omega \\ \Sigma X_L &= \Sigma(X' * l) = 5,8435 \Omega \\ Z_L &= \sqrt{R_L^2 + X_L^2} = \sqrt{7,8022^2 + 5,8435^2} = 9,7479 \Omega\end{aligned}$$

Gesamt Abgang J02

$$\begin{aligned}Z_{ers} &= Z_Q + Z_T + Z_L = 0,3101 \Omega + 1,9392 \Omega + 9,7479 \Omega = 11,9971 \Omega \\ I_{k3} &= \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * Z_{ers}} = \frac{1 * 20000 V}{\sqrt{3} * 11,9971 \Omega} = 962,5 A\end{aligned}$$

Der kleinstmögliche Kurzschlussstrom I_{k3min} beträgt an der entferntesten Station „Poley – Großpoley“ nur 962,5 A. Über die Gesamtleitungslänge beträgt die Ersatzimpedanz rund 12Ω . Die eingestellten 2000 A würden bei einem Kurzschluss an der Station „Preußnitz Friedhof“ eintreten. Damit wäre das Netz bei einem weiter entfernten Kurzschluss nicht korrekt gesichert. Die Abschaltung würde im Fehlerfall, wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, durch das vorgelagerte Distanzschutzrelais oder die Überstromstufe erfolgen.

5.2 Prüfung von Distanzschutzgeräten

Ähnlich dem gerichteten UMZ-Schutzrelais benötigt das Distanzschutzgerät sowohl Strom- als auch Spannungswandler. Dadurch ist es möglich eine hohe Selektivität zu erreichen und selbst in Einspeisungsnähe zügig zu schalten. Distanzschutzgeräte können in allen Betriebsweisen im Mittelspannungsnetz genutzt werden. Die Angabe zur Fehlerortung kann in km oder Ω erfolgen. Bei inhomogenen Leitungen ist dies jedoch nicht zu 100 % auf die Leitung übertragbar. Nachteilig sind die erhöhten Kosten für den Spannungswandler sowie das Relais. [8]

5.2.1 Anregung und Auslösung

Die Anregung kann durch Überstrom und Unterimpedanz erfolgen. Die Anrege- und Auslösekennlinien variieren je nach Hersteller. In Abbildung 5.5 ist die Anregekennlinie eines Siemens 7SA6 mit polygonaler Charakteristik zu sehen, wie sie im UW West verbaut sind.

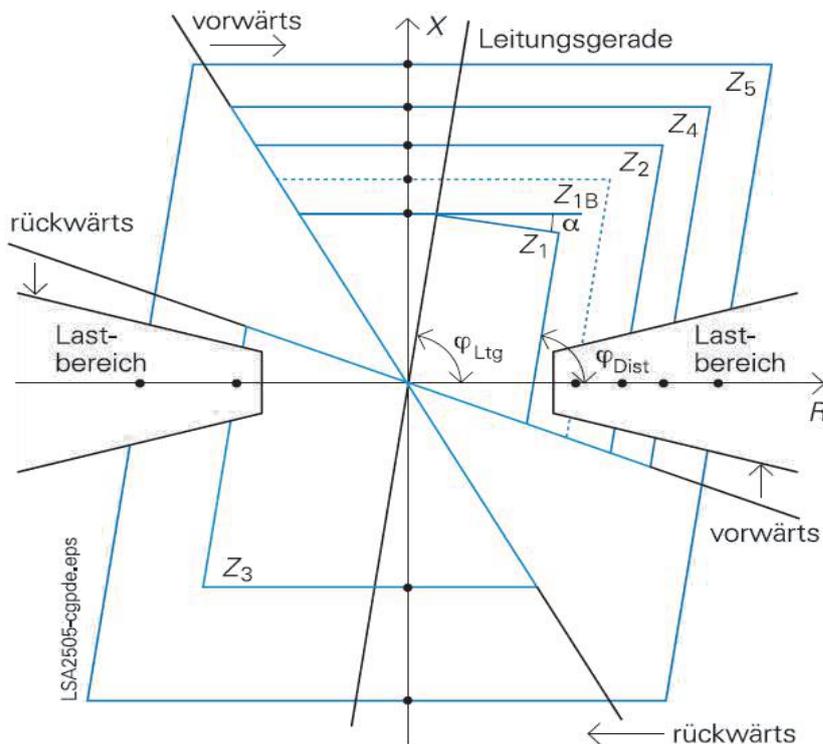


Abbildung 5.5: Impedanzanregung mit polygonaler Charakteristik (Quelle: (vgl.) [11, p. 14])

Bei Anregung misst das Relais den Fehlerwiderstand und vergleicht diesen mit den eingestellten Vorgabewerten. Üblicherweise werden 85 % der Leitungsimpedanz in Schnellzeit eingestellt und dann zur nächsten Stufe gesprungen. Mit den weiteren Staffelstufen werden die folgenden Schutzrelais überstaffelt. Auch hier übernimmt so, bei Versagen eines Relais, das jeweils Vorgelagerte in der nächsten Staffelzeit.

Beim elektromechanischen Relais wird der komplexe Betrag Z berechnet, beim digitalen Schutz werden hingegen R und X ermittelt. Elektromechanische Relais haben üblicherweise einen Kreis mit dem Mittelpunkt $R=X=0$ als Auslösekennlinie. Um Kommandozeiterhöhungen bei Lichtbogenkurzschlüssen entgegen zu wirken, werden die Messkreise in R -Richtung verschoben, zu sehen in Abbildung 5.6.

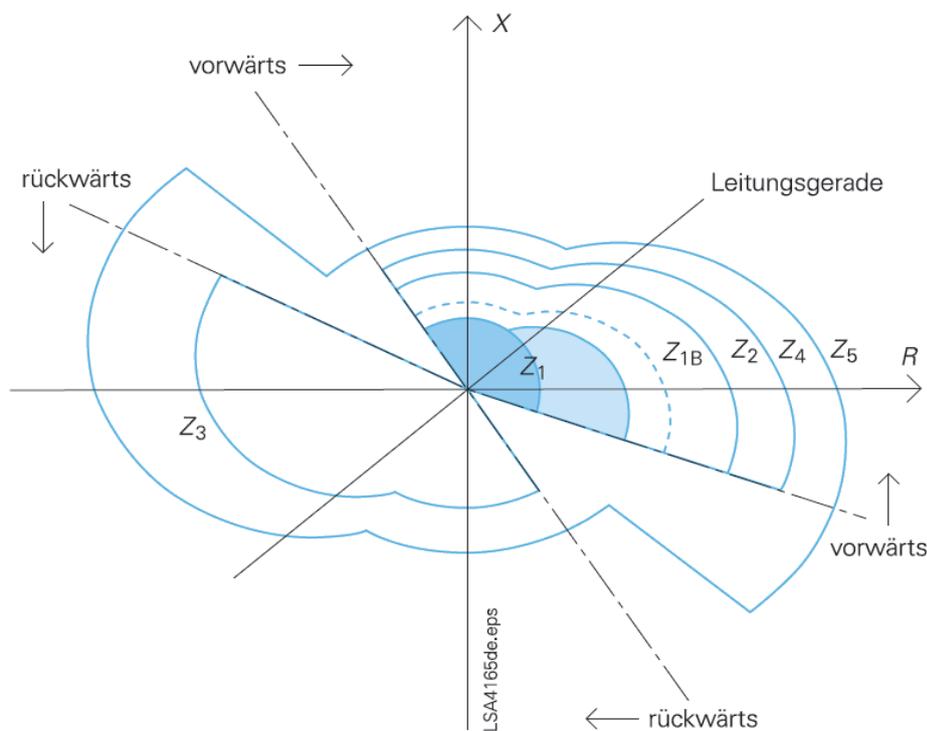


Abbildung 5.6: Impedanzanregung mit kreisf. Charakteristik (Quelle: (vgl.) [11, p. 15])

Digitale Schutzgeräte bilden ein Polygon aus R - und X -Werten. Das 7SA6 von Siemens kann je nach Einstellung beide Auslösecharakteristiken annehmen.

Um die Unterimpedanzauslösung bei abgeschalteter Leitung zu verhindern, muss diese gesperrt werden. Das geschieht automatisch, wenn weiterhin ein Mindeststrom fließt, oder ein Meldekontakt angesprochen wird. Bei fehlender Wandlerspannung schalten digitale Relais automatisch auf Not-UMZ-Betrieb um und garantieren weiterhin den Schutz der Leitung.

5.2.2 Berechnung der Impedanz

Das Distanzschutzgerät ermittelt die Impedanz durch Berechnung aus gemessenen Strom- und Spannungswerten.

Für die Berechnung der Vergleichswerte spielen anders als beim UMZ-Schutzgerät die Impedanzen der Kurzschlussbahn keine Rolle, sondern nur diejenigen, die zwischen dem Schutzgerät und der Fehlerstelle liegen. Folglich entfallen die Berechnungen zu Einspeisung und Transformator. Die Leitungswiderstände ergeben sich aus den relativen Widerständen und der jeweiligen Leitungslänge.

$$\Sigma R_L = \Sigma (R' * l) \quad (9)$$

bzw.

$$\Sigma X_L = \Sigma (X' * l) \quad (10)$$

Der komplexe Widerstand Z berechnet sich aus dem quadratischen Mittel von R und X. Für die Einstellung der ersten beiden Stufen ist ein Wert von 85 % der berechneten Impedanz Z des jeweiligen Teils der Übertragungsleitung zu wählen.

$$Z_{soll} = 85 \% * Z_L \quad (11)$$

Für die dritte Stufe ist normalerweise die gesamte Impedanz der zweiten Stufe mit höherer Staffelzeit zu wählen. Die vierte Stufe wird in Rückwärtsrichtung eingestellt. Eine eventuelle fünfte Stufe ist ungerichtet. Ab der zweiten Stufe handelt es sich gewöhnlich um Reserveeinstellungen, um bei Nichtauslösung des nächsten Schutzgerätes dessen Zone zu schützen. Die errechneten Werte sind wie die anderen Prüfwerte in Anlage 2 zu finden. Welche Werte sich bei einer veränderten Netzstruktur ergeben ist außerdem in Anlage 4 hinterlegt.

5.2.3 Beispiel Landnetz – „J21 Schaltheus Zepzig“

Der Abgang „J21 Schaltheus Zepzig“ ist mit einem Distanzschutzgerät abgesichert. Dabei müssen die gemeinsame Leitung sowie die beiden parallelen Strahlen ab dem Schaltheus eingestellt werden. In Tabelle 5.2 sind die aktuellen Einstellwerte abgebildet und in Abbildung 5.7 als Staffelplan dargestellt.

Zielbezeichnung	Zelle	Schutzart	Impedanz [Ω]	Zeit [s]	Richtung
Zepzig Schaltheus	J21	Distanz	0,4	0,1	vorwärts
			4,5	0,7	vorwärts
			10	1	vorwärts
			0,6	0,6	rückwärts

Tabelle 5.2: Einstellwerte J21 „Schaltheus Zepzig“

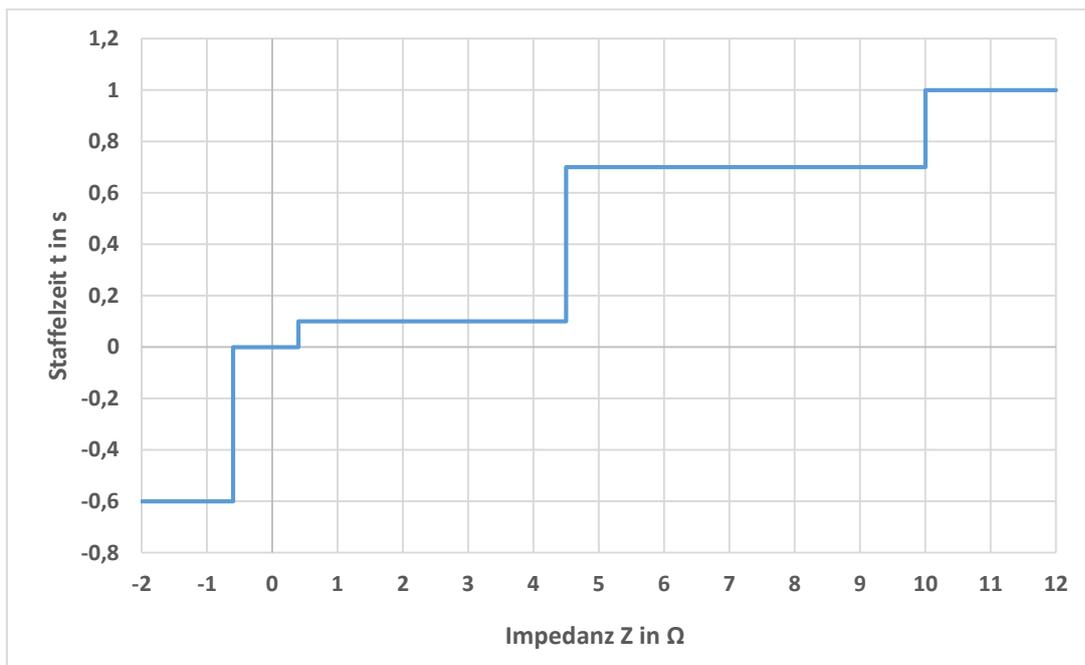


Abbildung 5.7: Staffelplan Distanzschutz

Die erste Stufe sichert die Leitungen bis zum „Schaltheus Zepzig“. Die zweite Stufe ist entsprechend dem Abgang J01 und die dritte passend zum Abgang J02 eingestellt.

Stufe 1

R' [Ω/km]	X' [Ω/km]	l [km]	R _L [Ω]	X _L [Ω]
0,211	0,12221	1,48111	0,3125	0,1810
0,211	0,12221	0,54046	0,1140	0,0660
Summe		2,022	0,427	0,247

Tabelle 5.3: Widerstandswerte Stufe 1

$$\Sigma R_{L1} = \Sigma(R' * l) = 0,4266 \Omega$$

$$\Sigma X_{L1} = \Sigma(X' * l) = 0,2471 \Omega$$

$$Z_{L1} = \sqrt{R_{L1}^2 + X_{L1}^2} = \sqrt{0,4266^2 + 0,2471^2} = 0,4929 \Omega$$

$$Z_{soll1} = 85 \% * Z_{L1} = 0,85 * 0,4929 = 0,419 \Omega$$

Die aktuelle Einstellung der ersten Stufe wurde im Rahmen dieser Bachelorarbeit bereits auf 0,4 Ω geändert. Mit der vorangegangenen Rechnung konnte dieser Wert bestätigt werden.

Stufe 2

Die vollständige Liste aller Leitungsteile ist in Anlage 3 einzusehen.

$$\Sigma R_{L2} = \Sigma(R' * l) = 3,891 \Omega$$

$$\Sigma X_{L2} = \Sigma(X' * l) = 3,0703 \Omega$$

$$Z_{L2} = \sqrt{R_{L2}^2 + X_{L2}^2} = \sqrt{3,891^2 + 3,0703^2} = 4,9565 \Omega$$

$$Z_{soll2} = 85 \% * Z_{L2} = 0,85 * 4,9565 = 4,21 \Omega$$

Der aktuell eingestellte Wert ist mit 4,5 Ω etwas größer als der Berechnete mit 4,2 Ω. Möglicherweise wurden einige Leitungen verändert. Insbesondere Freileitungen werden vermehrt durch Kabel ersetzt. Normalerweise steigt die Leitungslänge bei Kabelumbau an, da sich die Verlegung an der Straßenführung orientiert und die Netzeinbindung als Einschleifung gestaltet ist. Mit der Leitungslänge steigt auch der Leitungswiderstand. Der spezifische Leitungswiderstand ist im Vergleich zu Freileitungen hingegen deutlich geringer, sodass der Leistungswiderstand insgesamt geringer ausfallen kann. Letztendlich ist der eingestellte Wert in Ordnung und kann so belassen werden. Zudem fungiert das Distanzschutzgerät an dieser Stelle nur als Reserve, falls das UMZ-Schutzgerät im „Schalthaus Zepzig“ nicht auslöst.

Stufe 3

$$\Sigma R_{L3} = \Sigma(R' * l) = 7,8022 \Omega$$

$$\Sigma X_{L3} = \Sigma(X' * l) = 5,8435 \Omega$$

$$Z_{L3} = \sqrt{R_{L3}^2 + X_{L3}^2} = \sqrt{7,8022^2 + 5,8435^2} = 9,75 \Omega$$

Entgegen der Empfehlung ist für die dritte Stufe nicht die Gesamtimpedanz der zweiten Stufe eingestellt, sondern eine noch größere Impedanz. Die Grundlage dafür ist die Aufteilung in zwei parallele Strahlen im Schaltheus Zepzig. Unter dieser Bedingung ist die Einstellung mit 10 Ω gut gewählt, berechnet sind 9,75 Ω . Die dritte Stufe schützt den Abgang J02 damit auf 100 % der Leitungslänge und dient als Reserveschutz des UMZ-Relais im Schaltheus.

Das Zusammenspiel der UMZ-Schutzgeräte im Schaltheus Zepzig mit dem Distanzschutzgerät im UW Süd ist in Abbildung 5.8 dargestellt.

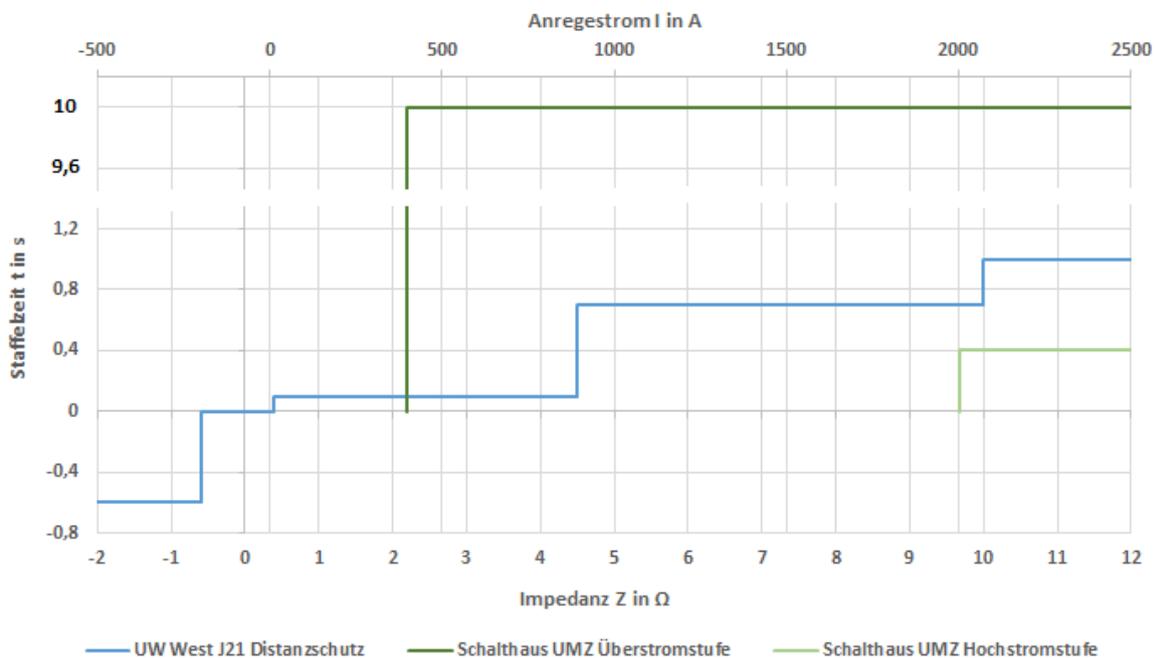


Abbildung 5.8: Staffelplan UMZ- und Distanzschutz

5.3 Verteilung der Last

Das UW Süd hat momentan 16 Lastabgänge mit eigener Sicherung. Über die Abgänge werden im Durchschnitt neun Stationen versorgt. Die tatsächliche Anzahl der Stationen je Abgang ist aber sehr unterschiedlich. Die genauen Werte sind Teil der Übersicht in Anlage 2.

Die höchste Konzentration ist an den beiden Abgängen zum Landnetz zu finden. Im Gegensatz zu den weiteren Abgängen sind diese bereits mit Distanzschutzgeräten ausgerüstet. Über die J21 sind insgesamt 32 Stationen angebunden, die im Schalthaus Zepzig nochmals aufgeteilt werden. In der J22 folgen weitere 14 Stationen. Die Station „Baalberge Ziegelwerk“ wird demnächst entfallen, da das Ziegelwerk vor einiger Zeit stillgelegt wurde und die Station damit überflüssig geworden ist.

Unter der Kopfstation „Saalemühle“ verlaufen zusätzlich drei Querverbindungen, die demnächst entfallen werden. Die Verbindung zwischen „Gröbziger Straße“ (J10) und „Zepziger Straße“ (J15) wird nicht mehr genutzt. Zwischen „Steinstraße“ (J10) und „Hegestraße“ (J09) liegt noch die Station „Franzstraße“ und muss mit in einen der Abgänge aufgenommen werden. Momentan wird sie von der J10 versorgt. Die J09 ist jedoch schwächer belastet und enthält auch weniger Stationen. Über die dritte Querverbindung werden von der Station „Hallesche Straße“ (J16) vier Stationen in der J14 versorgt. Die Stationen können wieder über die J14 zu versorgt werden. Die Last für die J16 sinkt. Dadurch können über die Kopfstation die J10 oder J15 entlastet werden.

Die J20 versorgt neben den eigenen acht Stationen noch über die Kopfstation „Krankenhaussiedlung“ vier Stationen aus der J11. Damit ist die J20 umfangreicher an Stationen und auch stärker belastet als die J11 und könnte zum Ausgleich wieder zwei Stationen zurückgeben.

Seitdem das UW West den Großteil der Kopfstation „Zentrale“ versorgt, sind die Abgänge des UW Süd dort kaum noch belastet. Die J15 versorgt noch 7 Stationen, darunter auch den Grönaer Ring. Die J17 enthält nur zwei Stationen und die J13 wird nicht mehr genutzt. Entsprechend gering fällt die Last aus. Die Abgänge des UW West sind teilweise stark ausgelastet. Die größte Last stellt die Station „Knauf“ im Abgang J12 dar. Alternativ kann die Station über J11 am Block A betrieben werden. Auch das Ringnetz zwischen J08 und J10 ist stark belastet und versorgt 19 Stationen. Zudem ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass im Industriegebiet West weitere Verbraucher hinzukommen.

6 Anzupassende Schutzdaten

Die im Folgenden beschriebenen Empfehlungen wurden in Anlage 7 zusammengefasst. Die erforderlichen Berechnungen für die Bewertung der benannten Distanzschutzgeräte können anhand der Werte in Anlage 5 nachvollzogen werden.

6.1 UMZ-Schutzgeräte - Überstromstufe

In Anlage 1 sind mehrere Positionen von Überstromereinstellungen gelb markiert, da die Einstellwerte die maximalen Betriebsströme der Betriebsmittel überschreiten. Im Zweig „J15 Serumwerk“ ist beispielsweise ein Strom von 540 A bei 1 s Auslösezeit eingestellt. Ein Teil der Leitungen zwischen Umspannwerk und der ersten Station „Serumwerk“ ist jedoch nur mit einer maximalen Belastung von 302 A angegeben. Um die Auslösezeit des Relais so gering wie nötig zu halten und gleichzeitig Fehlauslösungen durch Transformatoreinschalt- und Motoranlaufströme zu verhindern, wird der Anreghostrom höher angesetzt. Ähnliche Einstellungen finden sich im UW Süd an den Abgängen J10 bis J17 und im UW West an den Abgängen J11 bis J13.

Vor der Aufnahme neuer Stationen in das Netz werden alle Betriebsmittel auf ihre Eignung geprüft und bei Bedarf Schwachstellen ersetzt, um Fehler bereits im Vorfeld zu verhindern. Dabei werden vermehrt ältere Leitungen durch Mittelspannungskabel vom Typ NA2X(F)2Y mit einem Querschnitt von 150 mm² ersetzt.

Anders verhält es sich beim „Schalthaus Zepzig“. Hier liegt die Einstellung 80 A über der maximalen Belastung der Leitung bei einer Auslösezeit von 10 s. Man kann hier folglich nicht mehr von kurzzeitigen Belastungen sprechen. Es wird daher empfohlen die beiden Schutzgeräte auf 320 A einzustellen oder die Auslösezeit zu verringern.

6.2 UMZ-Schutzgeräte - Hochstromstufe

Wie die Überstromstufe im Schalthaus Zepzig ist auch die Hochstromstufe bedenklich. Im Abschnitt 5.1.3 zeigte sich, dass die eingestellten Werte deutlich über den Erforderlichen liegen. Empfohlen wird eine Einstellung von 1600 A für den Abgang J01 und 960 A für J02. Ansonsten ist nur die Kupplung zwischen den Blöcken im UW Süd aufgefallen. Diese wird nur in dem seltenen Fall genutzt, wenn einer der Blöcke nicht vom Transformator oder der Einspeisung versorgt wird und der jeweils andere die Versorgung zusätzlich übernimmt. Normalerweise sollten sich die Einstellwerte zwischen den Transformatoren und den

Abgängen einfügen. Jedoch liegt die Stromanregung mit 7250 A deutlich über den 5000 A der Transformatoren, sodass bei einem Kurzschluss mit dazwischen liegender Stromstärke das gesamte Umspannwerk vom Netz getrennt würde. Es empfiehlt sich daher den Anregestrom der Kupplung geringer einzustellen als der der Transformatoren.

Andererseits liegt die Auslösezeit der Kupplung identisch mit den meisten Abgängen bei 0,5 s. Wird der Wert für die Stromanregung gesenkt, müsste im Gegenzug die Auslösezeit erhöht werden. So wird vermieden, dass ein Fehlerstrom das Schutzgerät der Kupplung auslöst, obwohl nur das Schutzgerät eines der Abgänge hätte auslösen sollen.

6.3 Distanzschutzgeräte

Bei der Prüfung der Distanzschutzgeräte ist insbesondere die Zelle „J05 PVA Friedenshaller Ring“ im UW Süd aufgefallen. Bereits die erste Stufe überschreitet die maximalmögliche Impedanz um mehr als das Dreifache. Die noch aktuelle Einstellung beruht auf der früheren Netzführung. Bevor das UW West in Betrieb genommen wurde, verlief der Abzweig J05 über den heutigen Abzweig J13 des UW West bis zur Kopfstation „Zentrale“. Die Einstellung war folglich für deutlich mehr Stationen und längere Leitungswege gedacht. Für die heutige Netzführung genügen geringere Werte. Für die erste Stufe empfiehlt sich 0,92 Ω . Dies entspricht 85 % der Impedanz bis zum „Schalthaus Gröna“. Für die zweite Stufe folgen 1,82 Ω , 85 % über den Grönaer Ring bis zur Station „Gröna Im Sumpfe“ und für die dritte 2,15 Ω , ebenfalls bis zur Station „Gröna Im Sumpfe“ ohne Abzüge.

Ein weiteres Distanzschutzgerät, das angepasst werden sollte, befindet sich in Zelle J22 im UW Süd. Die ersten beiden Stufen weichen nur gering vom idealen Sollwert ab. Für die dritte hingegen ist eine Einstellung von 3,93 Ω ideal. Dem entgegen steht die aktuelle Einstellung von 6,7 Ω . Auch diese Differenz ist einer veränderten Netzführung geschuldet, da sich das Teilnetz früher bis zur Station „Preußnitz Ort“ erstreckte, das mittlerweile über die J21 versorgt wird.

Das letzte anzupassende Schutzgerät befindet sich im BHKW Strenzfeld und wirkt in Richtung Kastanienweg. Durch Veränderungen des Netzes hat sich die Impedanz bis zur entferntesten Station „Weststraße“ auf 1,68 Ω verringert.

Im Verlauf des aktuellen Jahres werden alle UMZ-Schutzgeräte im UW Süd durch Distanzschutzgeräte ersetzt. Die empfohlenen Einstellwerte wurden in Anlage 8 zusammengefasst.

7 Empfehlungen für den zukünftigen Einsatz

Die Firma Siemens ist ein sehr bekanntes Unternehmen in fast allen technischen Bereichen, darunter auch in der Schutztechnik. Die Distanzschutzgeräte haben eine begrenzte Grundausstattung, bieten aber viele weitere Funktionen gegen Aufpreis. So kann das exakt passende Gerät erstellt werden, wodurch je nach ausgewählten Zusatzfunktionen ein hoher Preis fällig wird. Die beiden Geräte aus dem Angebot, „7SA6102“ und „7SA6112“, unterscheiden sich nur durch die Anzahl der Leuchtdioden und der Ein- bzw. Ausgänge. Das teurere Gerät für 6648 € hat außerdem 12 schnelle Relais, die einen Zeitvorteil von etwa 3 ms bringen. Das günstigere Gerät kostet 5169 €. Beide bieten ein 4-zeiliges beleuchtetes Display, Funktionstasten, ein numerisches Bedienfeld, 7 bzw. 14 Leuchtdioden, je einen RS232-Anschluss auf Front- und Rückseite und einen optischen Anschluss für ST-Stecker auf der Rückseite. Die Schutzfunktionen umfassen die Überstromanregung für den Distanzschutz, Erdfehlererfassung in gelöschten und isolierten Netzen, Wiedereinschaltautomatik (AWE), Spannungsschutz und Frequenzschutz [12].

Das angebotene „P430“ von Schneider Electric kostet 5280 €, bietet dafür aber bereits in der Grundausstattung mehr Schutzfunktionen. Der Distanzschutz kann per Überstrom, Unterspannung oder Unterimpedanz mit Polygon- oder Kreischarakteristik angeregt werden. Hinzu kommen Not-UMZ-Schutz, Pendelauslösung, QU-Schutz, Automatische Frequenzentlastung (AFE), Schalterversagerschutz und thermischer Überlastschutz. Es besitzt ein Display mit Bedienfeld und Funktionstasten sowie 17 Leuchtdioden. Frontseitig befindet sich eine RS232-Schnittstelle und rückseitig eine weitere Kommunikationsschnittstelle nach Wahl [13].

Auch das „Acos 334“ von IDS verfügt über zusätzliche Schutzfunktionen, darunter AFE, Schalterversagerschutz, QU-Schutz und Drehfeldüberwachung. Dabei ist es das günstigste Gerät in diesem Vergleich und kostet nur 3407 €. Im Unterschied zu den vorherigen Geräten besitzt es ein semigrafisches Display und statt der seriellen RS232-Buchsen bietet es je eine RJ45-Schnittstelle auf Front- und Rückseite.

Zu allen Angeboten kommen je Schutzgerät Kosten für Montage und Inbetriebnahme in Höhe von 3601 € hinzu. Die Details zu den Schutzgeräten können in Anlage 6 eingesehen werden. Das „7SA6112“ bietet den Vorteil, dass es die schnellen Relais besitzt, ist aber auch das teuerste Gerät. Das „P430“ besitzt den größten Umfang an Schutzfunktionen und kostet nur so viel wie das „7SA6102“. Den besten Preis und trotzdem ein gutes Angebot an Schutzfunktionen bietet das „Acos 334“ von IDS, weshalb es die Empfehlung bekommt.

8 Zusammenfassung

Zu Beginn dieser Bachelorarbeit wurden die Informationen zu den Schutzgeräten im betrachteten Netz zusammengetragen und in übersichtlicher Form als Tabelle dargestellt. Die Positionen der Schutzgeräte wurde außerdem zusammen mit den Einstellwerten in einen Plan eingepflegt, um den Schutztechnikern des Energieversorgungsnetzes einen schnellen Überblick verschaffen zu können. Es bietet sich an die Übersichten auch in Zukunft aktuell zu halten. Eine theoretische Betrachtung bildete die Grundlage für die anschließende Bearbeitung der weiteren Aufgabenstellung.

Ziel der Bachelorarbeit war es, die aktuellen Einstellungen auf ihre Richtigkeit zu kontrollieren und Empfehlungen für Korrekturen zu erarbeiten. Durch die Berechnung von Kurzschlussströmen und Impedanzen konnten Vergleichswerte erstellt werden, um die aktuellen Einstellwerte der UMZ- und Distanzschutzgeräte zu überprüfen. Dabei wurde auch auf die Staffelzeiten eines einzelnen Schutzgerätes für sich allein sowie auch im Zusammenspiel mit den anderen Schutzgeräten geachtet. Die Berechnung fand sowohl von Hand an Beispielen als auch mit Hilfe der Netzberechnungssoftware CERBERUS statt.

Bei der Überprüfung zeigte sich teilweise die Notwendigkeit dieser Arbeit, da es noch veraltete Einstellungen gab, die durch die Veränderungen in der Netzstruktur nicht mehr korrekt waren und das optimale Wirken der Schutzgeräte verhinderte. Während der Bearbeitungszeit wurde bereits damit begonnen die ersten Schutzgeräte zu korrigieren. Als Ergebnis der Überprüfung wurde eine Übersicht mit den zu ändernden Schutzgeräten und den empfohlenen neuen Einstellungen erstellt. Insgesamt zeigte sich, dass das Mittelspannungsnetz der Stadtwerke Bernburg sicher und effektiv gestaltet ist und nur wenige Ausnahmen nicht korrekt parametrisiert sind.

Abschließend wurde auf den zukünftigen Gebrauch von Schutzgeräten eingegangen. Aufgrund einiger Vorteile, insbesondere der Fehlerortung, empfiehlt es sich Distanzschutzgeräte den UMZ-Schutzgeräten vorzuziehen. Dementsprechend wurden einige Angebote verglichen.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] T. Hiller, M. Bodach und W. Castor, Praxishandbuch Stromverteilungsnetze, Würzburg: Vogel Business Media GmbH & Co. KG, 2014.
- [2] Deutsche Industrie Norm (DIN), VDE 0102 Kurzschlussströme in Drehstromnetzen - Teil 0 Berechnung der Ströme, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2013.
- [3] Stadtwerke Bernburg GmbH, „Geschichte,“ [Online]. Available: http://www.stadtwerke-berenburg.de/cms1/index.php?option=com_content&view=article&id=50&Itemid=109. [Zugriff am 1 März 2016].
- [4] Stadtwerke Bernburg GmbH, „Netzstrukturdaten,“ [Online]. Available: http://www.stadtwerke-berenburg.de/cms1/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=172. [Zugriff am 1 März 2016].
- [5] Stadtwerke Bernburg GmbH, *Richtlinie zum Netzanschluss für Neu- und Bestandsanschlüsse*, Bernburg, 2013.
- [6] Stadtwerke Bernburg GmbH, *Technische Mindestanforderungen zum Bau und Betrieb von Übergabestationen im MS-Netz*, Bernburg, 2012.
- [7] K. Heuck, K.-D. Dettmann und D. Schulz, Elektrische Energieversorgung, Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2013.
- [8] W. Schossig und T. Schossig, Netzschutztechnik, Frankfurt Main: EW Medien und Kongress GmbH, 2013.
- [9] Deutsche Industrie Norm (DIN), VDE 0103 Kurzschlussströme - Berechnung der Wirkung - Teil 1 Begriffe und Berechnungsverfahren, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2012.
- [10] Brugg Kabel AG, *Technische Informationen MS-/NS-Kabel*, Brugg, 2009.
- [11] Siemens AG, *Distanzschutz für alle Spannungsebenen SIPROTEC 4 - 7SA6 (Katalog SIP 4.3)*, Nürnberg: Siemens AG, 2005.
- [12] Siemens AG, *Energy Automation Produkte Preisliste Oktober 2015*, Nürnberg: Siemens AG, 2015.
- [13] Schneider Electric GmbH, *Schutztechnik Stations- und Netzautomatisierung Preisliste DE2016*, Seligenstadt: Schneider Electric, 2015.

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Schutzgeräteübersicht mit aktuellen Einstellwerten

Anlage 2: Schutzgeräteübersicht mit Prüfwerten

Anlage 3: Widerstände der Leitungen J21

Anlage 4: Schutzgeräteübersicht mit Extremwerten

Anlage 5: Widerstände der Leitungen J05, J22, BHKW J01

Anlage 6: Details zu angebotenen Distanzschutzgeräten

Anlage 7: Empfohlene Einstellungen aktuelle Schutzgeräte

Anlage 8: Empfohlene Einstellungen neue Schutzgeräte

Anlage 9: Schutz-Topologie-Übersicht

Anlage 1: Schutzgeräteübersicht mit aktuellen Einstellwerten

Objekt	Zelle	Schutzart	Hersteller	Modell	Überstromstufe		Hochstromstufen		Erdschluss		Distanzschutz	
					Strom [A]	Zeit [s]	Strom [A]	Zeit [s]	Strom [A]	Zeit [s]	Impedanz [Ω]	Zeit [s]
UW Süd												
Kupplung	J01	UMZ	AEG	PM481	1125	1,9	7250	0,5				
Trafo 101	J03	Distanz+NotUMZ	AEG	PD531	1375	2,3			1000	2,3	0,5	0,15 vorwärts
											1	0,9 vorwärts 3 mal
Trafo 102	J04	UMZ	AEG	PM481	1375	2,3	5000	0,9	1000	2,3	0,5	0,15 vorwärts
		Distanz+NotUMZ	AEG	PD531	1375	2,3			1000	2,3	1	0,9 vorwärts 3 mal
		UMZ	AEG	PM481	1375	2,3	5000	0,9	1000	2,3		
		Distanz+NotUMZ	AEG	PD531	1200	0,8					7,95	0,8 vorwärts
PV-Anlage Friedenshaller Ring	J05										9,3	1,1 vorwärts
											13,4	1,4 vorwärts
PV-Anlage Carl-Wessel-Straße	J06	UMZ	AEG	PM481	270	1	1200	0,5				
Hermann-Löns-Straße	J08	UMZ	AEG	PM481	270	1	1200	0,5				
Parkstraße	J09	UMZ	AEG	PM481	270	1	1200	0,5				
Arm Block 12	J10	UMZ	AEG	PM481	540	1	1200	0,5				
Platanenweg	J11	UMZ	AEG	PM481	540	1	1200	0,5				
Erdgasspeicher	J12	UMZ	AEG	PM481	540	1,8	1200	1,1				
							5580	0,35				
Zentrale	J13	UMZ	AEG	PM481	540	1	1200	0,5				
Stauffenbergstraße	J14	UMZ	AEG	PM481	540	1	1200	0,5				
Serumwerk	J15	UMZ	AEG	PM481	540	1	1200	0,7				
							2400	0,5				
Hallesche Straße	J16	UMZ	AEG	PM481	540	1	1200	0,5				
Feser Wittig	J17	UMZ	AEG	PM481	540	1	1200	0,5				
Carl-Wessel-Straße	J18	UMZ	AEG	PM481	330	1	1200	0,8				
							5160	0,1				
Druckhaus	J20	UMZ	AEG	PM481	330	1	1200	0,8				
Zepzig Schalthaus	J21	Distanz	AEG	PD531							0,4	0,1 vorwärts
											4,5	0,7 vorwärts
											10	1 vorwärts
											0,6	0,6 rückwärts
Baalberge Windpark-Trappenberg	J22	Distanz	AEG	PD531							1,24	0,1 vorwärts
											1,92	0,8 vorwärts
											6,7	1,3 vorwärts
											0,6	0,6 rückwärts

Anlage 1: Schutzgeräteübersicht mit aktuellen Einstellwerten

Objekt	Zelle	Schutzart	Hersteller	Modell	Überstromstufe		Hochstromstufen		Erdschluss		Distanzschutz	
					Strom [A]	Zeit [s]	Strom [A]	Zeit [s]	Strom [A]	Zeit [s]	Impedanz [Ω]	Zeit [s]
externe Anlagen												
PV-Anlage Friedenshaller Ring; Schüco	J05	UMZ	SEG	WIC1-2-W3	78	4	240	0,1				
PV-Anlage Carl-Wessel-Straße; Solisa 2	J06	UMZ	SEG	WIC12PE	134,4	2	448	0,1				
PV-Anlage Baalberger Straße; Wattner	J06	UMZ					1000	0,1				
PV-Anlage Am Kirchfeld	J08	UMZ	SEG	WIC1-2-W3	134,4	2	448	0,1				
Gröger	J09	UMZ	SEG	WIP1-1-I1-E1	240	4	960	0,1				
Modul 6 Paul-Schneider-Str.	J14	UMZ	Siemens	7SJ601	150	4,5	250	0,3				
Klinikum	J20	UMZ	AEG	PS421	16	10	60	0,1	12	0,5		
Peißen Windpark Baalberge	J21	UMZ			280	0,5	1120	0,1	160	0,5		
Baalberge Windpark-Trappenberg	J22	UMZ			280	0,5	600	0,1	20	0,5		
Schaltheus Gröna												
Aderstedt Ort (UW West)	J01	UMZ-R	IDS	ACOS 353	415	1	2400	0,1				
PV-Anlage Friedenshaller Ring (UW Süd)	J02	UMZ-R	IDS	ACOS 353	415	1	2400	0,1				
Kelterweg, Schöpfwerk, Biogasanlage	J03	UMZ-R	IDS	ACOS 353	315	1	2000	0,1				
Schaltheus Zepzig												
Peißen Am Anger	J01	UMZ	SEG	WIC1-W5	400	10	2000	0,4				
Baalberge Bahnhof	J02	UMZ	SEG	WIC1-W5	400	10	2000	0,4				
BHKW Friedenshall												
Mischanlage	J12/18	UMZ-R	Siemens	7SJ5001;7SP2000	280	1,2	560	0,05				
Drahtseilwerk	J02	UMZ-R	Siemens	7SJ5001;7SP2000	280	1,2	560	0,05				
Erdgasspeicher; UW Süd	J05	UMZ-R	Siemens	7SJ5001;7SP2000	400	2,1	800	0,1				
Modul 1	J08	Diff	Siemens	7UT5121	0,4	1	10	0				
		UMZ	Siemens	7SJ5001	78,75	2,4	157,5	0,3				
Modul 2	J09	Diff	Siemens	7UT5122	0,4	1	10	0				
		UMZ	Siemens	7SJ5001	78,75	2,4	157,5	0,3				
Modul 3	J10	Diff	Siemens	7UT5123	0,4	1	10	0				
		UMZ	Siemens	7SJ5001	78,75	2,4	157,5	0,3				
Modul 4		UMZ	Siemens	7SJ6001			90	0,54				

Anlage 1: Schutzgeräteübersicht mit aktuellen Einstellwerten

Objekt	Zelle	Schutzart	Hersteller	Model	Überstromstufe		Hochstromstufen		Erdschluss		Distanzschutz	
					Strom [A]	Zeit [s]	Strom [A]	Zeit [s]	Strom [A]	Zeit [s]	Impedanz [Ω]	Zeit [s]
UW West												
Kupplung	J02	UMZ	Siemens	7SJ6311	1320	1,9	6960	0,7	1320	1,9		
Trafo 101	J03	Distanz+NotUMZ	Siemens	7SA631	1920	2,2	6960	1,5	6960	0,7	2,5	0,1 rückwärts
Trafo 102	J04	Distanz+NotUMZ	Siemens	7SA631	1920	2,2	6960	1,5			2,78	0,04 vorwärts
Kopernikusstr.	J06	UMZ	Siemens	7SJ6311	300	1,5	1200	0,5	1200	0,5	2,5	0,1 rückwärts
PV-Anlage O.-Lange-Str.	J07	UMZ	Siemens	7SJ6311	300	1,5	1200	0,5	1200	0,5	2,78	0,04 vorwärts
PV-Anlage Gnetzdorfer Weg	J08	UMZ	Siemens	7SJ6311	300	1,5	1200	0,5	1200	0,5	2,5	0,1 rückwärts
PW West	J09	UMZ	Siemens	7SJ6311	300	1,5	1200	0,5	1200	0,5	2,78	0,04 vorwärts
Weststr.	J10	UMZ	Siemens	7SJ6311	300	1,5	1200	0,5	1200	0,5		
Knauf 1	J11	UMZ	Siemens	7SJ6311	600	1,5	2400	0,5	2400	0,5		
Knauf 2	J12	UMZ	Siemens	7SJ6311	600	1,5	2400	0,5	2400	0,5		
Zeppelinstr.	J13	UMZ	Siemens	7SJ6311	600	1,5	2400	0,5	2400	0,5		
(Reserve)	J14	UMZ	Siemens	7SJ6311	600	1,5	2400	0,5	2400	0,5		
externe Anlagen												
PV-Anlage O.-Lange-Str.	J07	UMZ	SEG	MRA4A0AF	240	0,5	1000	0,1				
PV-Anlage Gnetzdorfer Weg	J08	UMZ	SEG	MRA4A0AF	240	0,5	1000	0,1				
Coil	J10	UMZ	Schneider	SEPAM1000,S40			1250	0,4				
Almecco*	J10	UMZ	Schneider	VIP300			1250	0,4				
LIDL	J10	UMZ			80	0,3	800	0,1				
Befesa												
Kupplung	J03	UMZ	SEG	WIC13PE			840	0,3				
Trafo 21	J07	UMZ	SEG	WIC13PE	225	0,6	900	0,04				
Trafo 22	J06	UMZ	SEG	WIC13PE	225	0,6	900	0,04				
Trafo 23 (Reserve)	J05	UMZ	SEG	WIC13PE	225	0,6	900	0,04				
BHKW Strenzfeld												
Kastanienweg	J01	Distanz									1,99	0,1 vorwärts
	J01	Distanz									2,66	0,8 vorwärts 3 mal
	J02	Distanz									0,85	0,1 vorwärts
	J02	Distanz									1,13	0,8 vorwärts 3 mal
Kupplung	J03	UMZ					90	0,4				
Modul 1	J05	UMZ					40	0,1				
Modul 2	J06	UMZ					40	0,1				

* Werte nicht vom Betreiber bestätigt



Anlage 2: Schutzgeräteübersicht mit Prüfwerten

Objekt	Zelle	Schutzart	Anzahl der Stationen	Betriebsmittel		max. Betriebsstrom [A]	Berechnung in Standardschalterstellung		Bemerkung
				max. Strom [A]	max. Strom [A]		min. Kurzschlussstrom [A] (3-poliger KS)	Impedanz [Ω]	
UW Süd									
Kupplung	J01	UMZ			1250	0			
Trafo 101	J03	Distanz+NotUMZ	86		1250	794	5280		
		UMZ					5280		
Trafo 102	J04	Distanz+NotUMZ	68		1250	332	5250		
		UMZ					5250		
PV-Anlage Friedenshaller Ring	J05	Distanz+NotUMZ	7		320	39,6	2490	1,0766 Gröna Schaltheus 2,146 Gröna im Sumpfe	
PV-Anlage Carl-Wessel-Straße	J06	UMZ	9		320	76,8	2680		
Hermann-Löns-Straße	J08	UMZ	5		320	141	3790		
Parkstraße	J09	UMZ	8		320	70,8	3290		
Am Block 12	J10	UMZ	14		320	114	3200		
Platanenweg	J11	UMZ	11		320	65,1	3600		
Erdgasspeicher	J12	UMZ	1		419	129	4990		
							4990		
Zentrale	J13	UMZ	0		302	5,17	4190		
Stauffenbergstraße	J14	UMZ	9		419	45,3	4050		
Serumwerk	J15	UMZ	14		302	161	3540		
							3540		
Hallesche Straße	J16	UMZ	11		320	103	3790		
Feser Wittig	J17	UMZ	2		320	17,8	3390		
Carl-Wessel-Straße	J18	UMZ	4		320	37,6	4910		
							4910		
Druckhaus	J20	UMZ	13		320	145	2420		
Zepzig Schaltheus	J21	Distanz	12		320	115	914	0,4929 Zepzig Schaltheus 4,9565 Leau Am Friedhof 9,7479 Weddegast	
			20						
Baalberge Windpark-Trappenberg	J22	Distanz	14		320	203	1890	1,8643 Baalberge Umgehungsstr. 2,8361 Baalberge FWV 3,9275 Poley Großpoley	

Anlage 2: Schutzgeräteübersicht mit Prüfwerten

Objekt	Zelle	Schutzart	Anzahl der Stationen	Betriebsmittel max. Strom [A]	max. Betriebsstrom [A]	Berechnung in Standardschalterstellung		
						min. Kurzschlussstrom [A] (3-poliger KS)	Impedanz [Q]	Bemerkung
externe Anlagen								
PV-Anlage Friedenshaller Ring; Schüco	J05	UMZ		320	51,3			
PV-Anlage Carl-Wessel-Straße; Solisa 2	J06	UMZ		320	18,2			
PV-Anlage Baalberger Straße; Wattner	J06	UMZ		320	90,3	6130		
PV-Anlage Am Kirchfeld	J08	UMZ		320	97,67			
Gröber	J09	UMZ		320	8,66	4230		
Modul 6 Paul-Schneider-Str.	J14	UMZ		320	57,8	5770		
Klinikum	J20	UMZ		320	7,22	5770		
Peißen Windpark Baalberge	J01	UMZ		320		23100		
Baalberge Windpark-Trappenberg		UMZ		320		54500		
Schaltheus Gröna	J05							
Aderstedt Ort (UW West)	J01	UMZ-R	2	320		2490		
PV-Anlage Friedenshaller Ring (UW Süd)	J02	UMZ-R	1	320		2650		
Kelterweg, Schöpfwerk, Biogasanlage	J03	UMZ-R	5	320		2490		
Schaltheus Zepzig	J21							
Peißen Am Anger	J01	UMZ	12	320	145	1710		
Baalberge Bahnhof	J02	UMZ	20	320	34,2	914		
BHKW Friedenshall	J12/18							
Mischanlage	J01	UMZ-R	6	320	67,8	739		
Drahtseilwerk	J02	UMZ-R	4	320	17,9	780		
Erdgasspeicher; UW Süd	J05	UMZ-R	1	419	138	797		
Modul 1	J08	Diff						
		UMZ			56,8	805		
Modul 2	J09	Diff						
		UMZ			56,8	805		
Modul 3	J10	Diff						
		UMZ			56,8	805		
Modul 4		UMZ			55,4	805		

Anlage 2: Schutzgeräteübersicht mit Prüfwerten

Objekt	Zelle	Schutzart	Anzahl der Stationen	Betriebsmittel max. Strom [A]	max. Betriebsstrom [A]	Berechnung in Standardschalterstellung		
						min. Kurzschlussstrom [A] (3-poliger KS)	Impedanz [Ω]	Bemerkung
UW West								
Kupplung	J02	UMZ			1250	0		
Trafo 101	J03	Distanz+NotUMZ	28		1250	22,4	6270	
Trafo 102	J04	Distanz+NotUMZ	25		1250	490	6470	
Kopernikusstr.	J06	UMZ	5		320	26,6	4670	
PV-Anlage O.-Lange-Str.	J07	UMZ	9		320	87,2	4300	
PV-Anlage Gnetzendorfer Weg**	J08	UMZ	19		320	76,6	4620	
PW West	J09	UMZ	2		320	17,8	3970	
Weststr.**	J10	UMZ	19		320	154	4620	
Knauf 1	J11	UMZ	0		537	1,67	5810	
Knauf 2	J12	UMZ	1		537	234	5980	
Zeppelinstr.	J13	UMZ	17		419	93,9	3190	
(Reserve)	J14	UMZ			630	0		
externe Anlagen								
PV-Anlage O.-Lange-Str.	J07	UMZ			320	143,9		
PV-Anlage Gnetzendorfer Weg	J08	UMZ			320	145,4		
Coil	J10	UMZ			320	17,3	5200	
Almecco	J10	UMZ			320	24,5	5080	
LIDL	J10	UMZ			320	23,1	4990	
Befesa	J10							
Kupplung	J03	UMZ			320	8,66	4810	
Trafo 21	J07	UMZ			320			
Trafo 22	J06	UMZ			320			
Trafo 23 (Reserve)	J05	UMZ			320			
BHKW Strenzfeld	J10							
Kastanienweg	J01	Distanz	10				1,6783 Weststr.	
Strenzfeld Landwirtschaft	J02	Distanz	8				1,0794 PVA Gnetzendorfer Weg	
Kupplung	J03	UMZ			320	28,6	11500	
Modul 1	J05	UMZ						
Modul 2	J06	UMZ						

** werden im Ring betrieben, Anzahl der Stationen im ganzen Ring

Anlage 3: Widerstände der Leitungen J21

Widerstandswerte J21 J01 - Stufe 2

R' [Ω/km]	X' [Ω/km]	l [km]	R _L [Ω]	X _L [Ω]
0,211	0,12221	1,48111	0,3125	0,1810
0,211	0,12221	0,54046	0,1140	0,0660
0,211	0,12221	0,02	0,0042	0,0024
0,306	0,362	1,49276	0,4568	0,5404
0,211	0,12221	2,28344	0,4818	0,2791
0,211	0,12221	0,43099	0,0909	0,0527
0,211	0,12221	2,20907	0,4661	0,2700
0,211	0,12221	0,04393	0,0093	0,0054
0,211	0,12221	0,00235	0,0005	0,0003
0,211	0,12221	0,33114	0,0699	0,0405
0,211	0,12221	0,24924	0,0526	0,0305
0,211	0,12221	0,22519	0,0475	0,0275
0,165	0,194	0,02601	0,0043	0,0050
0,127	0,187	0,08851	0,0112	0,0166
0,211	0,12221	0,86488	0,1825	0,1057
0,211	0,12221	0,357	0,0753	0,0436
0,211	0,12221	0,4623	0,0975	0,0565
0,211	0,12221	0,2461	0,0519	0,0301
0,211	0,12221	1,97598	0,4169	0,2415
0,211	0,12221	0,02714	0,0057	0,0033
0,306	0,362	0,07818	0,0239	0,0283
0,306	0,362	1,15932	0,3548	0,4197
0,306	0,362	0,40225	0,1231	0,1456
0,306	0,362	1,21909	0,3730	0,4413
0,211	0,12221	0,30603	0,0646	0,0374
Summe		16,522	3,891	3,070

Widerstandswerte J21 J02 - Stufe 3

R' [Ω/km]	X' [Ω/km]	l [km]	R _L [Ω]	X _L [Ω]
0,211	0,12221	1,48111	0,3125	0,1810
0,211	0,12221	0,54046	0,1140	0,0660
0,211	0,12221	0,43289	0,0913	0,0529
0,211	0,12221	0,99414	0,2098	0,1215
0,211	0,12221	0,08208	0,0173	0,0100
0,211	0,12221	1,12375	0,2371	0,1373
0,211	0,12221	0,65855	0,1390	0,0805
0,211	0,12221	0,21233	0,0448	0,0259
0,211	0,12221	2,0223	0,4267	0,2471
0,211	0,12221	0,12124	0,0256	0,0148
0,595	0,384	0,91286	0,5432	0,3505
0,595	0,384	0,53315	0,3172	0,2047
0,211	0,12221	0,31071	0,0656	0,0380
0,211	0,12221	0,02902	0,0061	0,0035
0,306	0,362	0,20606	0,0631	0,0746

Anlage 3: Widerstände der Leitungen J21

R' [Ω/km]	X' [Ω/km]	l [km]	R_L [Ω]	X_L [Ω]
0,211	0,12221	0,01588	0,0034	0,0019
0,211	0,12221	0,01588	0,0034	0,0019
0,211	0,12221	0,48988	0,1034	0,0599
0,211	0,12221	0,49295	0,1040	0,0602
0,2	0,15	0,42259	0,0845	0,0634
0,211	0,12221	0,13757	0,0290	0,0168
0,211	0,12221	0,5858	0,1236	0,0716
0,211	0,12221	0,0609	0,0128	0,0074
0,211	0,12221	0,10689	0,0226	0,0131
0,2	0,15	0,61446	0,1229	0,0922
0,211	0,12221	0,25226	0,0532	0,0308
0,211	0,12221	0,4926	0,1039	0,0602
0,211	0,12221	0,46726	0,0986	0,0571
0,413	0,372	2,49483	1,0304	0,9281
0,211	0,12221	0,19615	0,0414	0,0240
0,211	0,12221	0,05153	0,0109	0,0063
0,413	0,372	0,50892	0,2102	0,1893
0,165	0,194	0,00756	0,0012	0,0015
0,255	0,0957	0,08475	0,0216	0,0081
0,165	0,09	0,14725	0,0243	0,0133
0,165	0,09	0,1427	0,0235	0,0128
0,211	0,12221	0,02022	0,0043	0,0025
0,211	0,12221	0,02022	0,0043	0,0025
0,255	0,0957	0,08984	0,0229	0,0086
0,165	0,194	0,05446	0,0090	0,0106
0,211	0,12221	0,00275	0,0006	0,0003
0,165	0,194	0,20124	0,0332	0,0390
0,211	0,12221	0,53154	0,1122	0,0650
0,211	0,12221	0,52065	0,1099	0,0636
0,165	0,194	0,33766	0,0557	0,0655
0,306	0,362	0,23444	0,0717	0,0849
0,211	0,12221	0,36996	0,0781	0,0452
0,211	0,12221	0,30246	0,0638	0,0370
0,211	0,12221	0,30246	0,0638	0,0370
0,211	0,12221	0,36354	0,0767	0,0444
0,306	0,362	1,20031	0,3673	0,4345
0,211	0,12221	0,90994	0,1920	0,1112
0,211	0,12221	0,81263	0,1715	0,0993
0,306	0,362	0,42202	0,1291	0,1528
0,211	0,12221	1,08116	0,2281	0,1321
0,211	0,12221	0,7756	0,1637	0,0948
0,211	0,12221	0,25174	0,0531	0,0308
0,306	0,362	1,70934	0,5231	0,6188
0,2	0,15	1,63409	0,3268	0,2451
Summe		29,838	7,802	5,843

Anlage 4: Schutzgeräteübersicht mit Extremwerten

Objekt	Zelle	Schutzart	Alternativschalterstellung		
			letzte Station	min. Kurzschlussstrom [A] (3-poliger KS)	Impedanz [Ω]
UW Süd					
PV-Anlage Friedenshaller Ring	J05	Distanz+NotUMZ	UW West J09 PW West	2490	2,1897
PV-Anlage Carl-Wessel-Straße	J06	UMZ	J08 H.-Löns-Str.	2110	
			J09 Parkstr.	1920	
Hermann-Löns-Straße	J08	UMZ	J06 PVA C.-Wessel-Str.	2110	
			J09 Parkstr.	2500	
Parkstraße	J09	UMZ	J06 PVA C.-Wessel-Str.	1920	
			J08 H.-Löns-Str.	2500	
			J10 Lange Str.	3060	
			J10 Am Block 12	2880	
Am Block 12	J10	UMZ	J09 Dröbel Klärwerk	3080	
			J09 Parkstr.	2890	
			J15 Serumwerk	2350	
			J15 Schlossgartenstr. (Quer)	3240	
			J15 Serumwerk (Quer)	3680	
			J16 Hallesche Str.	2470	
			J16 J14 GVZ Kustrenaer Str.	2600	
Platanenweg	J11	UMZ	Landeskrankenhaus	2600	
			J20 Druckhaus	1890	
			J14 Antoinettenstr.	2330	
			J14 Stauffenbergstr.	1990	
Erdgasspeicher	J12	UMZ	J18 C.-Wessel-Str.	3900	
			Zentrale	J13	UMZ
Zentrale	J13	UMZ	UW West J07 PVA O.-Lange-Str.	3120	
			UW West J10 Weststr.	1760	
			UW West J08 PVA Gnetzendorfer Weg	2610	
			Stauffenbergstraße	J14	UMZ
Stauffenbergstraße	J14	UMZ	GVZ Kustrenaer Str.	3720	
			J11 Neuborna Ort	2550	
			J11 Platanenweg	1990	
			J20 Druckhaus	2580	
			Serumwerk	J15	UMZ
Serumwerk	J15	UMZ	J10 Lange Str. (Quer)	3150	
			J10 Am Block 12 (Quer)	3680	
			J16 Hallesche Str.	2650	
			J16 J14 GVZ Kustrenaer Str.	2800	
			Hallesche Straße	J16	UMZ
Hallesche Straße	J16	UMZ	J15 Serumwerk	2650	
			J14 Stauffenbergstr.	3450	
			Feser Wittig	J17	UMZ
Carl-Wessel-Straße	J18	UMZ	J12 Erdgasspeicher	3900	
Druckhaus	J20	UMZ	J11 Neuborna Ort	2400	
			J11 Platanenweg	1890	
			J14 Antoinettenstr.	3170	
			J14 Stauffenbergstr.	2580	
Zepzig Schalthaus	J21	Distanz	J01 J02 Baalberge Bahnhof	1150	7,4325
			J01 J02 Weddegast	790	11,7354
			J01 J02 J22 Baalberge WP Trappenberg	608	14,6565
			J02 J01 Peißen Anger	1150	7,4325
			J02 J22 Baalberge WP Trappenberg	691	12,6689
Baalberge Windpark-Trappenberg	J22	Distanz	J21 Preußnitz Ort	866	10,7016
			J21 J01 Peißen Anger	608	15,1651
			J21 J02 Baalberge Bahnhof	715	13,1776

Anlage 4: Schutzgeräteübersicht mit Extremwerten

Objekt	Zelle	Schutzart	Alternativschalterstellung		
			Bemerkung	min. Kurzschlussstrom [A] (3-poliger KS)	Impedanz [Ω]
UW West					
Kopernikusstr.	J06	UMZ	UW Süd J17 Feser Wittig	2920	
PV-Anlage O.-Lange-Str.	J07	UMZ	J08 Magdeburger Chaussee	3180	
			J08 PVA Gnetzendorfer Weg	2610	
			J10 Weststr.	1750	
			J13 Zeppelinstr.	3090	
PV-Anlage Gnetzendorfer Weg	J08	UMZ	J10 Weststr.	2220	
			J07 PVA O.-Lange-Str.	2670	
			J13 Zeppelinstr.	2590	
PW West	J09	UMZ	UW Süd J05 PVA Friedenshaller Ring	2650	
			UW Süd J05 Gröna Im Sumpfe	2780	
Weststr.	J10	UMZ	J08 PVA Gnetzendorfer Weg	2220	
			J07 PVA O.-Lange-Str.	1760	
			J13 Zeppelinstr.	1740	
Knauf 1	J11	UMZ			
Knauf 2	J12	UMZ			
Zeppelinstr.	J13	UMZ	J08 Magdeburger Chaussee	3120	
			J08 PVA Gnetzendorfer Weg	2570	
			J10 Weststr.	1730	
			J07 PVA O.-Lange-Str.	3090	

Anlage 5: Widerstände der Leitungen J05, J22, BHKW J01

Widerstandswerte J05 - Stufe 1

R' [Ω /km]	X' [Ω /km]	l [km]	RL [Ω]	XL [Ω]	ZL [Ω]	0,85*ZL [Ω]
0,13	0,11341	0,21471	0,0279	0,0244		
0,211	0,12221	0,71494	0,1509	0,0874		
0,211	0,12221	0,61776	0,1303	0,0755		
0,13	0,11341	0,44607	0,0580	0,0506		
0,13	0,11341	0,12701	0,0165	0,0144		
0,13	0,11341	2,69952	0,3509	0,3062		
0,13	0,11341	0,22741	0,0296	0,0258		
0,13	0,11341	0,1993	0,0259	0,0226		
0,13	0,11341	0,24909	0,0324	0,0282		
0,13	0,11341	0,02696	0,0035	0,0031		
0,13	0,11341	0,19092	0,0248	0,0217		
Summe		5,714	0,851	0,660	1,077	0,915

Widerstandswerte J05 - Stufe 2/3

R' [Ω /km]	X' [Ω /km]	l [km]	RL [Ω]	XL [Ω]	ZL [Ω]	0,85*ZL [Ω]
0,211	0,12221	0,15587	0,0329	0,0190		
0,211	0,12221	0,10696	0,0226	0,0131		
0,211	0,12221	0,11333	0,0239	0,0139		
0,211	0,12221	0,12639	0,0267	0,0154		
0,211	0,12221	0,24739	0,0522	0,0302		
0,211	0,12221	0,26209	0,0553	0,0320		
0,211	0,12221	0,54738	0,1155	0,0669		
0,211	0,12221	0,0808	0,0170	0,0099		
0,211	0,12221	0,09134	0,0193	0,0112		
0,211	0,12221	0,07412	0,0156	0,0091		
0,211	0,12221	0,00317	0,0007	0,0004		
0,211	0,12221	0,09811	0,0207	0,0120		
0,211	0,12221	0,42409	0,0895	0,0518		
0,211	0,12221	0,0141	0,0030	0,0017		
0,211	0,12221	0,75859	0,1601	0,0927		
0,211	0,12221	0,66176	0,1396	0,0809		
0,211	0,12221	0,27023	0,0570	0,0330		
0,211	0,12221	0,15185	0,0320	0,0186		
0,211	0,12221	0,04946	0,0104	0,0060		
0,211	0,12221	0,16631	0,0351	0,0203		
0,211	0,12221	0,00248	0,0005	0,0003		
Summe		10,120	1,780	1,198	2,146	1,824

Anlage 5: Widerstände der Leitungen J05, J22, BHKW J01

Widerstandswerte J22 - Stufe 1

R' [Ω /km]	X' [Ω /km]	l [km]	RL [Ω]	XL [Ω]	ZL [Ω]	0,85*ZL [Ω]
0,13	0,11341	0,29433	0,0383	0,0334		
0,237	0,368	2,14	0,5072	0,7875		
0,211	0,12221	0,0951	0,0201	0,0116		
0,211	0,12221	0,09681	0,0204	0,0118		
0,165	0,194	0,15241	0,0251	0,0296		
0,165	0,194	0,34767	0,0574	0,0674		
0,211	0,12221	0,42727	0,0902	0,0522		
0,13	0,11341	0,31641	0,0411	0,0359		
0,13	0,11341	0,08196	0,0107	0,0093		
0,13	0,11341	0,18591	0,0242	0,0211		
0,211	0,12221	0,66	0,1393	0,0807		
0,165	0,194	0,48946	0,0808	0,0950		
0,211	0,12221	0,12911	0,0272	0,0158		
0,211	0,12221	0,112	0,0236	0,0137		
0,255	0,206	0,01568	0,0040	0,0032		
0,211	0,12221	0,00334	0,0007	0,0004		
0,165	0,194	0,70128	0,1157	0,1360		
Summe		6,249	1,226	1,405	1,864	1,585

Widerstandswerte J22 - Stufe 2

R' [Ω /km]	X' [Ω /km]	l [km]	RL [Ω]	XL [Ω]	ZL [Ω]	0,85*ZL [Ω]
0,211	0,12221	0,00669	0,0014	0,0008		
0,165	0,09	0,00847	0,0014	0,0008		
0,211	0,12221	0,00292	0,0006	0,0004		
0,165	0,09	0,29801	0,0492	0,0268		
0,211	0,12221	0,0019	0,0004	0,0002		
0,165	0,09	0,18833	0,0311	0,0169		
0,211	0,12221	0,00221	0,0005	0,0003		
0,165	0,09	0,11693	0,0193	0,0105		
0,211	0,12221	0,00873	0,0018	0,0011		
0,211	0,12221	0,20531	0,0433	0,0251		
0,306	0,362	0,17291	0,0529	0,0626		
0,595	0,384	1,05089	0,6253	0,4035		
0,211	0,12221	0,00882	0,0019	0,0011		
Summe		8,321	2,055	1,955	2,836	2,411

Widerstandswerte J22 - Stufe 3

R' [Ω /km]	X' [Ω /km]	l [km]	RL [Ω]	XL [Ω]	ZL [Ω]
0,165	0,194	0,02621	0,0043	0,0051	
0,165	0,194	0,26978	0,0445	0,0523	
0,211	0,12221	0,00498	0,0011	0,0006	
0,211	0,12221	0,00505	0,0011	0,0006	
0,165	0,194	0,12382	0,0204	0,0240	
0,211	0,12221	0,00603	0,0013	0,0007	
0,413	0,372	0,71594	0,2957	0,2663	

Anlage 5: Widerstände der Leitungen J05, J22, BHKW J01

R' [Ω /km]	X' [Ω /km]	l [km]	RL [Ω]	XL [Ω]	ZL [Ω]
0,306	0,362	1,4608	0,4470	0,5288	
0,211	0,12221	0,01562	0,0033	0,0019	
0,211	0,12221	0,03384	0,0071	0,0041	
0,165	0,194	0,55357	0,0913	0,1074	
0,165	0,194	0,055	0,0091	0,0107	
0,211	0,12221	0,00907	0,0019	0,0011	
0,211	0,12221	0,00959	0,0020	0,0012	
0,165	0,194	0,36214	0,0598	0,0703	
0,211	0,12221	0,59291	0,1251	0,0725	
Summe		11,473	2,641	2,907	3,928

Widerstandswerte J10 BHKW J01 Kastanienweg

R' [Ω /km]	X' [Ω /km]	l [km]	RL [Ω]	XL [Ω]	ZL [Ω]	0,85*ZL [Ω]
0,211	0,12221	0,207	0,0437	0,0253		
0,211	0,12221	0,09	0,0190	0,0110		
0,16738	0,11624	0,038	0,0064	0,0044		
0,16738	0,11624	1,754	0,2936	0,2039		
0,13	0,11341	0,298	0,0387	0,0338		
0,13	0,11341	0,042	0,0055	0,0048		
0,13	0,11341	1,487	0,1933	0,1686		
0,13	0,11341	0,695	0,0904	0,0788		
0,13	0,11341	0,04813	0,0063	0,0055		
0,13	0,11341	1,21	0,1573	0,1372		
0,13	0,11341	0,11864	0,0154	0,0135		
0,13	0,11341	0,0329	0,0043	0,0037		
0,13	0,11341	0,07416	0,0096	0,0084		
0,13	0,11341	0,08136	0,0106	0,0092		
0,13	0,11341	0,00552	0,0007	0,0006		
0,13	0,11341	0,00617	0,0008	0,0007		
0,13	0,11341	0,04839	0,0063	0,0055		
0,13	0,11341	0,1318	0,0171	0,0149		
0,13	0,11341	0,581	0,0755	0,0659		
0,13	0,11341	0,047	0,0061	0,0053		
0,13	0,11341	0,489	0,0636	0,0555		
0,13	0,11341	0,052	0,0068	0,0059		
0,13	0,11341	0,469	0,0610	0,0532		
0,13	0,11341	0,113	0,0147	0,0128		
0,13	0,11341	0,158	0,0205	0,0179		
0,13	0,11341	0,071	0,0092	0,0081		
0,13	0,11341	0,163	0,0212	0,0185		
0,13	0,11341	0,39	0,0507	0,0442		
0,13	0,11341	0,1318	0,0171	0,0149		
0,13	0,11341	0,1318	0,0171	0,0149		
0,13	0,11341	0,1318	0,0171	0,0149		
Summe		9,296	1,300	1,062	1,678	1,427

Anlage 6: Details zu angebotenen Distanzschutzgeräten

Hersteller	Typ	Preis [€]	Schutzfunktionen	Bedienung	Ein-/Ausgänge	Gehäuse
Siemens	7SA6102	5169	Distanzschutzanregung I> Erdfehlerfassung gelöschte/isolierte Netze Wiedereinschaltautomatik Über-/Unterspannungsschutz Über-/Unterfrequenzschutz 3-polige Auslösung	4-zeiliges beleuchtetes Display Funktionstasten numerisches Bedienfeld 7 LEDs	7 Meldeeingänge 6 Meldeausgänge 4 Strommesseingänge 4 Spannungsmesseingänge RS232 (front-/rückseitig) optisch, ST-Stecker (rückseitig)	1/3 19" Aufbaugehäuse Schraubklemmen
	7SA6112	6648	Distanzschutzanregung I> Erdfehlerfassung gelöschte/isolierte Netze Wiedereinschaltautomatik Über-/Unterspannungsschutz Über-/Unterfrequenzschutz 3-polige Auslösung	4-zeiliges beleuchtetes Display Funktionstasten numerisches Bedienfeld 14 LEDs	13 Meldeeingänge 5 Meldeausgänge 12 schnelle Relais 4 Strommesseingänge 4 Spannungsmesseingänge RS232 (front-/rückseitig) optisch, ST-Stecker (rückseitig)	1/2 19" Aufbaugehäuse Schraubklemmen
Schneider	P430	5280	Distanzschutzanregung I>, U<, Z< (Polygon, Kreis) Erdfehlerfassung Wiedereinschaltautomatik Über-/Unterspannungsschutz Über-/Unterfrequenzschutz Not-UMZ-Schutz Pendelsperre/-auslösung Leistungsrichtungsschutz QU-Schutz Automatische Frequenzentlastung Schalterversagerschutz UMZ-, AMZ-Schutz Thermischer Überlastschutz	Digitales Display Bedienfeld Funktionstasten 17 LEDs	2 Meldeeingänge 8 Meldeausgänge RS232 (frontseitig) weitere Kommunikationsschnittstelle (rückseitig)	Auf-/Einbaugehäuse Schraubklemmen
IDS	Acos 334	3407	Distanzschutz Erdfehlerfassung/-schutz Über-/Unterspannungsschutz Über-/Unterfrequenzschutz UMZ-Schutz QU-Schutz Automatische Frequenzentlastung Schalterversagerschutz Drehfeldüberwachung Stromunsymmetrieschutz	Semigrafisches Display Bedienfeld 16 LEDs	6 Meldeeingänge 5 Meldeausgänge 4 Strommesseingänge 4 Spannungsmesseingänge RJ45 (frontseitig) RJ45 (rückseitig)	Schalttafel-/Türmontage

Anlage 7: Empfohlene Einstellungen aktuelle Schutzgeräte

UMZ-Überstromstufe

Zielbezeichnung	Zelle	aktuelle Einstellung		empfohlene Einstellung	
		Strom [A]	Zeit [s]	Strom [A]	Zeit [s]
Schalthaus Zepzig	J01	400	10	320	10
	J02	400	10	320	10

UMZ-Hochstromstufe

Zielbezeichnung	Zelle	aktuelle Einstellung		empfohlene Einstellung	
		Strom [A]	Zeit [s]	Strom [A]	Zeit [s]
Schalthaus Zepzig	J01	2000	0,4	1600	0,4
	J02	2000	0,4	960	0,4
Kupplung UW Süd	J01	7250	0,5	5000	0,7

Distanzschutz

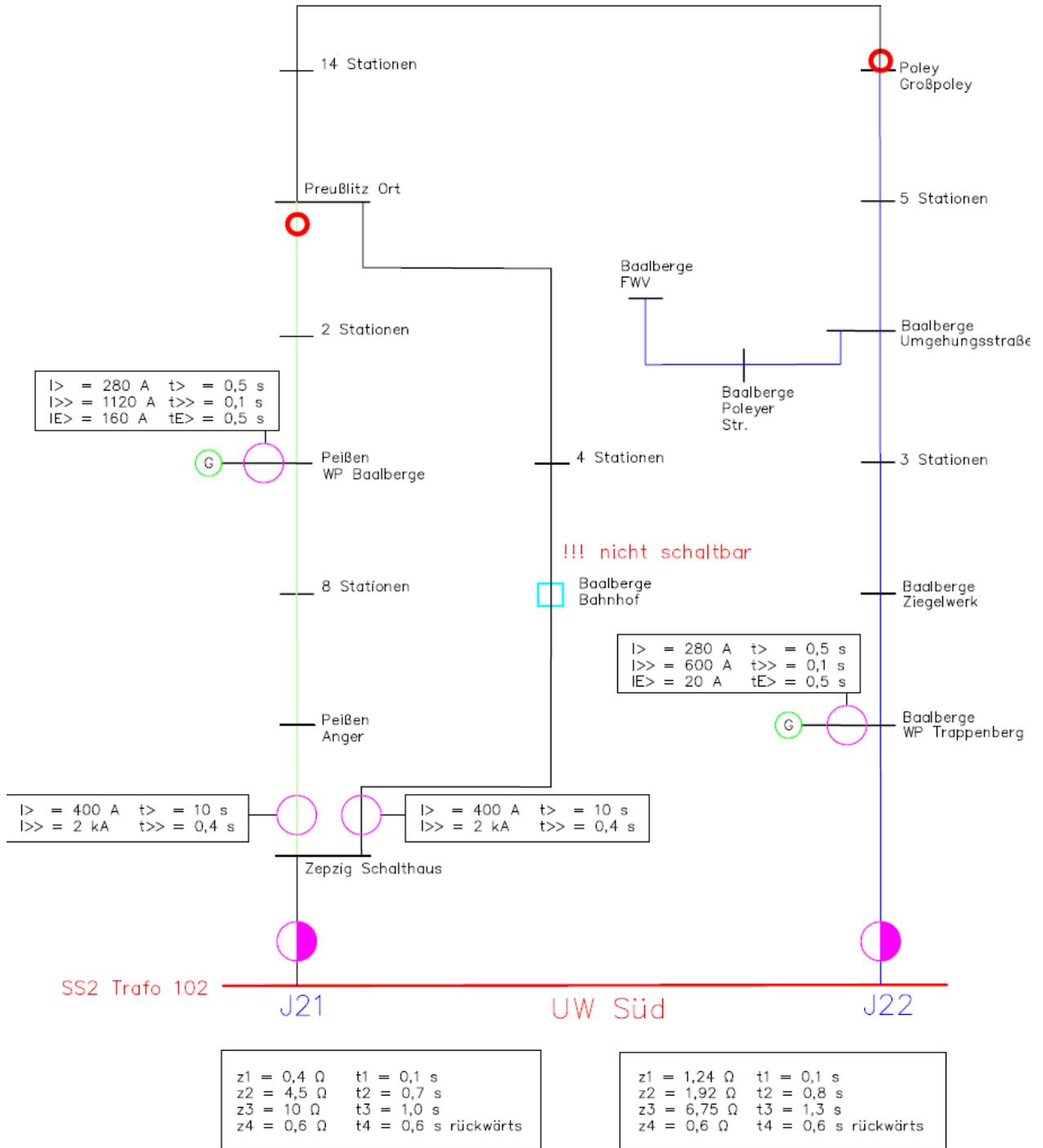
Zielbezeichnung	Zelle	aktuelle Einstellung		empfohlene Einstellung	
		Impedanz [Ω]	Zeit [s]	Impedanz [Ω]	Zeit [s]
PVA Friedenshaller Ring	J05	7,95	0,8	0,92	0,8
		9,3	1,1	1,82	1,1
		13,4	1,4	2,15	1,4
Baalberge WP Trappenberg	J22	1,24	0,1	1,58	0,1
		1,92	0,8	2,41	0,8
		6,7	1,3	3,93	1,3
BHKW Strenzfeld	J01	1,99	0,1	1,43	0,1
		2,66	0,8	1,68	0,8

Anlage 8: Empfohlene Einstellungen neue Schutzgeräte

Distanzschutz

Zielbezeichnung	Zelle	empfohlene Einstellung		Bemerkung
		Impedanz [Ω]	Zeit [s]	
PVA C.-Wessel-Str.	J06	0,04	0,1	85% PVA C.-Wessel-Str. Pfingstbergweg
		2,35	0,4	
H.-Löns-Str.	J08	0,76	0,1	85% PVA Am Kirchfeld PVA Am Kirchfeld
		1,06	0,4	
Parkstr.	J09	0,62	0,1	85% Gröger Dröbel Klärwerk
		1,55	0,4	
Am Block 12	J10	0,64	0,1	85% Gröbziger Str. Querverbindung 85% Steinstr. Querverbindung Lange Str.
		1,00	0,4	
		1,57	0,7	
Serumwerk	J15	0,36	0,1	85% Zepziger Str. Schlossgartenstr.
		1,29	0,4	
Hallesche Str.	J16	0,47	0,1	85% Hallesche Str. 85% GVZ Kustrenaer Str. Wasserwerk
		0,79	0,4	
		1,11	0,7	
Stauffenbergstr.	J14	0,65	0,1	85% Antoinettenstr. GVZ Kustrenaer Str.
		1,15	0,4	
Platanenweg	J11	1,05	0,1	85% Pulverturm Landeskrankenhaus
		2,64	0,4	
Druckhaus	J20	1,17	0,1	85% Siedlung der Freundschaft Pulverturm
		2,78	0,4	
Feser & Wittig	J17	1,24	0,1	85% Stadtbad Kopernikustr.
		2,27	0,4	
Erdgasspeicher	J12	0,15	0,1	85% Erdgasspeicher BHKW
		0,21	0,4	
C.-Wessel-Str.	J18	0,47	0,1	85% Drahtseilwerk BHKW
		0,67	0,4	

Anlage 9: Schutz-Topologie-Übersicht



Schutzger\u00e4te im 20kV-Landnetz der SWB

Stand 08.02.2016

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die Arbeit selbstständig verfasst, in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht in einem anderen Studiengang als Prüfungsleistung vorgelegt wurde und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen, einschließlich der angegebenen oder beschriebenen Software, verwendet wurden.

Ort, Datum

Unterschrift