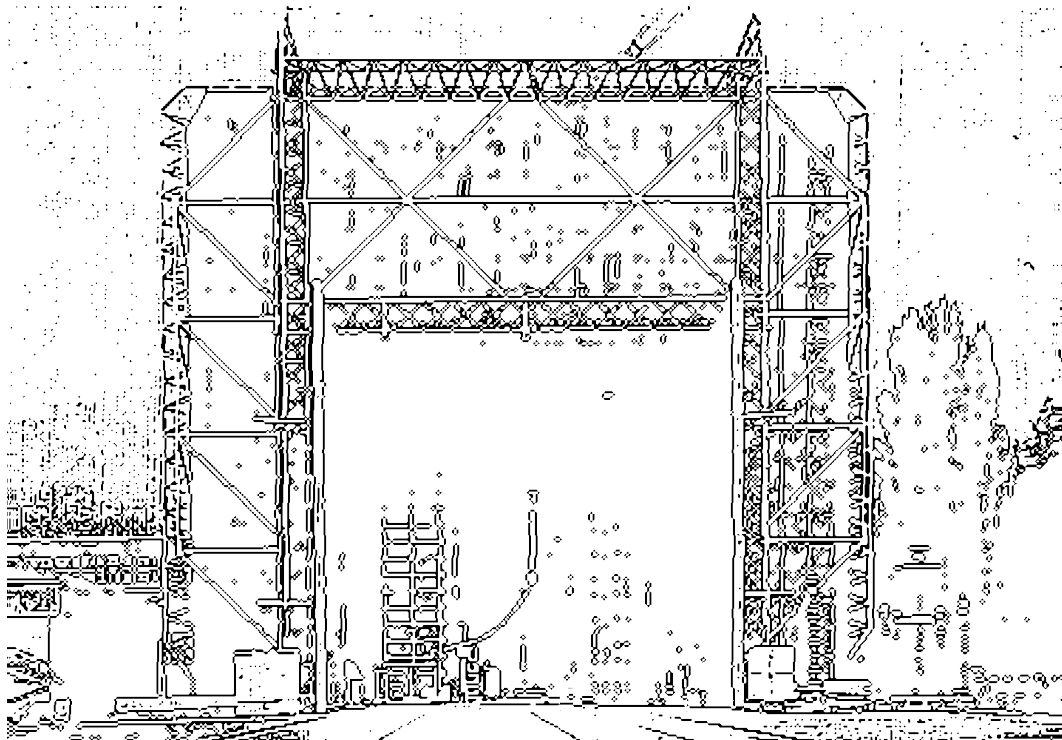


TECHNISCHE UNIVERSITÄT GRAZ

MASTERARBEIT

RISIKO- UND SCHWACHSTELLENANALYSE DER RAFFINERIE SCHWECHAT



Betreuer:

Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christof Sumereder
Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Herwig Renner

Diplomand: René Jürgen Wind
Stand: März 2013

Danksagung

Dankbarkeit „= Das Gedächtnis des Herzens.“
Jean-Baptiste Massillon

Ich möchte mich zuerst für all die Möglichkeiten bedanken, die mir seitens meiner Familie und dem Hochspannungstechnikinstitut während meines Studiums ermöglicht wurden.

Persönlich möchte ich beim emeritierten Prof. Michael Muhr beginnen, der mich mit seiner Führungs- und Lebensart stets beeindruckt hat. Sein ständig offenes Ohr und Lösungsvorschläge, für Anliegen jeglicher Art und Weise, waren für meine konstante Strebsamkeit entscheidend.

Ganz besonders möchte ich mich beim Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christof Summereder bedanken. Danke, für die angenehme Zusammenarbeit am Institut, dem entgegenkommenden Vertrauen, den konstruktiven Ratschlägen und dem allzeit vorherrschenden Verständnis. Danke, für die Unterstützung, der aufgewandten Zeit bei technischen Fragen und für die Ermöglichung dieser Masterarbeit.

Seitens der OMV gilt mein Dank Dipl.-Ing Dr.techn. Martin Ammer, dem ich die Arbeit inklusive Praktikumsaufenthalt zu verdanken habe, Ing.- Peter Zastressek, der für meine Einführung in den Betrieb und bei Fragen sich stets Zeit nahm. Danke Peter, dass du mich während meines Praktikumsaufenthalts in allen Bereichen so tatkräftig unterstützt und ein angenehmes Arbeitsklima ermöglicht hast.

Mein Dank gilt auch Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Herwig Renner, der mich konstruktiv und fachlich bei den Simulationen unterstützt hat.

Danke an all meine Wegbegleiter, Studienkollegen, Freunde und Arbeitskollegen, mit denen, neben allgemeinen und fachlichen Diskussionen, ein ganz besonderer Genuss des Studiums zustande gekommen ist.

Zu guter Letzt, danke Mama, danke Papa und danke Didi.

Eidstaatliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbständig angefertigt habe. Es wurde nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen als Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut hab ich als solchen kenntlich gemacht.

Graz, März 2013

Ort, Datum



René WIND

Unterschrift

Kurzfassung

Die Masterarbeit beschäftigt sich mit einem Elektroenergiesystem eines Industriebetriebes, das auf Gefahrenstellen und Optimierungsvarianten bei Ausfällen untersucht wurde. Die Datenerhebung und Simulationsergebnisse sind Teil einer auf drei Schwerpunkten aufgeteilten umfassenden Bewertung des Mittelspannungsverteilungsnetzes mit speziellen Fokus auf Schaltanlagen.

Ausgehend von einem IST-Zustand des Modelnetzes wurden Betriebsmittelgrenzwerte im Mittelspannungsverteilnetz überprüft und anschließend mögliche Optimierungsvarianten zur verbesserten Lastflussverteilung im Fehlerfalle erarbeitet und numerisch berechnet. Jede Modelvariante beinhaltet den ungestörten Netzzustand und definierte Ausfallsszenarien zur Netzanalyse. Die einzelnen NEPLAN-Ergebnisse ausgewählter elektrischer Betriebsmittel wurden zur einheitlichen Gegenüberstellung mit MATLAB in eine erstellte Excel-Datenaufbereitungsvorlage eingebunden.

Das Hauptaugenmerk bei den Schaltanlagen lag auf der offen ausgeführten Bauform, an der thermografische Untersuchungen der Schaltanlagenkomponenten zur Fehlstellenanalyse und Zustandsbeurteilung mittels Thermovision durchgeführt wurden. Die gemessenen Temperaturmaxima wurden aufgrund der verminderten Auslastung auf Nennlast korrigiert.

Abstract

This master thesis deals with an optimization of an electrical power grid to its fault characteristics. The collected data and simulations results are part of a work, which is separated into three parts. The focus of the project was to evaluate the aged switch gears of the medium voltage distribution grid.

After getting all informations simulations were arranged to represent the actual electrical network situation. The simulation results were compared with each electrical component and the compliance of limits. All simulated improvements of load flow models immediately includes consideration of single fault and multiple fault errors. Matlab is used to export simulations results from NEPLAN to an adapted Excel sheet.

The main focus at the electrical equipment were the switch gears, due to high diversity of installed types. The thesis includes thermography analyzes of switch gear components to declare condition or defects. According to the reduced electrical and thermic stress the maximal detected temperature values were corrected to nominal stress.

Inhaltsverzeichnis

1	AUFGABENSTELLUNG	11
2	GESCHICHTLICHE ENTWICKLUNG DER RAFFINERIE SCHWECHAT	12
2.1	ENTSTEHUNGSGESCHICHTE DER OMV	12
2.2	ENTWICKLUNG DES ENERGIEVERSORGUNGSNETZES	13
3	AKTUELLE SITUATION DER RAFFINERIE SCHWECHAT	15
3.1	DIE PRODUKTIONSBEREICHE	15
3.1.1	<i>Der Produktionsbereich MROU-S</i>	16
3.1.2	<i>Der Produktionsbereich MROF1-S</i>	21
3.1.3	<i>Der Produktionsbereich MROF2-S</i>	21
3.1.4	<i>Der Produktionsbereich MROP-S</i>	21
4	DAS ELEKTROENERGIESYSTEM DER RAFFINERIE	22
4.1	DIE ENERGIEERZEUGUNG	24
4.2	DIE ENERGIEVERTEILUNG IN DER RAFFINERIE	27
4.2.1	<i>Schaltanlagen in der Raffinerie</i>	28
4.2.2	<i>Strombegrenzer</i>	38
4.2.3	<i>Strombegrenzungs-Drosselspulen</i>	40
4.3	DIE ELEKTRISCHEN BM FÜR DIE ENERGIEÜBERTRAGUNG	42
4.3.1	<i>Transformator</i>	42
4.3.2	<i>Energiekabel</i>	43
4.3.3	<i>Mittelspannungsbetriebsmittelübersicht</i>	44
4.3.4	<i>Die Leistungsschalter</i>	47
4.3.5	<i>Übersichtsplan der Raffinerie in Schwechat</i>	48
5	THERMOGRAFISCHE UNTERSUCHUNGEN	49
5.1	DAS ELEKTROMAGNETISCHE STRAHLUNGSSPEKTRUM	50
5.2	DER SCHWARZE STRAHLER	51
5.3	DIE TEMPERATURBESTIMMUNG AN METALLEN	52
5.4	DIE TEMPERATURMESSUNG AN KUNSTSTOFFEN	52
5.5	VOR-ORT-MESSUNG AN DEN SCHALTANLAGEN	53
5.5.1	<i>Die Infrarotkamera</i>	53
5.5.2	<i>Kameraeinstellungen</i>	53
5.5.3	<i>Messergebnisse an den feststoffisolierten Schaltanlagen</i>	54
5.5.4	<i>Messergebnisse an den offenen Schaltanlagen</i>	54
5.5.5	<i>Messergebnisse an den gekapselten Schaltanlagen</i>	57
5.5.6	<i>Temperaturkorrektur</i>	57

6	SIMULATION IN NEPLAN	58
6.1	LASTFLUSSBERECHNUNG	59
6.1.1	<i>Newton-Raphson-Verfahren</i>	<i>60</i>
6.2	EINZELFEHLERBETRACHTUNGEN	62
6.3	KOMBINATIONSAUSFÄLLE	63
6.4	IST-ANALYSE FÜR AUSFÄLLE.....	64
6.4.1	<i>Simulationsergebnisse der Einzelfehlerbetrachtung</i>	<i>65</i>
6.4.2	<i>Simulationsergebnisse der Mehrfachfehlerbetrachtung</i>	<i>67</i>
6.5	OPTIMIERUNGSVARIANTE 1	70
6.5.1	<i>Simulationsergebnisse der Einzelfehlerbetrachtung</i>	<i>70</i>
6.5.2	<i>Simulationsergebnisse der Mehrfachfehlerbetrachtung</i>	<i>72</i>
6.6	OPTIMIERUNGSVARIANTE 2.....	75
6.6.1	<i>Simulationsergebnisse der Einzelfehlerbetrachtung</i>	<i>76</i>
6.6.2	<i>Simulationsergebnisse der Mehrfachfehlerbetrachtung</i>	<i>77</i>
6.7	OPTIMIERUNGSVARIANTE 3.....	79
6.7.1	<i>Simulationsergebnisse der Einzelfehlerbetrachtung</i>	<i>81</i>
6.7.2	<i>Simulationsergebnisse der Mehrfachfehlerbetrachtung</i>	<i>82</i>
6.8	OPTIMIERUNGSVARIANTE 4.....	85
6.8.1	<i>Simulationsergebnisse der Einzelfehlerbetrachtung</i>	<i>86</i>
6.8.2	<i>Simulationsergebnisse der Mehrfachfehlerbetrachtung</i>	<i>87</i>
6.9	GRAFISCHE DARSTELLUNG DER EINZELFEHLERBETRACHTUNG	90
6.10	KURZSCHLUSSBERECHNUNG.....	96
6.10.1	<i>KS-Berechnung in Neplan.....</i>	<i>96</i>
6.10.2	<i>Ist-Analyse.....</i>	<i>97</i>
6.10.3	<i>Optimierungsvariante 1</i>	<i>98</i>
6.10.4	<i>Optimierungsvariante 2</i>	<i>99</i>
6.10.5	<i>Optimierungsvariante 3</i>	<i>100</i>
6.10.6	<i>Optimierungsvariante 4</i>	<i>101</i>
6.11	ERWEITERUNGSANALYSE.....	102
6.11.1	<i>Erweiterung im SH 4.....</i>	<i>103</i>
6.11.2	<i>Erweiterung im SH 5.....</i>	<i>103</i>
6.11.3	<i>Erweiterung im SH 6.....</i>	<i>104</i>
7	ZUSAMMENFASSUNG	105
8	LITERATURVERZEICHNIS.....	107
9	ANHANG	108
9.1	KABELBEZEICHNUNG.....	108
9.1	KOMBINATIONSVARIANTE OPTIMIERUNGSVARIANTE 1 UND 2.....	109
9.1.1	<i>Simulationsergebnisse der Einzelfehlerbetrachtung</i>	<i>109</i>
9.1.2	<i>Simulationsergebnisse der Mehrfachfehlerbetrachtung</i>	<i>110</i>

9.2	KOMBINATIONSVARIANTE OPTIMIERUNGSVARIANTE 1 UND 3.....	112
9.2.1	<i>Simulationsergebnisse der Einzelfehlerbetrachtung</i>	112
9.2.2	<i>Simulationsergebnisse der Mehrfachfehlerbetrachtung</i>	113
9.3	KOMBINATIONSVARIANTE OPTIMIERUNGSVARIANTE 1 UND 4.....	115
9.3.1	<i>Simulationsergebnisse der Einzelfehlerbetrachtung</i>	115
9.3.2	<i>Simulationsergebnisse der Mehrfachfehlerbetrachtung</i>	116
9.4	PHYSIKALISCHE GESETZMÄßIGKEITEN THERMOVISION	118
9.4.1	<i>Planscksches Strahlungsgesetz</i>	118
9.4.2	<i>Stefan Boltzmannsches Strahlungsgesetz</i>	118
9.4.3	<i>Strahlungsgesetz – Kirchhoff Gesetz</i>	119
9.4.4	<i>Wiensche Verschiebungsgesetz</i>	120

Abkürzungsverzeichnis

A

AC. Athylen Cracker

D

DT. Dampfturbine

E

EB. Eigenbedarfsanlage

ES. Erdungsschalter

H

HKW. Heizkraftwerk

I

IH. *Instandhaltung*

K

KS. Kurzschluss

KT. Kühlturm

L

LB. *Lichtbogen*

LS. Leistungsschalter

S

SH. Schalthaus

SNOX. Sulphur and NOx removal – Catalytic

T

TGU. *Thermal Gasoil Unit*

1 Aufgabenstellung

Das Elektroenergiesystem des Industriegeländes der OMV in Schwechat soll einer umfassenden Risiko- und Schwachstellenanalyse unterzogen werden. Es soll dabei die firmeninterne Netzversorgung historisch aufgearbeitet, simuliert und die Netz-zuverlässigkeit unter Berücksichtigung der Betriebsmittelzustände betrachtet werden.

Die Netzanalyse beinhaltet Lastfluss- sowie Kurzschlussberechnungen, Simulation diverser Ausfallsszenarien, unter Einbindung der Zustandsbewertungen. Speziell die Simulationen verschiedener Ausfallsszenarien sollen einer Worst-Case-Betrachtung unterliegen. Für eine Gesamtbewertung des elektrischen Netzes werden die Ergebnisse der Arbeit, die vorhandenen Zustandsbewertungen der Betriebsmittel Schaltanlagen, Leitungen, Transformatoren und Generatoren verwendet werden. Die Lastflusssimulation ist in NEPLAN durchzuführen, um diese firmenintern weiterverarbeiten zu können.

Das Ergebnis der Arbeit ist in der Qualität aufzubereiten :

- Die OMV soll Vorschläge für künftige Verbesserungen bzw. Ertüchtigungen und Erweiterungen erhalten, die mit dem Werkzeug Neplan nachvollziehbar sind.
- Damit das Ergebnis als Basis für die Ausfallssicherheit, Ausfallswahrscheinlichkeit bei einer Einzelfehlerbetrachtung, der Spannungsversorgung bzw. einzelner Spannungsebenen von Prozessanlagen der Raffinerie Schwechat für Gefahrenanalysen (HAZOP-Studien) verwendet werden kann.

2 Geschichtliche Entwicklung der Raffinerie Schwechat

2.1 Entstehungsgeschichte der OMV

„Die Geschichte der OMV Raffinerie begann im Jahr 1936, als die NOVA Öl- und Brennstoffgesellschaft in Schwechat bei Wien eine Anlage für die Verarbeitung von rumänischen Kunstöl errichtete.

Wie manch anderer Ort von militärischer Bedeutung wurde auch die Raffinerie ein Ziel der Bombenangriffe der Alliierten, die im Juni 1944 ihren Höhepunkt erreichten. Im letzten Kriegsabschnitt besetzten die sowjetischen Truppen die Anlagen und gliederten sie kurze Zeit später in die Sowjetische Mineralölverwaltung (SMV) ein.

Als der österreichische Staatsvertrag 1955 unterzeichnet wurde, änderten sich die Besitzverhältnisse der Raffinerie. Sie gehörte zunächst der Republik Österreich und wurde Basis der 1956 neugegründeten österreichischen Mineralölverwaltung.

Im Jahr 1958 erfolgte die feierliche Grundsteinlegung – aus der ehemaligen NOVA – Anlage wurde die neue Raffinerie Schwechat. Die Eröffnung und Inbetriebnahme der Erdölraffinerie in Schwechat ereignete sich im Dezember 1960 [1].“



Abbildung 1: Luftbildfotografie der Raffinerie 1946 [1]

2.2 Entwicklung des Energieversorgungsnetzes

Im Jahre 1958 wurde der Bau des Heizkraftwerks (HKW) I mit der 6kV Hauptschaltanlage in Form eines Doppelsammelschienensystems, untergliedert in Gruppe 1, 2, 3, 4 und einer 20kV Umspannanlage, gestartet. Aus technischer und kaufmännischer Sicht beschlossen sich die Verantwortlichen zu einer Installation einer offenen, luftisolierten 6kV und 20kV Anlage des Fabrikats BBC. Zudem wurde die Möglichkeit des nachträglichen Netzbetrieb in Ring offen gehalten. Das Mittelspannungsverteilnetz wurde mit Petersen-Spulen als gelöschtes Netz erbaut. Im Niederspannungsnetz wurde damals, zuzüglich der üblichen TN-Netzform 230V/400V, ein isoliertes 500V Niederspannungsnetzes für den Betrieb größerer Maschinen in Betrieb genommen.

Für die interne Erzeugung elektrischer Energie wurden thermische Kraftwerke mit Turbogeneratoren in einen Leistungsbereich von 7MVA bis 21MVA installiert. Ein Anschluss an das öffentliche 20kV Verteilnetz diente der Notstromversorgung bei Erzeugerausfällen bzw. Inbetriebnahme (Anfahren) aller Prozessanlagen. Die anfangs limitierte Austauschleistung von 3,5MVA wurde später auf 6MVA erhöht.

Die Blindleistungserzeugung der Synchrongeneratoren wurde mittels Spannungsregler, an die in Betrieb befindlichen Asynchronmotoren, automatisch angepasst. Außerhalb des Heizkraftwerkes wurden die Verfahrensanlagen und Niederspannungsschalthäuser mit strahlenförmigen Abgängen von der Hauptschaltanlage versorgt.

Die steigenden Anforderungen, Entwicklung und der technische Fortschritte ergaben einen kontinuierlichen Ausbau der Prozessanlagen. Die Erweiterungen und der damit verknüpfte Leistungszuwachs, führte im Jahre 1970 zum Endausbau des HKW I. Der Ausbau umfasste Gruppe 5, Gruppe 6, die Eigenbedarfsanlagen (EB), Schalthaus (SH) 3, 4 und die Inbetriebnahme zweier zusätzlicher Synchrongeneratoren (43,5MVA). Durch die Berücksichtigung des Personenschutzes und der Betriebssicherheit fiel die Wahl auf eine 6kV gießharzisierte Schaltanlage der Firma ELIN.

Als nächsten großen Schritt in der Geschichte wurde der Bau des HKW II im Jahre 1978 getätigt. Die Erweiterung bzw. Erzeugungskapazitätserhöhung wurde für die Inbetriebnahme der AC2-Anlage benötigt. Anlehnend an den Endausbau des HKW I entschied man sich für eine offene, luftisolierte 6kV Hauptschaltanlage, unterteilt in zwei Gruppen (Grp. 8 und 9) und einer 6kV EB (K5-8) derselben Bauweise.

Die Turbinenhalle wurde mit zwei baugleichen 43,5MVA Synchrongeneratoren der Firma ELIN ausgebaut. Zu diesem Zeitpunkt wurde eine Erhöhung der Versorgungssicherheit über die 24MVA Verbindungstransformatoren durchgeführt, die zwischen den HKW's einen Netzbetrieb im Ring ermöglichten. Die Ringschaltung und Vermaschung des Netzes führte zu einer Erhöhung der maximal möglichen Kurzschlussströme, die wiederum durch Kurzschluss (KS)-Drosseln in den Abzweigen begrenzt wurden. Ein wesentlicher Vorteil bei der Errichtung des Kraftwerkes II zeigte sich in der redundanten Versorgung der SH 2, 3, 4 und der möglichen Lastumschaltung durch die Querkupplung der Sammelschienen in den SH.

Im Jahre 1989 wurden zwei 110kV Freiluftabzweige süd-östlich der Raffinerie Schwechat errichtet, um die Versorgungssicherheit der weiter wachsenden Raffinerie zu erhöhen. Die Anbindung erfolgte an das lokale EVU. Die neuen Einspeisungen wurden mittels 110/6 kV Trafos in die Hauptschaltanlage, Gruppe 8 und 9, im HKW II eingebunden.

Im Zuge eines Großprojektes zur Erhöhung der elektrischen Versorgungssicherheit der Raffinerie Schwechat wurde im Jahr 2006 eine SF6 Schaltanlage (SH 110kV) der Firma ABB errichtet. Nach der Errichtung der Schaltanlage wurde die Freiluftanlage liquidiert und die Haupteinspeisungen ins SH 110kV eingebunden. Es erfolgte ein Kabelanschluss vom SH 110kV über die vorhandenen Trafos (110/6kV) an das HKW II.

Im Jahr 2007 wurde eine 6kV metallgekapselte Schaltanlage (SH 7) der Firma Siemens, mit zwei Stück 54MVA Transformatoranbindungen an das SH 110kV, errichtet. Um die Hauptschaltanlagen der HKWs zu entlasten wurden die Großmotoren (>3MW) in das neue errichtete SH 7 übersiedelt. Der Zusammenschluss von der 110kV Schaltanlage zum HKW I (Abschnitt 4, Grp. 3) wurde im selben Jahr durchgeführt.

Im Jahr 2008 wurde bei der Errichtung der Thermal Gasoil Unit (TGU) ein neuer Synchrongenerator (37MVA) mit einer Siemens Gasturbine installiert. Die Anbindung erfolgte über einen Blocktrafo (11/110kV) an das SH 110kV.

Im HKW I wurde 2010 während des Betriebes die Dampfturbine des Generators 5 beschädigt und bis dato noch nicht ersetzt. Die Reparatur der Turbine wird aufgrund der zu hohen Investitionskosten nicht in Betracht gezogen.

3 Aktuelle Situation der Raffinerie Schwechat

3.1 Die Produktionsbereiche

Der komplex strukturierte Aufbau der Raffinerie Schwechat wird in einzelne Produktionssektoren aufgeteilt, die in Tabelle 1 zusammengefasst sind. In diesem Kapitel wird ein Überblick über die Raffinerie, den elektrischen Verbrauchern und den Verfahrensanlagen geschaffen. Um das Verständnis für elektrische Anforderungen aufzubauen, werden die grundlegenden Aufgaben, Abläufe, Prinzipien bestehender Maschinerien und Produktionsprozesse erklärt. Die Komplexität der Produktionsschritte ist farblich in Abbildung 2 durch Unterteilen einzelner Verfahrensanlagen in schematischer Darstellung abgebildet.

Tabelle 1: Die Raffinerie Produktionsbereiche

Anzahl der Bereiche	Bezeichnung (bis 2007)	Bezeichnung ¹ (ab 2010)
1	P1	MROU-S
2	P2	MROF1-S
3	P3	MROF2-S
4	P4	MROP-S

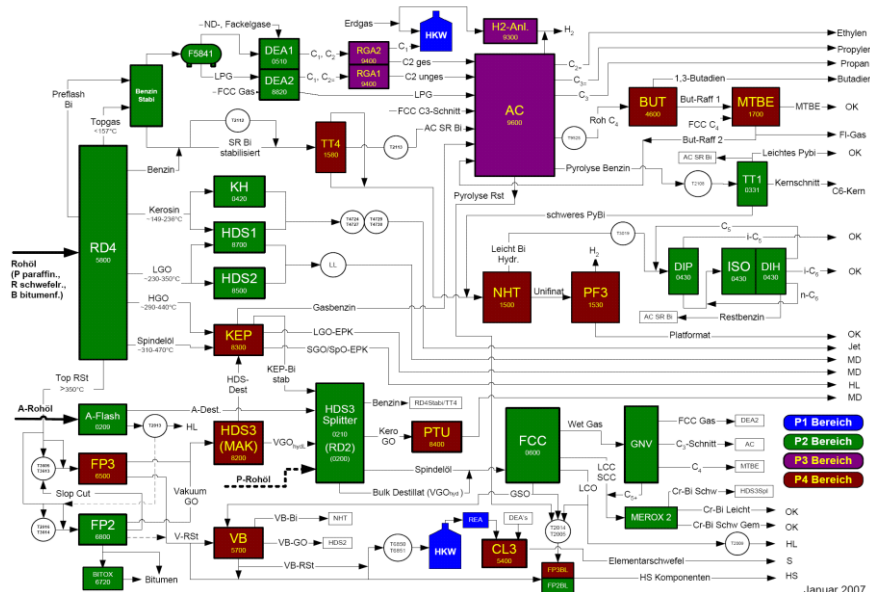


Abbildung 2: Produktionsablauf mit farblicher Einteilung der Anlagen [1]

¹ M Marketing and Refining R Refining and Petrochemicals P Petrochemicals
 O Operations West ; F Fuels S Schwechat
 U Power Plants

3.1.1 Der Produktionsbereich MROU-S

Die Sektoren in MROU-S umfassen, die für die Erzeugung von Strom, Dampf, Druckluft, sowie Führung von Kühlwasser, Fernwärme, Gasversorgung, Chemikalien und Wasseraufbereitung nötigen Komponenten. Die Energieumwandlung von Primärenergie (chemisch gebundene Energie) in Sekundärenergie (z.B. elektrische und thermische Energie) beginnt bei der Dampfanlage in den HKW I und II. Dampf wird zur elektrischen Energieerzeugung und für Produktionsschritte in der Raffinerie verwendet. Der Energieinhalt von Dampf, in kinetischer Form, wird in Folge als Antriebskraft für die Dampfturbine (DT) und der verbleibende Wärmeinhalt für weitere Prozesse genutzt. In den nächsten Punkten werden die Sektoren und Verfahrensanlagen des Produktionsabschnittes beschrieben.

Heizkraftwerke:

Die Raffinerie in Schwechat verfügt über zwei Heizkraftwerke, in denen sich unter anderem Dampfkessel, Druckluftstationen, Wasseraufbereitung, Schaltanlagen und die Turbinenhalle befinden. Diese bilden den zentralen Punkt für die Erzeugung, Führung und Verteilung elektrischer und thermischer Energie, sowie der Druckluftzeugung für die Produktionsanlagen. Die Versorgung der Dampfturbinen und Erregereinrichtungen werden je Erzeugereinheit (thermisch und elektrisch) entkoppelt betrieben. Diese unabhängige Versorgung erhöht die Versorgungszuverlässigkeit bei unplanmäßigen Betriebszuständen. Die HKW's ermöglichen innerhalb der Raffinerie einen vollständigen energieautarken elektrischen und thermischen Betrieb der Produktionsbereiche. Eine Übersicht der elektrischen und thermischen Erzeugungskenndaten wird in Tabelle 2 und Tabelle 3 aufgelistet. Die Anzahl der installierten Erzeugungseinheiten weichen der sich in Betrieb befindlichen BM, aufgrund von Alterungserscheinungen bzw. Ausfällen, ab. Die ausgeklammerten Zahlenwerte in Tabelle 2 beziffern die Gesamtanzahl.

Tabelle 2: Elektrische Erzeugungskapazität

Übersicht elektr. Erzeugereinheiten	Generator		Elektrische Leistung
	# in Betrieb	# installiert	MVA
1	3	(4)	43,5
2	1	(1)	21
3	1	(2)	16
4	1	(1)	6,5 GT
5	1	(1)	37 TGU
Gesamt	7	(9)	211 (271)

Tabelle 3: Thermische Erzeugungskapazität

Übersicht therm. Erzeugereinheiten	Dampfkessel	Frischdampf	Turbinen	
	#	t/h	#	#
HKW I	3	250 (72bar)	6	(4)
HKW II	2	250 (115bar)	2	(2)

Dampferzeugung:

Die Umwandlung thermischer Energie (Arbeitsmedium Wasser/Dampf) in mechanische Energie durch DT oder Gasturbine ist ein wesentlicher Punkt für den akkuraten Betrieb der Raffinerieanlagen. Im Dampfkessel wird Wasserdampf mit definiertem Druck für die Versorgung der DT, der Ethylenanlage und den unterschiedlichen Raffinerieanlagen erzeugt. Die Klassifikation von Dampf nach Temperatur und Druck, wie er in der Raffinerie verwendet wird, ist in Tabelle 4 angeführt.

Tabelle 4: Einteilung der Dampfzustände

Einteilung Dampf	Temperatur	Druck
	°C	Bar
Hochdruckdampf	500	72-115
Mitteldruckdampf	250	12
Niederdruckdampf	220	4
Hochdruck Sattedampf	295	80

Es beginnt beim Hochdruckdampf ein definierter sequenzieller Verlauf des Dampfdruckes für die Versorgung unterschiedlicher Wärmeverbraucher. Hochdruckdampf wird nach dem Entspannen (z.B. an DT), als Mitteldruckdampf oder Niederdruckdampf für weitere Prozesse verwendet und zum Teil auch als Wärme an das Fernwärmenetz (max. 200MW) abgegeben.

Thermische Energie kann durch eine Vielzahl an unterschiedlichen Dampfanlagen erzeugt werden und muss dementsprechend dem Einsatzgebiet, durch Berücksichtigung jeweiliger Vor- und Nachteile gewählt werden. Eine Einteilung der eingesetz-

ten Dampferzeuger nach Kesselbauform, mit Anführung der Vor- und Nachteile, ist in Tabelle 5 angegeben.

Die Definition eines Dampfkessels lautet gemäß Dampfkesselverordnung: „*Ein Dampfkessel ist ein Behälter oder Rohranordnung, in denen Wasserdampf von höherem als atmosphärischen Druck (Dampferzeuger), oder Heißwasser von einer höheren Temperatur als der dem atmosphärischen Druck entsprechenden Siedetemperatur (Heißwassererzeugung), zum Zwecke der Verwendung außerhalb dieser Anordnung erzeugt wird.*“.[2]

Tabelle 5: Einteilung der Dampferzeuger nach Bauform [3]

Dampferzeugerart	Variante	Vorteil	Nachteil
Großwasserraumkessel	Flammrohr Rauchrohr	Hohe Dampfreserve	Lange Anlaufzeit Geringe Drücke
Wasserrohrdampferzeuger	Naturumlauf Zwangsumlauf	Platzbedarf Anlaufzeit	Geringe Dampfreserve Druckschwankung

Die Großwasserraumdampferzeuger werden in der Raffinerie als Hilfsdampferzeuger, die Wasserrohrdampferzeuger für Hochdruckdampferzeugung, eingesetzt. Als Brennstoff werden Vacuum Flashed Cracked Residue (VFCR), Heizöl-Schwer, Mischgas und Erdgas in den Brennkammern verfeuert. Die dafür benötigte elektrische Energie der Dampfkessel wird über die eigens vorgesehenen Kesselvillen (NS-Schaltanlage) bereitgestellt.

Die Dampferzeugung stellt einen Kreisprozess mit folgenden Komponenten dar:

- Frischwasseraufbereitung
- Dampferzeuger/Dampfkessel
- Leitungen
- Verbraucher
- Kondensator
- Speisewasserpumpe

Die Dampferzeugung ist, wie zuvor erwähnt, ein Kreisprozess, die nach dem Entspannen des Wasserdampfes eine Kühlung des Wassermassenstroms (Kondensator/Kühlturm) benötigt. Die Kühltürme KT1 & KT2 sind im Kreisprozess der Anlage HKW I, KT4 in der Anlage HKW II und KT3 in der F2, P und Athylen Cracker-Anlage, integriert.

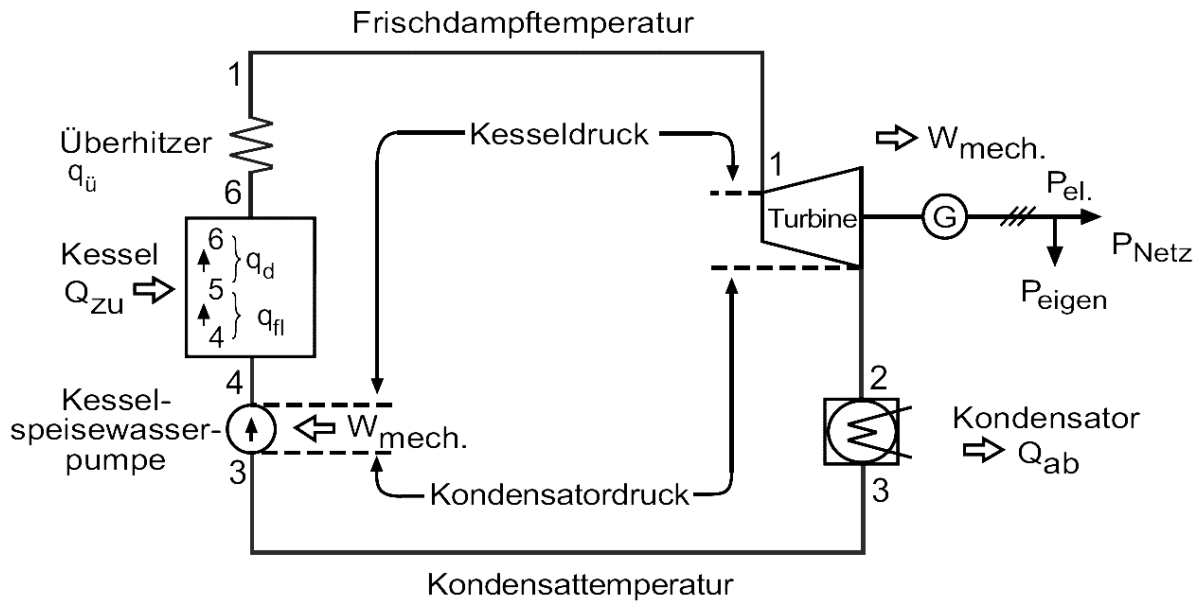


Abbildung 3: Kreislauf der Wasserdampferzeugung [3]

Kühlwasser:

In der Dampfanlage lösen sich durch das Erhitzen Salze aus dem Wasser und bleiben als Rückstand in den Behältern und Leitungen zurück. Die steigende Konzentration des Salzgehaltes korreliert mit der Anzahl der Umläufe und verlangt neben der Wassermengenregulierung eine Kontrolle der Salzgehaltkonzentration. Eine überhöhte Salzkonzentration steigert das Risiko von Korrosion und mikrobiologischen Problemen. Entgegengesetzte Maßnahmen werden bereits in der Wasseraufbereitung, und durch Hinzufügen von Wasser-Konditionierungskemikalien, durchgeführt.

Druckluftversorgung:

Die Regelung und Steuerung von Produktionsabläufen wird durch schalten von Ventilen, die durch Druckluft betätigt werden, durchgeführt. Bei der Druckluftherzeugung wird Luft durch Asynchronmaschinen komprimiert (Kompressor) und über Leitungen zu Steuerventilen oder Verbraucher (Kühlungsvorgänge) geführt. Eine Klassifizierung der Druckluft erfolgt in Instrumentenluft (I-Luft) und Feldluft (F-Luft), die eine unterschiedlich genaue Konditionierung erfordern. Zur Aufbereitung der I-Luft werden Absorptionstrockner und Drehtrockner verwendet, die den Taupunkt regeln und zusätzlich die Luft reinigen. Das separate Feldluftsystem erfordert keine speziellen Anforderungen und kann ohne spezieller Aufbereitung eingesetzt werden. Die Nenndruckhöhe liegt im Bereich von 6-7bar und für I-Luft gilt als weitere Rahmenbedingung die Einhaltung der Taupunktsgrenze (-25 bis -60°C).

Rauchgasreinigung:

Die Rauchgasreinigung wird zur Verringerung von Immissions- und Emissionswerte benötigt, um die von den Behörden verlangten Grenzwerte einhalten zu können. Zusätzlich liefert die ständige Kontrolle und Messung der Emissionswerte Informationen für Prozessoptimierungen. Emissionen sind allgemein von einer Anlage ausgehende Schadstoffe, wie Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Erscheinungen. Immissionen sind auf Mensch, Tier, Pflanzen und deren Umgebung einwirkende Schadstoffe. Die lokal anfallenden Schadstoffe sind größtenteils Restprodukte vollständiger und unvollständiger Verbrennungen. In Tabelle 6 sind die anfallenden Schadstoffe in deren Entstehungsursache aufgelistet. Die Rauchgasreinigung erfolgt durch die Sulphur and NOx removal – Catalytic (SNOX) Rauchgasreinigungsanlage. Die Hauptaufgabe besteht in der Reduktion von unerwünschten Rauchgasen, Schwefeldioxyden und Stickoxiden. Außerdem fallen Flugasche und Staub aus organischen und mineralischen Bestandteilen eines Brennstoffes an. Ein Elektrofilter verhindert durch das Aufladen der Staubpartikel und Einfangen an einer Niederschlagselektrode, nahezu den vollständigen Ausstoß.

Tabelle 6: Emissionsprodukte

Emission	Vollständige Verbrennung	Unvollständige Verbrennung
Kohlenstoff C	CO ₂	CO, C
Stickstoff N, bzw N ₂	NO, NO ₂ , N ₂ O	N
Schwefel	SO ₂ , SO ₃	S
Sonstige	HCl, HF, Dioxine, Furane	HCN, H ₂ S, COS, Ruß

3.1.2 Der Produktionsbereich MROF1-S

Der Produktionsbereich MROF1-S umfasst die Anlagen für die Rohöldestillation, Entschwefelung und Konversion. Die nennenswertesten Anlagen sind RD4, HDS2, FCC und DIP/ISO/DIH.

RD4 (Rohöldestillation):

Die RD4- Anlage ist das Herzstück in der Raffinerie. Hier beginnt die Rohölverarbeitung durch definierte Wärmezufuhr und endet mit der Zerlegung des Rohöls in die einzelnen Fraktionen. Die Prozesstemperatur sinkt in der Hauptkolonne von unten nach oben durch definierte Kühlung des Öldampfstrom in den einzelnen Abschnitten.

Grob kann man den Destillationsprozess in folgende Punkte einteilen:

- Das Rohöl wird aus dem Tanklager gepumpt, entsalzen, entwässert und vorerwärmt
- Eintritt in die Prehflash Kolonne (Wasserentfernung)
- Ausgeflashte Rohölstrom wird erhitzt
- Rohöl tritt als Gas/ Flüssigkeitsgemisch in die Hauptkolonne ein
- In der Hauptkolonne werden Produktgruppen bzw. Fraktionen aufgeteilt.

3.1.3 Der Produktionsbereich MROF2-S

Die größten Anlagen in diesem Teilbereich der Produktion ist die PTU, TGU und PF3. Der Produktionsbereich MROF2-S ist ein chemischer Bereich zur Produktaufbereitung und Produktveredelung. Eine Ausbeuteerhöhung von Mitteldestillaten wird durch eine installierte Thermal Gas Unit (TGU) erreicht. Die Hauptaufgabe der TGU besteht in der Bereitstellung von Strom und Wärme, aber zusätzlich können Benzin Gasöl und VCFR als gewonnen Produkte genannt werden. Die größten elektrischen Verbraucher in diesem Abschnitte sind der Kreislaufverdichter (1,1MW), der Frischgasverdampfer (1,375MW) und die Sumpfpumpe (0,4MW) in Form von Asynchronmaschinen.

3.1.4 Der Produktionsbereich MROP-S

Dieser Produktionsbereich ist durch seine Kopplungen der Teilanlagen der komplexeste Bereich der Raffinerie. Zu diesem Bereich gehören die AC-Ethylenanlage, das Stickstoffsystem, die Wasserstoffanlage und die Restgasanlage.

4 Das Elektroenergiesystem der Raffinerie

Im elektrischen Energienetz der Raffinerie sind aktuell (Stand Dez. 2012) sieben Generatoren in Betrieb, die jeweils in HKW I, II und der TGU platziert sind. Sie bilden die Grundlage für den energieautarken Betrieb, durch eine Erzeugungskapazität von 180MW elektrischer Energie. Die Engpassleistung beläuft sich auf 120MW und deckt somit den derzeitigen Spitzenenergieverbrauch von 115MW garantiert. Eine externe Verbindung zur 110kV Hochspannungsebene von Wienstrom dient zur Erhöhung der Versorgungssicherheit des Netzes. Durch einen Durchleitungsvertrag mit Wienstrom ist der Austausch elektrischer Leistung auf ± 25 MW zum Nachbarunternehmen BOREALIS beschränkt. Somit ergibt sich rein auf die Leistungsbilanz bezogen innerhalb der Raffinerie ein sicherer und stabiler Betrieb.

Die elektrische Energieverteilung beginnt bei einer Schaltanlage die als Netzknoten ein oder mehrere Betriebsmittel verbindet. Zusammengefasst dienen Schaltanlagen dem Schalten, Verteilen und Messen des elektrischen Stromes und bieten Platz für Schutzeinrichtungen. Allgemein muss zwischen Umspannanlagen und Schaltanlagen, die keine Transformator zur Spannungstransformation aufweisen, unterschieden werden.

Eine Einteilung in Generatorschienen (Grp. 1-9), den dazugehörigen Eigenbedarfsschienen (K1 – K8) und den Schaltanlagen für die Produktionsstätten kann getroffen werden. In Tabelle 7 sind die verschiedenen Typen und deren Hersteller ersichtlich. Für die externe Anbindung ist direkt am Werksgelände eine 110kV SF6 Schaltanlage als Doppelsammelschienensystem ausgeführt, installiert und verfügt neben den externen Anschluss über eine Verbindung zur Gasturbine der TGU (37MVA).

Tabelle 7: Übersicht der installierten Mittelspannungsschaltanlagen

SH Übersicht	Baujahr	Type	Hersteller
SH 1	2003	Gekapselt	ABB
SH 2	2002	Gekapselt	ABB
SH 7	2007	Gekapselt	Siemens
SH 5	2004	Gekapselt	ABB
SH 5	1977	Feststoffisoliert	ELIN
K1-K2	1959	Feststoffisoliert	ELIN
K3-K4	1971	Feststoffisoliert	ELIN
K5-K6	1978	Feststoffisoliert	ELIN
K7-K8	1978	Feststoffisoliert	ELIN
SH 3	1971	Feststoffisoliert	ELIN
SH 4	1971	Feststoffisoliert	ELIN
SH 6	1980	Feststoffisoliert	ELIN
Grp. 3	1969	Offene	ABB
Grp. 4-6	1971	Offene	ABB
Grp. 8-9	1977	Offene	ABB

Am Industriegelände der OMV sind enorme Sicherheitsmaßnahmen zu befolgen, die rein der Unfallverhütung dienen. Um das Risiko einer Zündquelle durch eine Lichtbogenbildung an Leitungen zu vermeiden, werden zur Energieübertragung hauptsächlich Energiekabel und Innenraumschaltanlagen verwendet. Der Isolationsaufbau von Energiekabel hat über Jahrzehnte eine große Weiterentwicklung hinter sich, sodass zum derzeitigen Zeitpunkt im Mittelspannungsnetz der Raffinerie 18 verschiedene Typen von Kabeln im Einsatz sind. Eine Liste der Mittelspannungsenergiekabel ist in Kapitel 4.3.2 Energiekabel zusammengefasst.

Betrachtet man die eingesetzten Spannungsebenen so werden ausgehend vom externen Anschluss in der Hochspannungsebene 110kV, in der Mittelspannungsebene 30kV, 20kV, 6kV sowie der Niederspannungsebene 230V und 500V verwendet. Beim Niederspannungsnetz wird neben den 230V für den Betrieb des Lichttringes, ein 500V Netz für den Betrieb von Motoren eingesetzt.

Als elektrische Verbraucher sind größtenteils Asynchronmaschinen, die je nach Einsatzgebiet und leistungstechnischen Anforderungen mit 6kV, oder im speziell vorgesehen Niederspannungsnetz betrieben werden, vorzufinden.

4.1 Die Energieerzeugung

Dampfkraftwerke wandeln kinetische Energie des Wasserdampfes über die Wärmekraftmaschine (DT) in technische Arbeit um. Bei der Stromerzeugung durch Wärmekraftwerke werden hauptsächlich Vollpol-Synchrongeneratoren, oder auch Turbogeneratoren genannt, verwendet. Im Unterschied zu Wasserkraftgeneratoren ist bei thermischen Kraftwerksgeneratoren die Drehzahl höher, wodurch sich eine kleinere und andere Geometrie ergibt. Die Erzeugungskapazität eines Vollpolsynchrongenerators steht im direkten Zusammenhang mit der Baugröße und kann wie folgt beschrieben werden:

$$S = C * l * D^2 * n \quad (1)$$

S... Scheinleistung

C ... Ausnutzungsfaktor in kVA min/m³ U

D ... Rotordurchmesser in m

n...Drehzahl in U/min

l...Eisenlänge des Rotors

Das Leistungsmaximum von Turbogeneratoren wird hauptsächlich durch das Erreichen von physikalischen Grenzwerten beschränkt, wie z.B. die thermischen und mechanischen Materialgrenzen [4]. Der maximal erreichbare Wirkungsgrad hängt dabei stark von der Betriebsführung ab [3].

Isolationssystem:

Der Aufbau der Isolation an den Wicklungen der elektrischen Maschine besteht aus einem Mehrschichtdielektrikum bestehend aus Trägerstoff, Bindemittel und Isolierstoff. Dabei wird durch spezielle Ausführungen der Statorwicklungen (Röbelstab) zwischen Teilleiter- und Hauptisolierung unterschieden. Eine Teilleiterisolierung bewirkt die Trennung der Einzelleiter untereinander und die Hauptisolierung dient zur Potenzialtrennung zwischen Statorwicklung und Statorblechpaket. An den Grenzen von Wicklung-Hauptisolierung, Hauptisolierung-Blechpaket und an den Wickelköpfen sind Innen-, Außen und Endenglimmschutz zur Potenzialsteuerung angebracht. Eine zeitliche Entwicklung der Materialien der Hauptisolation ist in Abbildung 4 dargestellt.



Abbildung 4: Zeitlich verwendete Isolationsmaterialien bei rotierenden elektrischen Maschinen [5]

Turbogeneratoren in der Raffinerie:

Wie bereits eingangs erwähnt, sind die Synchron-turbogeneratoren lokal in den eigens vorgesehenen Turbinenhallen der HKW's untergebracht. In der angeführten Tabelle 8 sind die Nenndaten der baugleichen Erzeugereinheiten im HKW II angeführt.

Tabelle 8: Nenndaten Sychrongenerator G8 und G9

Generator Kenndaten		
Nennleistung	43,5	MVA
Nennspannung	6,3	kV
Nennstrom	3991	A
Nennleistungsfaktor	0,8	
Nennfrequenz	50	Hz
Nenndrehzahl	3.000	1/min
Schleuderdrehzahl	3600	1/min
Betriebsart	Dauerbetrieb	
Drehrichtung von TS gesehen	"Linkslauf"	
Schaltung der Statorwicklung	Stern	
Isolierstoffklasse: Stator	F	
Rotor	F	
Grenzerwärmung Stator	80	K
Grenzerwärmung Rotor	90	K
cos phi	0,80	
Bauform	D6	
Schutzart	IP44	
Schleifringe	IP23	

Sternpunktbehandlung:

In diesem Zusammenhang muss die Sternpunktbehandlung aufgrund ihrer speziellen Verschaltung, der sogenannten Stern-Innen-Schaltung, behandelt werden. Eine Verschaltung dieser Art bedeutet eine Einschränkung der technischen Diagnostikmöglichkeiten. Die Problematik besteht darin, dass rein die Gesamtwicklung mess-technisch erfasst werden kann, dadurch fehlen wichtige Informationen über den Zustand der Einzelwicklungen. In Abbildung 5 ist eine Darstellung der Stern-Innen-Schaltung der Wicklung und neben eine Abbildung des Generator 5 in HKW I zu sehen.

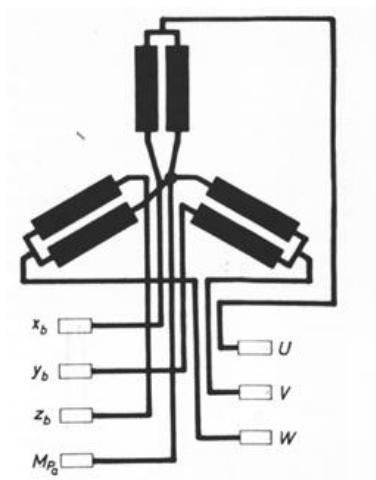


Abbildung 5: Sternpunktverschaltung [6]



Abbildung 6: Foto von Generator 5, HKW I

Instandhaltung (IH):

Die intern vorgesehenen IH-Maßnahmen bei den Generatoren werden mit den Wartungsintervallen der DT zusammengelegt. Die Klassifikation erfolgt in Haupt-, Zwischen- und Kurzinspektion.

Tabelle 9: Zeitintervalle für IH-Maßnahmen bei Generatoren [1]

Klassifikation IH	Betriebsstunden	Umfang
Hauptinspektion	80.000 bis 120.000h	Komplett Revision mit Induktorausbau Technische Diagnostik* Hersteller Wartungsplan Dauer: 6-9 Monate
Zwischeninspektion	50.000 bis 70.000h	Gleitlagerkontrolle und Reinigung, Visuelle Kontrolle der Wickelköpfe, Verminderte Technische Diagnostik Dauer: 2 Monate
Kurzinspektion	25.000 bis 30.000h	Verminderte Diagnostik Dauer: 1-2 Tage

4.2 Die Energieverteilung in der Raffinerie

Hinsichtlich der Energieverteilung kommen am Werksgelände ausschließlich Innenraum-Schaltanlagen zum Einsatz. Ohne Berücksichtigung von Typ und Ausführung können prinzipiell folgende Betriebsmittel in einer Schaltanlage vorgefunden werden [4]:

- Sammelschiene (SS)
- Stützer
- Schalteinrichtungen
- Wandler
- Überspannungsableiter
- Strombegrenzungs-Drosselspulen
- Erdungsschalter (ES)
- Is-Begrenzer

Schaltgeräte müssen unter gewissen Umständen ein Schalten und somit den offenen oder geschlossenen Zustand gewährleisten. Je nach Betriebszustand müssen Schalter unterschiedlich hohe technische Anforderungen aufweisen.

- Der Trennschalter erfüllt die Aufgabe der sicheren Streckentrennung (Spannungsfestigkeit) und muss stromlos geschaltet werden.
- Der Lastschalter kann Betriebsströme unter Berücksichtigung des $\cos \varphi$ schalten.
- Die wirtschaftlichste Lösung für den Mittelspannungsbereich sind Lasttrennschalter, die aus einer Kombinationen von Trennschalter und Lastschalter bestehen.
- Der Leistungsschalter (LS) muss die Fähigkeit besitzen Kurzschlussströme unter jeder beliebig vorstellbaren Ausfallkombination zu schalten.
- Die Schmelzsicherung, ein altbewährtes Schaltgerät, dient dem Überlast- sowie Kurzschlussschutz in Verteilnetzen.
- Der Erdungsschalter dient der Personensicherheit bei Wartungsarbeiten.
- Der Is-Begrenzer ist ein Kurzschlussstrombegrenzer der nach einer Auslösung nicht mehr funktionstüchtig ist und daher erneuert werden muss.

Eine Einteilung von Schaltanlagen kann durch ihre Bauform in offene, gekapselte oder feststoffisolierte Schaltanlagen getroffen werden.

4.2.1 Schaltanlagentypen in der Raffinerie

Anknüpfend wird durch den historisch zustande gekommenen Zuwachs an elektrischen Betriebsmitteln eine Mittelspannungsschaltanlagenübersicht in Tabelle 10 aufgelistet. Es sind zu jedem Schaltanlagentyp die verwendeten LS, ES, Trenner und falls in den Abgängen vorhanden, die KS-Drosseln angeführt. In den nachfolgenden Unterpunkten wird speziell auf den Aufbau, die LS und IH-Maßnahmen jedes Schaltanlagentyps eingegangen.

Tabelle 10: Schaltanlagentypen mit Schaltgeräteübersicht

SH	Hersteller Typ	LS	ES	Trenner	Drossel
SH 1	UniGear ZS1	VD4	EK6	Trennerlos	--
SH 2	UniGear ZS1	VD4	EK6	Trennerlos	--
SH 7	Siemens 8BK40	3AH3		Trennerlos	--
SH 5	UniGear ZS1	VD4	EK6	Trennerlos	--
SH 5	ELIN AWJ34	SWL 17-10	mech. Umleger	Klapptrennschalter	--
K1-K2	ELIN AWJ34	SWL 17-10	mech. Umleger	Klapptrennschalter	--
K3-K4	ELIN AWJ34	SWL 17-10	mech. Umleger	Klapptrennschalter	--
K5-K6	ELIN AWJ34	SWL 17-10	mech. Umleger	Klapptrennschalter	--
K7-K8	ELIN AWJ34	SWL 17-10	mech. Umleger	Klapptrennschalter	--
SH 3	ELIN AWJ34	SWL 17-10	mech. Umleger	Klapptrennschalter	--
SH 4	ELIN AWJ34	SWL 17-10	mech. Umleger	Klapptrennschalter	--
SH 6	ELIN AWJ34	SWL 17-10	mech. Umleger	Klapptrennschalter	--
Grp. 3	Brown Boveri Reihe 10	DB 10	--	AD 12m3 ADG 12q3 Adws 12n3 ADw 12k3	Spezielektrika DDK
Grp. 4-6	Brown Boveri Reihe 10	DB 10	--	ADGw/FNA 12 ADGw 12p3 ADw 12k3 ADG 12p3	Spezielektrika DDK, Trench CLS
Grp. 8-9	Brown Boveri Reihe 10	DB 10	--	ADws12k3 ADG 12q3; FNA 12	Spezielektrika DDK, Trench CLS
SH 110	ABB EXK	EXK-CB0	EXK-DE0	Trennerlos	--

4.2.1.1 Offene Schaltanlagen Typ: Innenanlagen Reihe 10, ABB

Die Bezeichnung offene Schaltanlage wird rein für Hochspannungsschaltanlagen in Innenraumanlagen bis 30kV verwendet[7].

Aufbau:

Die Isolation bei offenen Schaltanlagen zu nahegelegenen Anlagenteilen wird durch Berücksichtigung der Luftstreckenmindestabstände, wie sie in der VDE 0101 („Starkstromanlagen mit Nennwechselspannung über 1kV“) beschrieben war, erreicht. Diese wurde später zurückgezogen und als Ersatz ist nun die IEC 61936-1:2010 in Kraft getreten. Neben der Isolationskoordination besteht zwischen jedem Schaltfeld eine gegenseitige Abschottung durch Isolierwände.

Das Doppelsammelschienensystem besteht aus isolierten Sammelschienen und verfügt bei jedem Abgang über einen Druckluft-Leistungsschalter, Trenner und Erdungsschalter. Der Trenner besitzt pro Pol zwei parallele bewegliche U-Schienenpaare mit zusätzlicher Erdungsschalterinstallationsmöglichkeit. Räumlich betrachtet erstreckt sich die Konstruktion über zwei Stockwerke (Abbildung 7), wobei im oberen Stockwerk das Schaltfeld an sich und im unteren Stock das Kabelfeld, oder zusätzlich die KS-Drossel, errichtet ist [8].

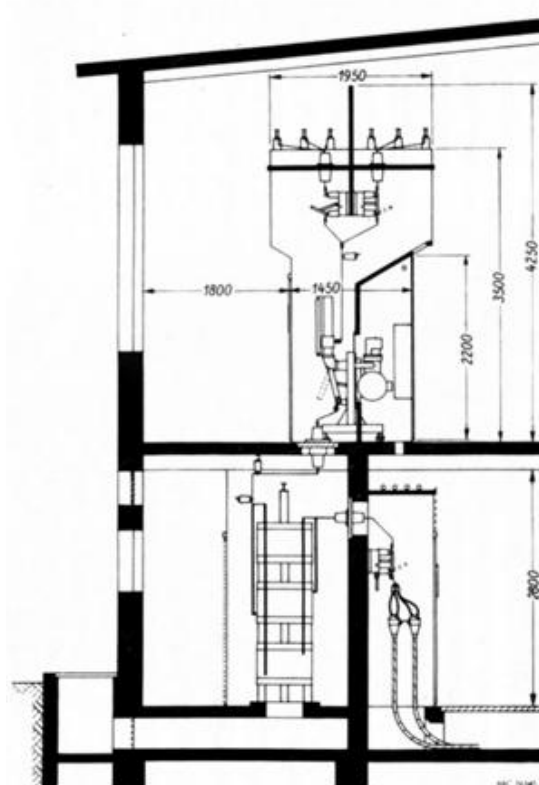


Abbildung 7: Aufbau einer offenen Schaltanlage der Brown Boveri Reihe 10 [8]

Leistungsschalter:

Der Schaltmechanismus des LS kann durch den Steuermagneten (externe Schutzanregung), oder mittels Druckknopf ausgelöst werden. Im Falle einer Auslösung wird über den Kraftspeicher das Steuerventil geöffnet, das Druckluft über den Luftkanal in die Löschkammer eindringen lässt. Folglich kommt es zum Abheben der Kontaktdruckfeder vom festen Kontakt. Die Kühlung des Lichtbogens (LB) erfolgt durch die druckluftbedingte Verdrängung des Lichtbogens in den Auspuffkühler, wo der LB im Stromnulldurchgang erlischt. Im Falle einer Rückzündung sind Dämpferwiderstände zur Strombegrenzung installiert [9].

Früher war die räumliche Flexibilität, die Erweiterungsmöglichkeit und das Führen, Verteilen und Schalten hoher Ströme der Vorteil solcher Anlagen. An dieser Stelle sollte hervorgehoben werden, dass aufgrund der fehlenden Störlichtbogenfestigkeit der Personenschutz im Fehlerfall nicht gegeben ist. Beim Zünden eines LB besteht die Gefahr eines Wandern bzw. Übergreifen des Lichtbogens auf weitere Schaltzellen.

Ein hohes Fehlerpotential besteht zudem bei den mechanischen Teilen des Druckluftsystems, die einer regelmäßigen Sichtkontrolle, Überprüfung und Wartung unterworfen werden. Dem zeitintensiven Wartungsaufwand stehen dementsprechende hohe Kosten gegenüber.

Instandhaltungsmaßnahmen:

Wie bereits erwähnt sind die IH-Maßnahmen und der Revisionsumfang bei dieser Variante hoch und kostspielig. Laut Herstellerhandbuch müssen Schmierintervalle schaltbedingt nach 1000 Schaltheftungen durchgeführt werden. Eine Totaldemontage und Überprüfung der einzelnen mechanischen Einrichtungen wird alle 6-8 Jahre empfohlen und umfasst das Zerlegen der Schalterteile und den Tausch sämtlicher Dichtungen.

Tabelle 11: Zeitintervalle für IH-Maßnahmen bei ABB DB 10 Schalter

Klassifikation IH	Zeitintervall	Umfang
Zwischeninspektion	jährlich	Sichtkontrolle und Wärmebildaufnahme
Große Revision	6-8 jährlich	Totaldemontage mit Reinigen, Erneuern, Prüfen von Steuerbetrieb Löschkammer Luftbehälter Trennmesserantrieb Trennmesser Bürstenkontrolle

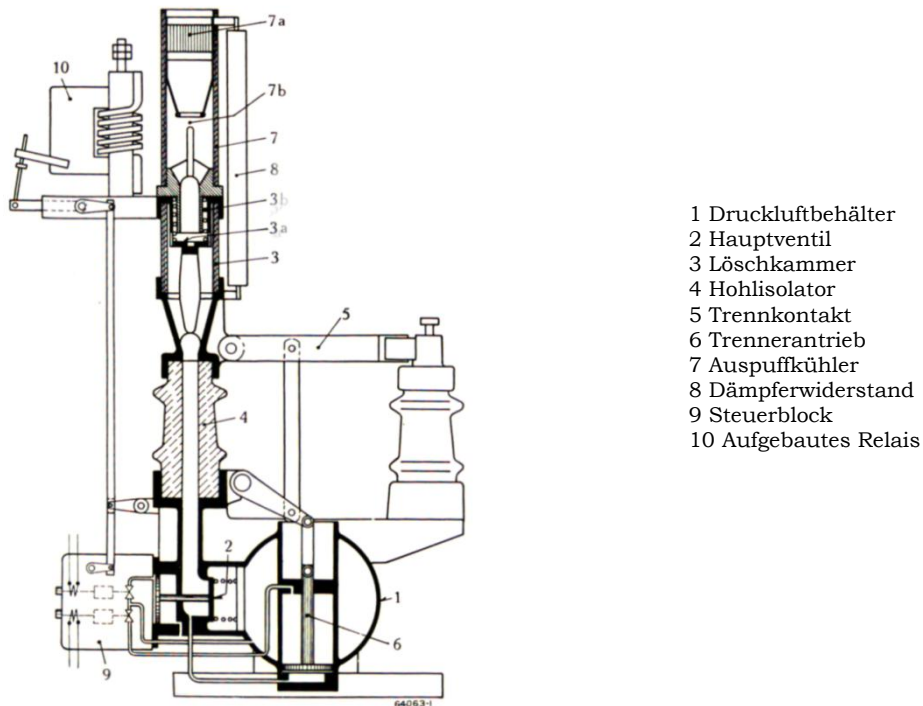


Abbildung 8: Druckluftleistungsschalter DB 10 [9]

4.2.1.2 Feststoffisolierte-Schaltanlagen Typ: AWJ 34 ELIN

Eine Weiterentwicklung der offenen Schaltanlage mit Abschottung war die feststoffisolierte Schaltanlage, entwickelt für Anwendungen in der Hochspannungstechnik, um Risiken zu minimieren und höhere Personensicherheit zu gewährleisten.

Aufbau:

Diese Bauweise der feststoffisolierten Schaltanlage ist gekennzeichnet durch die allseitig mit Gießharz umgebene Leiterführung. Durch die zusätzliche Isolierung wurde eine kompakte Schaltanlagenbauweise und Einhaltung geringerer Mindestabstände möglich. Die Isolationskoordination basiert auf einer nennspannungsgeprüften Feststoffisolierung und einer Luftstrecke 1,5-facher Nennspannungsfestigkeit.

Die Schaltfeldabgänge mit ölarmen Leistungsschalter und Erdungsschalter können aufgrund der Abschottung auf Trenner verzichten. Trenner waren durch Fehlauflösungen sehr häufig die Hauptursache der Störlichtbogenbildung. Die vollkommene Abschottung der stromführenden Leiter garantiert die Störlichtbogenfestigkeit im Fehlerfall, zumal das Wandern bzw. Übergreifen des LB auf weitere Schaltfelder unterbunden wird. Spezielle Anforderungen an das Isoliermaterial sind mitunter

schwer entflammbare Eigenschaften und das Ausbleiben der Bildung von giftigen Gasen bei hohen Temperatureinwirkungen.

Das Schaltfeld in Gebäuden unterscheidet sich je nach Anwendungsgebiet und Platzmöglichkeiten. Der Aufbau besteht aus einer festen Tragekonstruktion, dem Schaltwagen und dem Anschlussfeld (Kabelfeld). Die Tragekonstruktion ist ein feststehendes, durchgehend geschweißtes Gerüst und bildet den Rahmen des Schaltwagens. Auf der Stahlblechkonstruktion des Schaltwagens befindet sich der LS, inklusive Antrieb, Verdrahtung und Steckvorrichtungen. Der untere Raum des zweistöckigen Schaltfeldes in Abbildung 9 führt die Vorrichtungen des Anschlussfeldes, die im Gegensatz zum oberen Bereich keine feststoffisolierte Abschottung vorweisen [10].

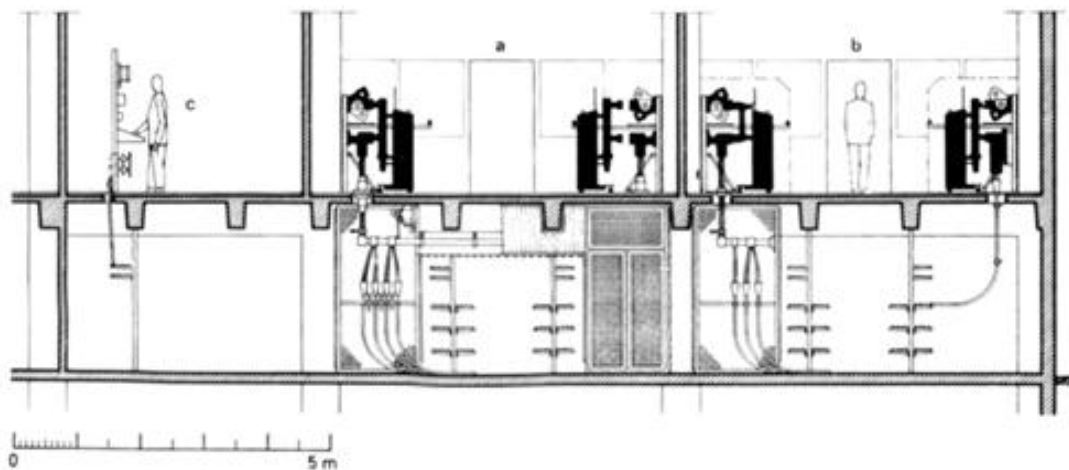


Abbildung 9: Schaltfeldaufbau bei feststoffisolierten Schaltanlagen [10]

Leistungsschalter:

Der Befehl zur Schalthandlung des LS erfolgt über externe Schutzeinrichtungen und Erdschlusserkennungseinheiten. Im Fehlerfalle durch die externen Schutzeinrichtungen ausgelöst, wird der Schaltstift des Leistungsschalters über einen Antrieb bewegt. Eine eigens vorgesehene Querströmungskammer für das Öl bewirkt eine stromabhängige Kühlung des Lichtbogens. Die hohl ausgeführten Schaltstifte dienen der stromunabhängigen axialen Kühlung, die das einwandfreie Schalten niedrig induktiver Ströme garantiert [11].

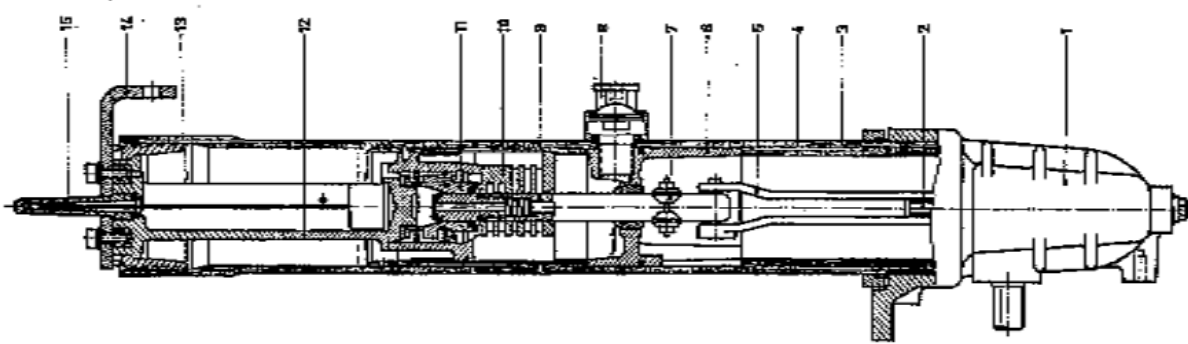


Abbildung 10: Ölarmer Leistungsschalter LG17 [11]

- | | | | | |
|------------------|------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| 1 Kurbelgehäuse | 2 Antriebshebel | 3 Polrohr | 4 Stützrohr | 5 Isolierstange |
| 6 Polmittelteil | 7 Rollenkontakt | 8 Unterer Anschluss | 9 Schaltstift | 10 Löschkammer |
| 11 Tulpenkontakt | 12 Kontaktträger | 13 Spannmutter | 14 Obere Anschluss | 15 Ölstandsanzeiger |

Instandhaltungsmaßnahmen:

Bei den Schaltern der Type SWL 17-10 erfolgt eine jährliche thermografische Überprüfung und Sichtkontrolle. Der geringere Instandhaltungsaufwand der Leistungsschalter ist gegenüber den offenen Anlagen ein wesentlicher Vorteil.

Tabelle 12: Zeitintervalle für IH-Maßnahmen bei ELIN SWL 17-10 Schalter

Klassifikation IH	Zeitintervall	Umfang
Zwischeninspektion	jährlich	Sichtkontrolle und Wärmebildaufnahme
Große Revision	6 jährlich	Prüfen und Auswechseln des festen Schaltstückes Prüfen und Auswechseln des beweglichen Schaltstückes Ausbauen und Reinigen der Löschkammer Einbauen der Löschkammer und Montage des Schalterpoles

4.2.1.3 Gekapselte Schaltanlage Typ UniGear ZS1 ABB

Aufbau:

Die UniGear ZS1 der Firma ABB ist eine metallgekapselte Schaltanlage, ausgelegt für Innenraumanwendungen. Die Kapselung besteht aus 2mm dick verzinktem Stahlblech mit Druckentlastungsklappen. Zum einen besteht der Isolationsaufbau aus der äußeren Metallkapselung, die nach innen mit Luft isoliert ist und zum anderen aus einer zusätzlichen inneren Abschottung des Sammelschienenraums, Leistungsschalterraum und Kabelanschlussraumes. Die innere Abschottung erfüllt den speziellen Zweck der sicheren Zuleitung der SS zu den Leistungsschaltern bzw. der Kabel zum Kabelanschlussraum. Somit kann die Schaltanlage in einen Sammelschienenraum, LS-Raum, Kabelanschlussraum, Gerätekasten und den Sekundäreinrichtungen unterteilt werden. Das Schaltfeld ist mit den ABB VD4 Vakuumschalter ohne zusätzlichen Trenner ausgeführt.

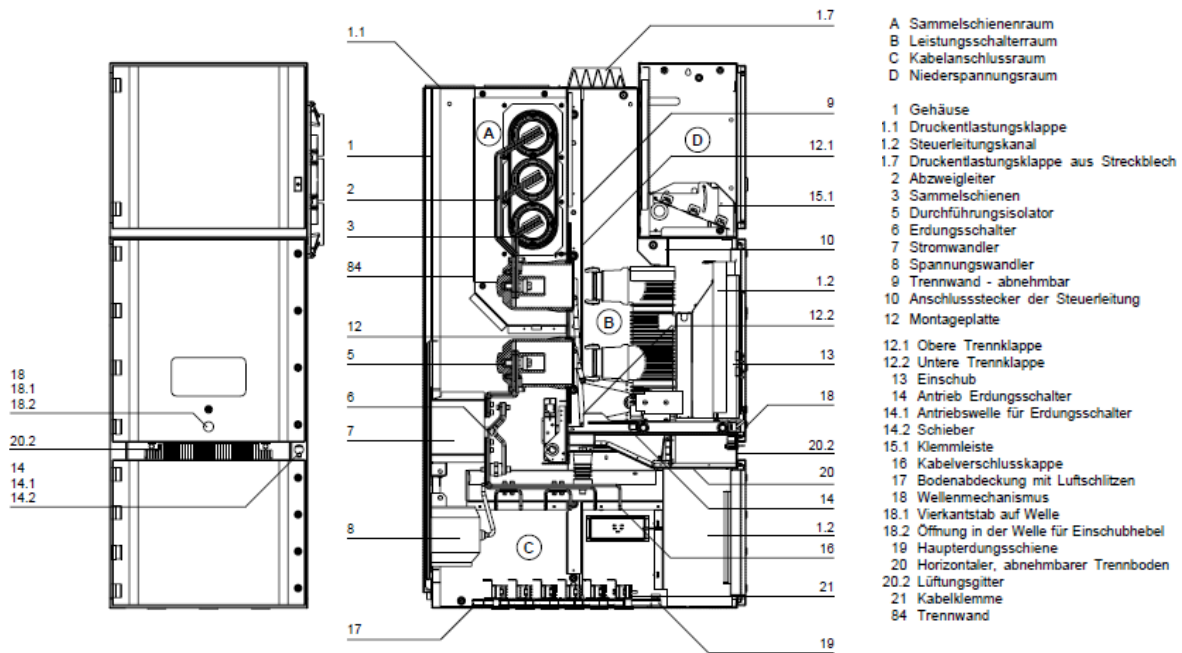


Abbildung 11: Gekapselter Schaltfeldaufbau, ABB [7]

Die Auslegung und Dimensionierung der Schaltanlage bestimmt, ob bei gegebener Auslastung und Stromhöhe, die serienmäßigen Belüftungsvorkehrungen ausreichend Frischluftzufuhr garantieren. Die ausreichende Dimensionierung garantiert die Einhaltung der Temperaturgrenze von 40°C, gemessen zwischen inneren und äußeren Abschottung. Metall gekapselte Schaltanlagen müssen allen Anforderungen der IEC 62271-200 entsprechen und garantieren somit die Störlichtbogensicherheit [7].

Leistungsschalter:

In Abbildung 12 ist der Vakuumleistungsschalter VD4 der Firma ABB dargestellt. Während des Ausschaltvorganges bei Vakuumschalter bildet sich ein LB in der Schaltstrecke durch Metaldampf, der sich von der Elektrodenoberfläche löst. Der Entzug der Lichtbogenenergie geschieht über die Elektrode (Wärmesenke) und der gelöste Metaldampf lagert sich auf der anderen Elektrodenoberfläche ab.

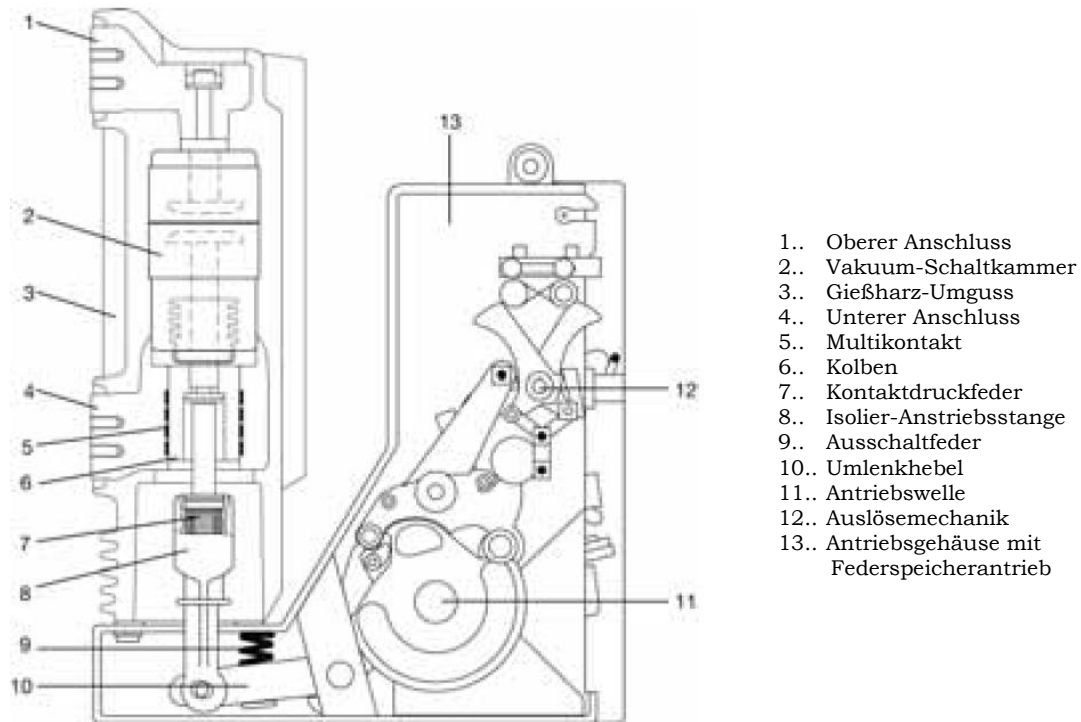


Abbildung 12: Vakuumschalter VD4, ABB [12]

Instandhaltungsmaßnahmen:

Die Instandhaltungsmaßnahmen laut Hersteller umfassen eine regelmäßige Sichtkontrolle, durch eine Elektrofachkraft. Bei einer detektierten unzulässig hohen Erwärmung an der Oberfläche, hervorgerufen durch Kurzschlüsse, ist eine Reinigung der Kontaktstellen durchzuführen. Die Prüf- und Revisionsintervalle haben laut Hersteller nach 10.000 Schaltspielen zu erfolgen.

Tabelle 13: Zeitintervalle von IH-Maßnahmen beim ABB VD4 Schalter

Klassifikation IH	Zeitintervall	Umfang
Zwischeninspektion	Jährlich	Sichtkontrolle
Kleine Revision	Nach bedarf	Reinigungsmaßnahmen
Große Revision	Nach bedarf	Beheben von Oberflächenschäden

4.2.1.4 Gekapselte Schaltanlage TYP: Siemens 8BK40

Aufbau:

Die Siemens Schaltanlage ist eine vollständig metallgekapselte, luftisolierte und als Doppelsammelschienensystem ausgeführte Schaltanlage. Ein Übersichtsbild ist in Abbildung 13 dargestellt. Die Auslegung der Schaltanlage wurde gemäß IEC Publ. 298 und 694, VDE 0670 Teil 6 und 1000 und VDE 0101 durchgeführt.

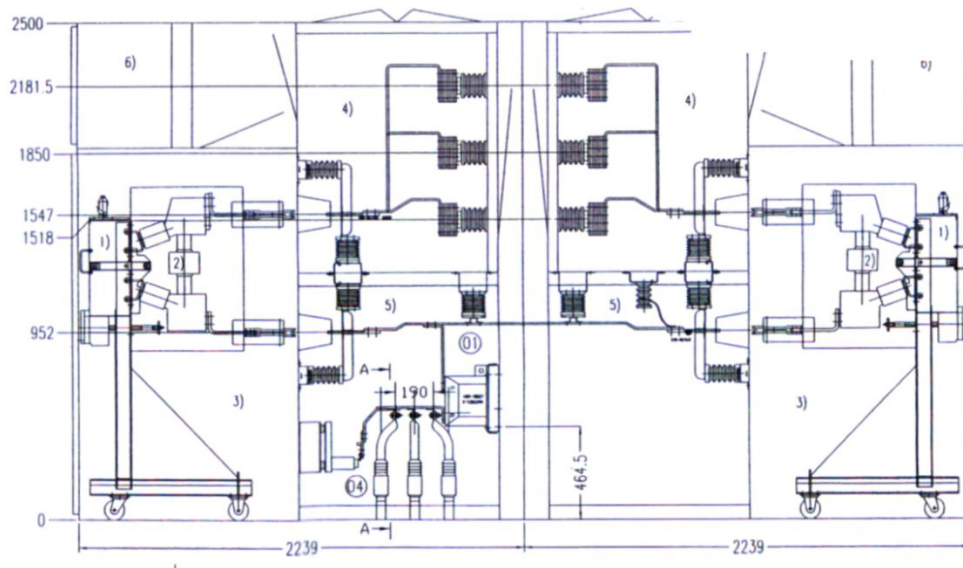


Abbildung 13: Gekapselter Schaltfeldaufbau (Rücken/Rücken), Siemens [13]

Leistungsschalter:

Als Leistungsschalter ist ein Vakuumschalter der Type 3AH3 im Einsatz. Der Auslösebefehl für die Leistungsschalter erfolgt über die installierten Schutzeinrichtungen und ggf. der Erdschlusserkennungseinheit.

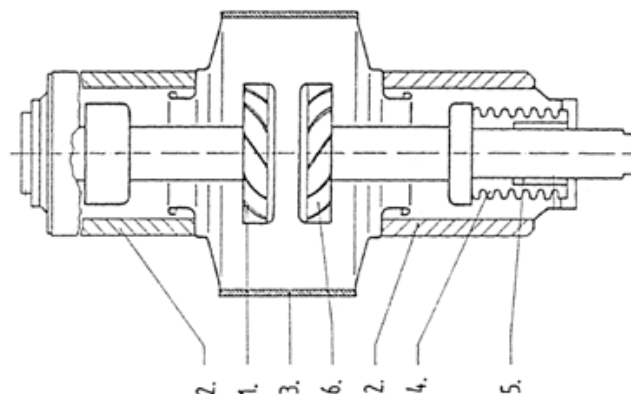


Abbildung 14: Vakuumschalter 3AH3, Siemens [14]

- | | | |
|------------------------------|--------------------|--------------------------|
| 1. Feststehendes Schaltstück | 2. Keramikisolator | 3. Schaltkammer |
| 4. Metallfaltenbalg | 5. Führung | 6. Bewegbare Schaltstück |

Instandhaltungsmaßnahmen:

Die Instandhaltungsmaßnahmen laut Hersteller umfassen eine regelmäßige Sichtkontrolle, durch eine Elektrofachkraft. Bei einer detektierten unzulässig hohen Erwärmung an der Oberfläche ist eine Reinigung der Kontaktstellen durchzuführen.

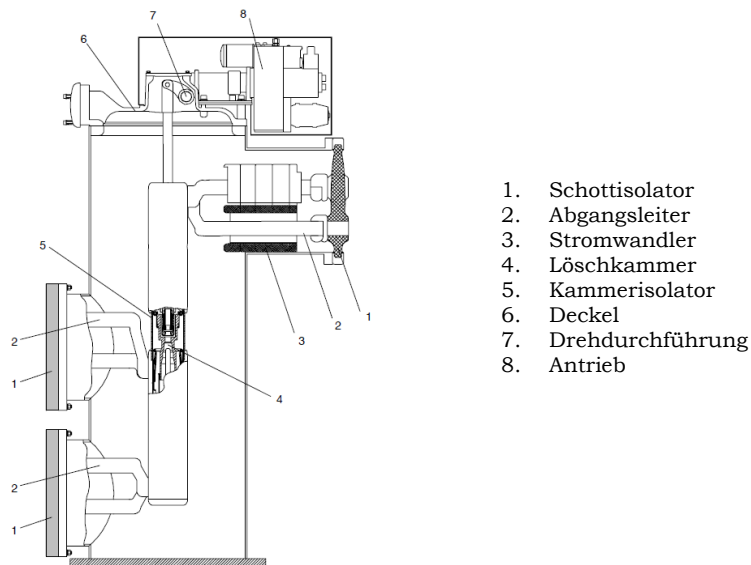
Tabelle 14: Zeitintervalle von Instandhaltungsmaßnahmen bei Siemens 8BK40

Klassifikation IH	Zeitintervall	Umfang
Zwischeninspektion	jährlich	Sichtkontrolle und Wärmebildaufnahme
Hauptinspektion	6 jährlich, 10000 Schalthandlungen	Sichtkontrolle und Wärmebildaufnahme Nach 10.000 Schaltspielen Tausch der Schalthröhen Kontrolle des Kontaktsystems Bei Verdacht auf Undichtheit: Vakuum-Kontrolle

4.2.1.5 Gekapselte-Schaltanlagen ABB EXK SF6

Im Prinzip handelt es sich bei dieser Schaltanlage um ein hermetisch abgeriegeltes System mit Gas als Isoliermedium. Die Kapselung schützt die Komponenten vor äußeren Einflüssen und ist somit wartungsarm. Die ABB EXK verwendet SF₆ als Isoliermedium und kann, aufgrund dessen hervorragender isolierender Eigenschaften, die Baugröße auf ein Minimum reduzieren.

Ein Abgang in den Schaltanlagen umfasst die SS mit kombinierten Trenn-, Erdungsschalter und einen SF₆-Druckgasschalter mit Federspeicherantrieb, basierend auf dem Selbstblas-Prinzip. Das elektronegative Gas SF₆ überzeugt mit seinen hervorragenden Isolationseigenschaften und Lichtbogenlöscheigenschaften. Durch das selbständige umströmen des Lichtbogens durch SF₆ wird im Stromnulldurchgang dem Bogenplasma genügend Energie entzogen um zu löschen.



- 1. Schottisolator
- 2. Abgangsleiter
- 3. Stromwandler
- 4. Löschkammer
- 5. Kammerisolator
- 6. Deckel
- 7. Drehdurchführung
- 8. Antrieb

Abbildung 15: Aufbau SF6-LS [12]

Instandhaltungsmaßnahmen:

Die Instandhaltungsmaßnahmen begrenzen sich auf einen regelmäßigen Kontrollgang des Personals zur Druckstandkontrolle.

Tabelle 15: Zeitintervalle für IH-Maßnahmen bei SF6 Vakuumsleistungsschalter, ABB EXK

Klassifikation IH	Zeitintervall	Umfang
Zwischeninspektion	Jährlich, 5000 Schalthandlungen	Nach 5000 Schaltspielen Tausch der Löschkammer Ablesen Anlaufzähler der Hydraulikpumpe Sichtkontrolle und Wärmebildaufnahme
Hauptinspektion	8 jährlich	Prüfung der Schaltspiele und Pumpenanläufe Inspektion der Kohlebürsten (min. 11mm) Antriebsdrehprüfung Hilfsschalter- Schalterstellung prüfen Funktionskontrolle der AUS- und EIN Spule(n) Messung der Ladezeit nach 1 x CO-Schaltung

4.2.2 Strombegrenzer

In Energiesystemen kann es bei Erweiterungen und Ausbautätigkeiten zu Betriebsmittelgrenzwertüberschreitungen kommen. Der Strombegrenzer, oder seitens der ABB als Is-Begrenzer bezeichnet, ermöglicht ein Schalten des Stromes in der ersten Halbwelle. Er bezweckt den Schutz von Betriebsmittel (BM) vor elektrodynamischen Spitzenbelastungen bei unzulässigen Betriebszuständen.

Ein Auslöseimpuls zum Schalten erfolgt beim Überschreiten des eingestellten zulässigen maximal Stromes und dem gleichzeitigen Überschreiten der maximal zulässigen Stromänderung (di/dt). Im Vergleich zu Kurzschlussdrosseln bringt diese Variante der Strombegrenzung, Vorteile im Bereich des Platzbedarfes und bei den elektrischen Verlusten. Strombegrenzer sind oft die einzige Lösungsvariante um Kurzschlussströme in Grenzen der BM-Kennwerte zu halten [15].

Aufbau:

In einem Dreiphasensystem ist ein Strombegrenzer in jeder Phase gleich aufgebaut. Die Mess- und Auslöseeinrichtungen sind jedoch unabhängig voneinander zu betrachten. Seine Bestandteile sind Einsatzhalter, Einsätze, Stromwandler, die Mess- und Auslöseeinrichtung. Zwei parallel angeordnete Pfade bringen den entscheidenden Vorteil gegenüber anderen Schaltprinzipien. Der Hauptstrompfad, mit vorgeschaltetem Stromwandler (STW), besteht beginnend beim Polkopf mit Klemmvorrichtung aus einer in einem Isolierrohr befindlichen Sprengbrücke mit Sprengkapsel. Im parallel angeordneten Pfad befindet sich eine HH-Sicherung, die für die Unterbrechung bzw. dem eigentlichen Schalten verantwortlich ist.

Funktion:

Bei der Feststellung von einer Grenzwertüberschreitung durch den integrierten Stromwandler, wird mittels Impulstransformator Energie zur Zündung der Sprengkapsel aktiviert. Im Folgenden ist der Hauptstrompfad unterbrochen und der Strom kommutiert in den parallel liegenden Pfad (HH-Sicherung). Hierbei schmilzt der Leiter der Sicherung, dem Lichtbogen wird über die Kühlvorrichtung Energie entzogen, und folglich wird der Stromfluss unterbrochen.

Die möglichen Überspannungen beim Schaltvorgang werden nach IEC60282-1 Teil 4 zulässigen Werten nicht überschritten. Nach einer Auslösung des Schalters ist die Strecke dauerhaft offen und muss durch Personal wieder in Stand gesetzt werden [15].

Instandhaltungsmaßnahmen:

Ein wesentlicher Nachteil gegenüber Drosselspulen ist der Instandhaltungsaufwand, der eine jährliche Überprüfung durch ein Fachpersonal erfordert. Das Auslösen des Is-Begrenzers ist eine nicht reversible Schalthandlung und erfordert einen Tausch der Sicherung und Sprengkapsel.

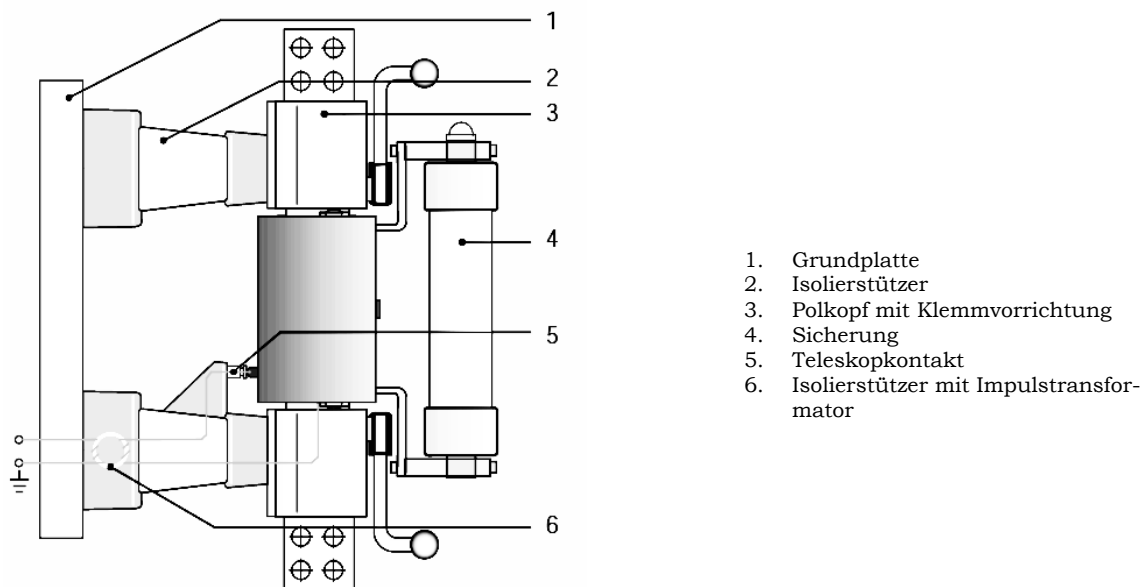


Abbildung 16: Aufbau Is-Begrenzer der Firma ABB
[15]

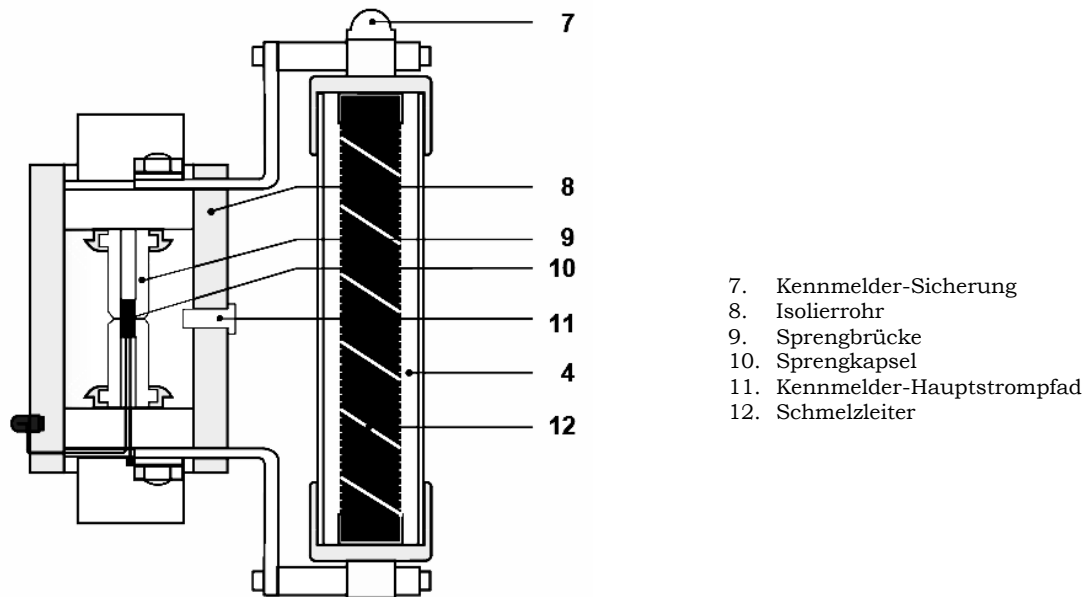


Abbildung 17: Aufbau Schaltvorrichtung Is-Begrenzer [15]

4.2.3 Strombegrenzungs-Drosselspulen

Eine weitere Möglichkeit den maximalen Kurzschlussstrom zu begrenzen wird durch den Einsatz von Strombegrenzungs-Drosselspulen erreicht. Abgesehen von der hohen mechanischen Beanspruchung, soll eine garantierte Begrenzung des maximal möglichen KS-Stromes gewährleistet sein. Dazu ist eine konstante Induktivität erforderlich, die durch die Wahl der Bauform (Luftspule), sowohl bei Nennbeanspruchung, als auch bei der KS-Belastung, erreicht wird.

Die Auslegung von KS-Drosseln berücksichtigt die Kurzschlussfestigkeit einzelner BM, aber auch die Ausschaltleistung von Leistungsschalter der betrachteten Schaltanlagen. Eingesetzt werden KS-Drossel üblicherweise in Abzweigen, Zuleitungen und bei Längs- oder Querkupplungen von Sammelschienen.

Kenndaten einer KS-Drossel sind:

- Nennspannung
- Nennstrom
- Nennspannungsabfall in %

Der Spannungsabfall an der KS-Drossel ist im Nennbetrieb relativ gering, steigt jedoch proportional mit der Höhe des Stromes und dem Leistungsfaktor. Im KS-Fall steigt der Phasenverschiebungswinkel und somit der Spannungsabfall an der KS-Drossel [8]. Der Aufbau mit Abmessungen ist in Abbildung 18 dargestellt.

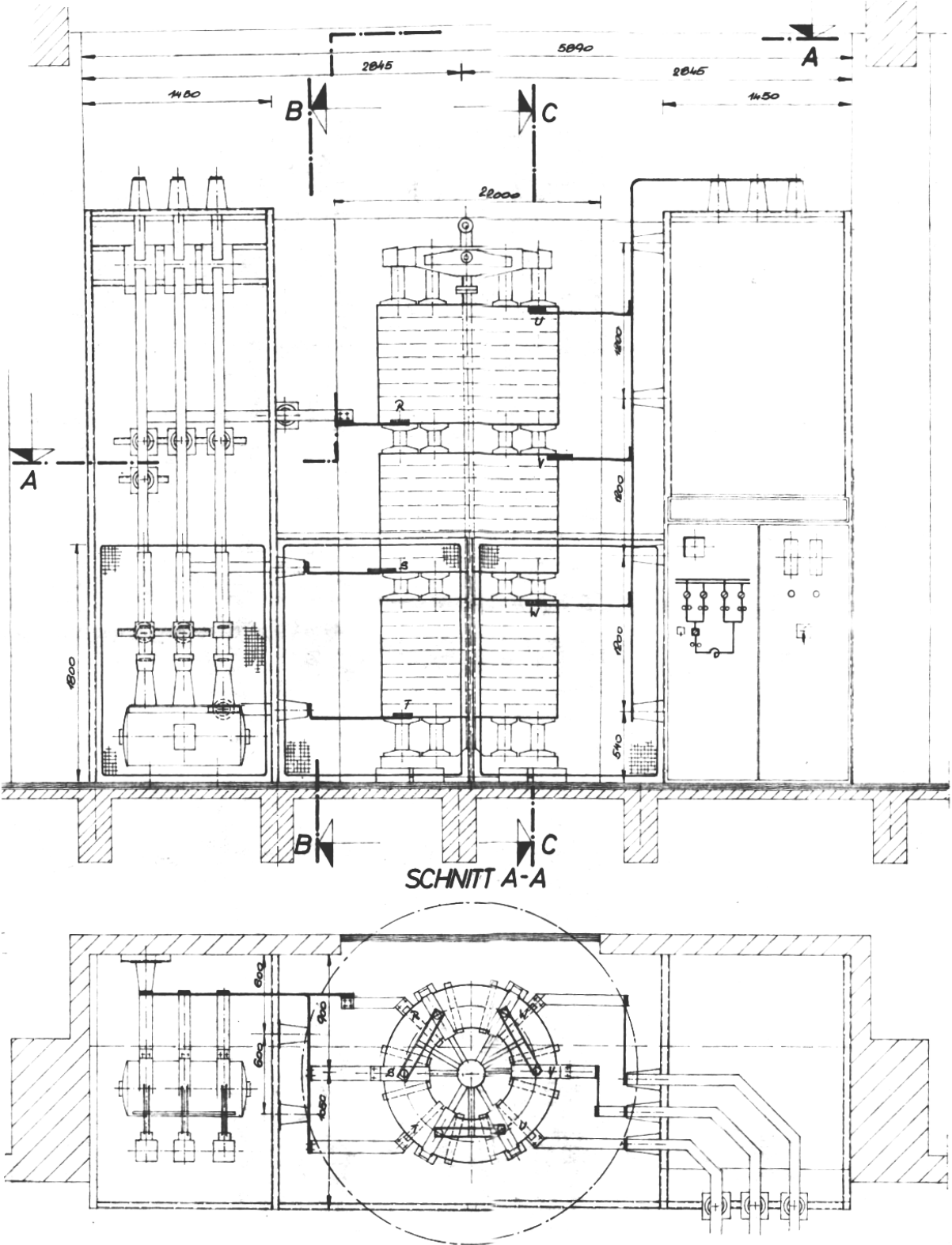


Abbildung 18: KS-Drossel [1]

4.3 Die elektrischen BM für die Energieübertragung

Die zentralen Punkte der elektrischen Energieversorgung der Raffinerie sind:

- Die externe Anbindung an Wienstrom über die 110kV SF₆ Schaltanlage
- HKW I und HKW II
- Die Verbindungskabel zwischen HKW I, HKW II und den Schalthäusern

4.3.1 Transformator

Der Transformator ist ein Koppellement unterschiedlicher Netzebenen im Energienetz, der sich je nach Anwendungsgebiet durch Kerntyp, Isolationssystem, Wicklungsform, Kühlung und Wicklungsverschaltung unterscheidet.

Isolationsaufbau:

Transformatoren können durch ihre Isolation in Gießharztransformatoren und Öltransformatoren eingeteilt werden. Öltransformatoren bestehen aus einem Isolationssystem aufgebaut aus Öl-Board Anordnungen. Die Kühlung, begünstigt durch die hohe spezifische Wärmekapazität und dem ständigen Zirkulieren des Öls im Barrierensystem, ist ein entscheidender Vorteil bei hohen Übertragungsleistungen, hohen Kurzschlussspannungen u_k oder etwaigen Stoßbeanspruchungen.

Das Isolieröl bildet in Kombination mit dem aus Zellulose gefertigten Isolierpapier bzw. Trafoboards ein optimales Isoliersystem aus elektrischer und thermischer Sicht. Durch den Schichtenaufbau von Öl-Barrieren wird bewusst eine verteilte elektrische Beanspruchung der Isolation geschaffen [16].

Instandhaltungsmaßnahmen:

Am Werksgelände der Raffinerie werden IH-Arbeiten mit den wie in Tabelle 16 Intervallen durchgeführt, mit der Ausnahme, dass bei wichtigen Transformatoren und Großtransformatoren Öluntersuchungen in jährlichem Abstand erhoben werden.

Tabelle 16: Zeitintervalle für Instandhaltungsmaßnahmen bei Transformatoren

Klassifikation IH	Zeitintervall	Umfang
Kleinservice	2 jährlich	Sichtkontrolle Kontrolle der Ölvorlage Kontrolle Silikagel Reinigung Trafogrube Ölnachfüllung nach Bedarf
Großservice	5 jährlich	Öluntersuchungen Technische Diagnostik

4.3.2 Energiekabel

Kabelisolationaufbau:

Der Aufbau eines Energiekabels setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen.

- 1 Leiter
- 2 Innere Leitschicht
- 3 Isolierung
- 4 Äußere Leitschicht
- 5 Leitfähige Polsterung
- 6 Schirmdrähte
- 7 Metallmantel (opt.)
- 8 Trennschicht
- 9 Außenmantel

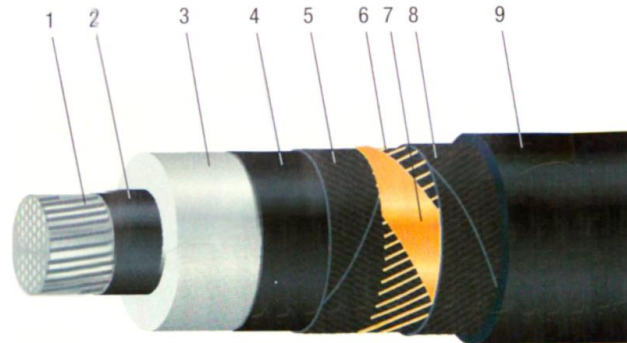


Abbildung 19: Schematischer Aufbau Energiekabel [17]

Je nach Spannungsebene und Einsatzgebiet werden nicht alle Komponenten zwingend benötigt. Energiekabel lassen sich anhand ihrer Isolationsausführung in folgende Arten einteilen.

- Massekabel
 - Gürtelkabel
 - Hochstädterkabel
- Ölkabel
 - Niederdruck (bis 8bar)
 - Ölaufendruck (bis 15bar)
- Druckrohrkabel
 - Gasinnendruck
 - Gasaußendruck
- Kunststoffkabel
 - PVC, VPE, XLPE

Die oben angeführten Ausführungsformen sind die bekanntesten und am häufigsten eingesetzten Energiekabelformen. In Tabelle 56 (Anhang) sind die Abkürzungen für die Kabelbezeichnung aufgelistet [17].

4.3.3 Mittelspannungsbetriebsmittelübersicht

4.3.3.1 Die Generatoren

Tabelle 17: Übersicht der installierten Generatoren

Generatorübersicht	Bezeichnung	Baujahr	Leistung
--	--	JJJJ	MVA
1	G4	1969	21
2	G5	1971	a.B.
3	G6	1971	43,5
4	G8	1977	43,5
5	G9	1977	43,5
6	TGU	2008	37
7	Gasturbine		6,5

4.3.3.2 Die Leitungen

Übersicht der verschiedenen eingesetzten Kabeltypen im Mittelspannungsnetz der Raffinerie in Schwechat.

Tabelle 18: Übersicht installierter Kabeltypen inkl. verlegter Länge

Kabelübersicht	Bezeichnung	Baujahr	Länge	Typ
Gesamt		JJJJ	km	0
1	E- PKY	1962	2,25	Massekabel
2	E- YCY	1958 - 2007	7,79	Kunststoff
3	E- KBY	2001 - 2007	12,99	Massekabel
4	E- PMBY	1971 - 2008	41,55	Massekabel
5	E- PKBU	1962/71 - 2007	25,82	Massekabel
6	E- YFGY	1999	4,12	Kunststoff
7	E- PKBY	1971 - 2005	1,66	Massekabel
8	E- PMBU	---	0,5	Massekabel
9	E- YHCY	1977	1,22	Kunststoff
10	E- YFGY	1979 - 199	2,05	Kunststoff
11	E- PKBY	2002	1,3	Massekabel
12	E- PAKPY	1971	4,8	Massekabel
13	E- PAKBU	1971-2002	3,52	Massekabel
14	E- 2XSEY	2005	1,52	Kunststoff
15	E- PHMBY	---	0,071	Massekabel
16	E- 2YHCY	---	0,4	Kunststoff
17	E-APMBY	1978	1,21	Massekabel
18	E- 2XSE2Y	2003	0,705	Kunststoff

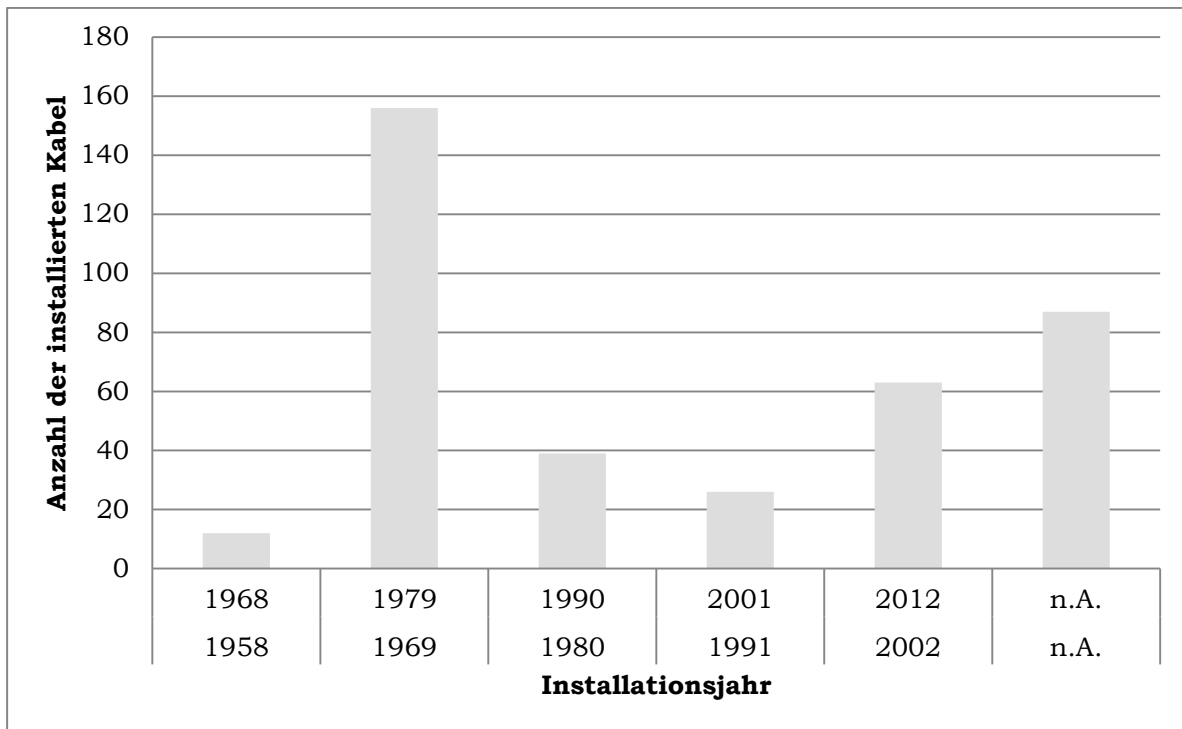


Abbildung 20: Kabelbaujahrübersicht

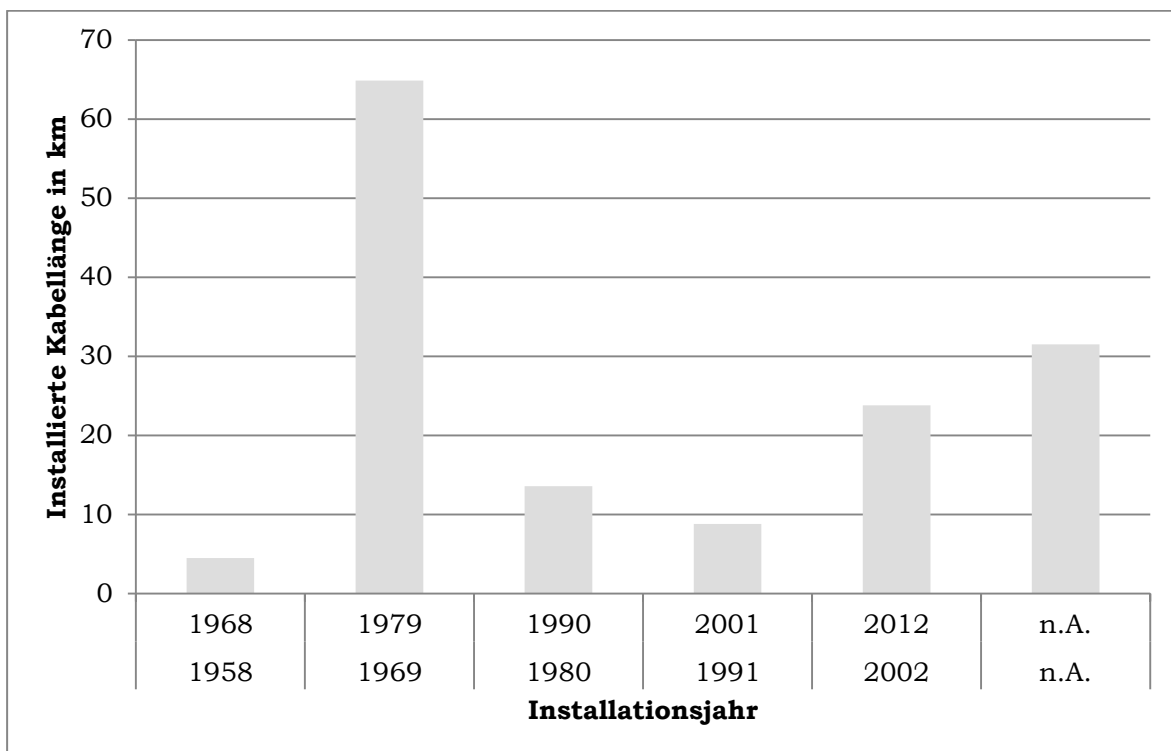


Abbildung 21: Übersicht der installierten Kabelgesamtlängen

4.3.3.3 Die Schaltanlagen

Tabelle 19: Übersicht der installierten Schaltanlagentypen

Schaltanlagenübersicht	Baujahr	Hersteller	LS	I_{ksmax}	Typ
	--	--	--	kA	
SH 1	2003	ABB	VD4	40	Gekapselt
SH 2	2002	ABB	VD4	40	Gekapselt
SH 7	2007	Siemens	8Bk40; 3AH3	63	Gekapselt
SH 5	1977/ 2004	ELIN/ABB	VD4;LG17	28,9/ 40	Feststoffisoliert /Gekapselt
K1-K2	1959	ELIN	SWL 17	28,9	Feststoffisoliert
K3-K4	1971	ELIN	SWL 17	28,9	Feststoffisoliert
K5-K6	1978	ELIN	SWL 17	28,9	Feststoffisoliert
K7-K8	1978	ELIN	SWL 17	28,9	Feststoffisoliert
SH 3	1971	ELIN	SWL 17	28,9	Feststoffisoliert
SH 4	1971	ELIN	SWL 17	28,9	Feststoffisoliert
SH 6	1980	ELIN	SWL 17	28,9	Feststoffisoliert
Grp. 1-2	1959	ABB	ABB DB	--	Offene
Grp. 3	1969	ABB	ABB	48	Offene
Grp. 4-6	1971	ABB	ABB	63	Offene
Grp. 8-9	1977	ABB	ABB	78	Offene

4.3.4 Die Leistungsschalter

Tabelle 20: Übersicht der installierten Leistungsschaltertypen

Leistungsschalter	Hersteller	Typ	Anzahl
Nr.:	--	--	#
1	ABB	Druckluft	89
2	ABB	Vakuum	158
3	ELIN SWL	Ölarne	307
4	Siemens	Vakuum	28
5	n.A.		3
Gesamt			585

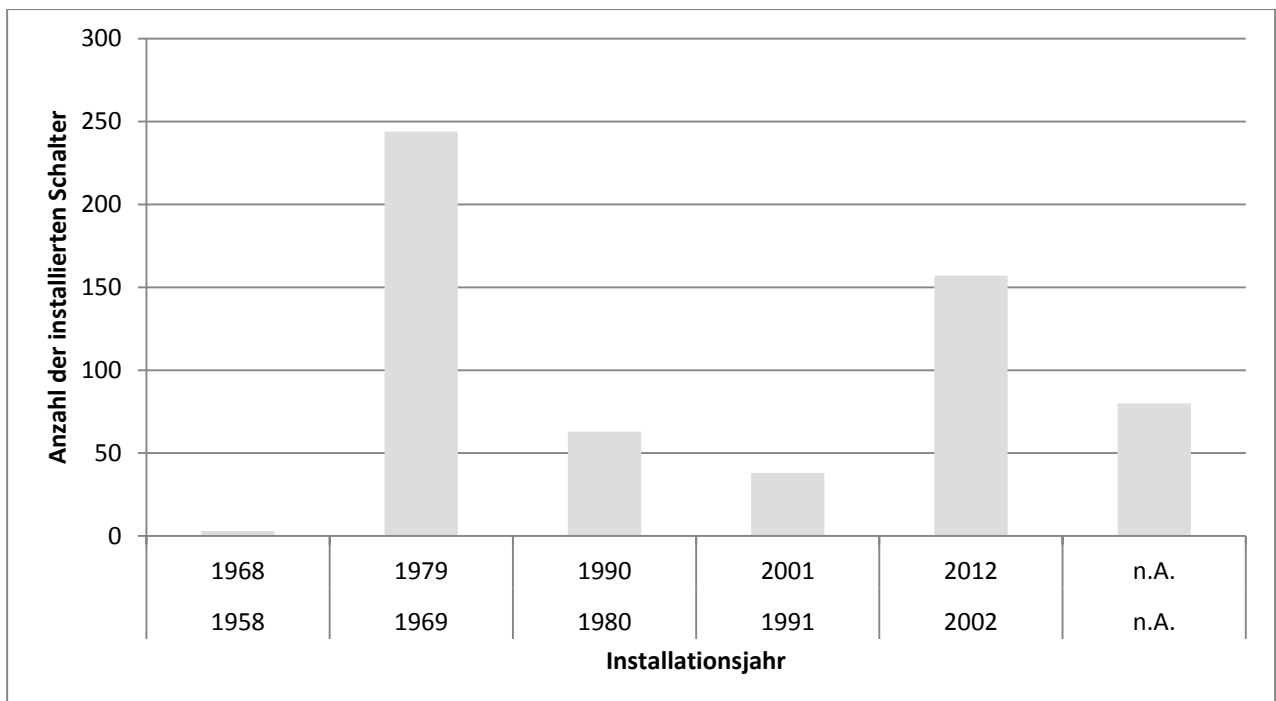


Abbildung 22: Übersicht der installierten Schalteranzahl

4.3.5 Übersichtsplan der Raffinerie in Schwechat



Abbildung 23: Geographische Übersicht der Raffinerie [1]

5 Thermografische Untersuchungen

Die Thermografie ist ein bildgebendes Verfahren, das anhand spezieller Sensoren Infrarotstrahlen als Messgröße erfasst und anschließend sichtbar macht. Jeder Körper über 0 K strahlt Energie in Form von elektromagnetischen Strahlen ab. Über die abgestrahlte Leistung wird durch qualitative und quantitative Zusammenhänge die Temperatur des Messobjektes bestimmt.

Große Temperaturänderungen in kurzen Zeitspannen oder maximal auftretende Temperaturen an elektrischen Betriebsmitteln sind im Bereich der technischen Diagnostik ein wichtiges Beurteilungskriterium. Oft sind Temperaturbestimmungen aufgrund schwer zugänglicher Stellen bzw. spannungsführender Teile schwer direkt über Kontaktmessungen möglich. Die Thermovision bietet den Vorteil einer berührungslosen und risikofreier Messung.

Die unterschiedlichen Auswahlmöglichkeiten an Detektoren bei der Thermovision bringen sowohl Vor- als auch Nachteil mit sich, denen vorab große Aufmerksamkeit gewidmet werden soll. Zwar findet durch die Thermovision keine äußere Beeinflussung der Messstelle statt, doch kann es bei Unwissenheit bzw. nicht Beachtung diverser externer Störquellen zu großen Messabweichungen kommen. Nachteilig können die somit entstandenen Messunsicherheiten, die durch Einflüsse des Mediums, der Kamera und der Umgebung zu tragen kommen, angesprochen werden. Genaue Vorbereitungsarbeiten bzw. Erfahrungswerte sind zur korrekten Durchführung nötig.

5.1 Das elektromagnetische Strahlungsspektrum

Das Licht ist eine elektromagnetische Strahlung, das ganz spezielle und nützliche Eigenschaften zur Temperaturbestimmung besitzt. Die Entdeckung der Infrarotstrahlung im Jahre 1800 durch William Herschel war die Grundlage der Infrarot-Temperaturmessung. Die Kenntnis erlangte er in einem Versuch, indem schwarz gefärbte Quecksilberthermometer sich in Abhängigkeit des ausgestrahlten Wellenlängenbereichs unterschiedlich erwärmten. Zuerst stellte er im sichtbaren Bereich einen kontinuierlichen Temperaturanstieg, beginnend beim violetten hin zum roten Spektralbereich, fest. Den maximalen Wert erreichte das Quecksilberthermometer jedoch in dem heute bekannten Infrarotbereich, also außerhalb des sichtbaren und hinter dem roten Spektralbereich.

Wie Abbildung 24 zeigt, reicht der infrarote Spektralbereich vom Ende des sichtbaren etwa $0,78\mu\text{m}$ bis hin zu $1000\mu\text{m}$ Wellenlänge. Der dabei nützliche messrelevante Wellenlängenbereich erstreckt sich von $0,7\mu\text{m}$ bis $14\mu\text{m}$, da die erfassbare Energiemenge zur Temperaturerfassung genügend groß ist [18].

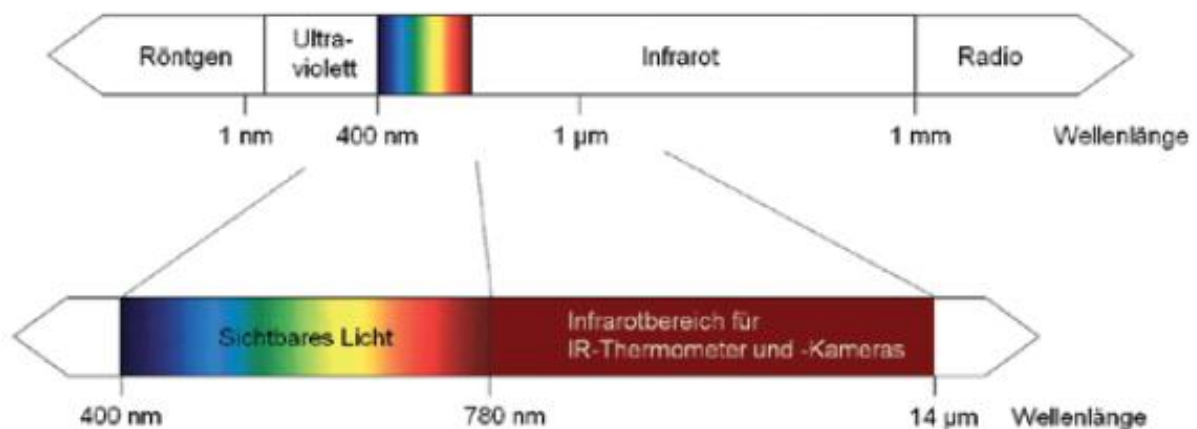


Abbildung 24: Elektromagnetische Wellenspektrum (1)

5.2 Der schwarze Strahler

Definiert wurde der schwarze Strahler im Jahre 1900 durch Planck, Boltzmann, Wien und Kirchhoff zur Quantifizierung der Infrarotenergie. Als Basis definierten sie den schwarzen Strahler, der jede auftreffende Strahlung absorbiert und jegliche Reflexion oder Transmission ausschließt. Eine Reflexion beschreibt die Strahlungsspiegelung einer benachbarten Strahlungsquelle, wobei es keine Eigenstrahlung des Messobjektes ist. Die Transmission hingegen beschreibt die Durchlässigkeit eines Mediums/Körpers, wie z.B. die Strecke zwischen Kamera und Messobjekt [18].

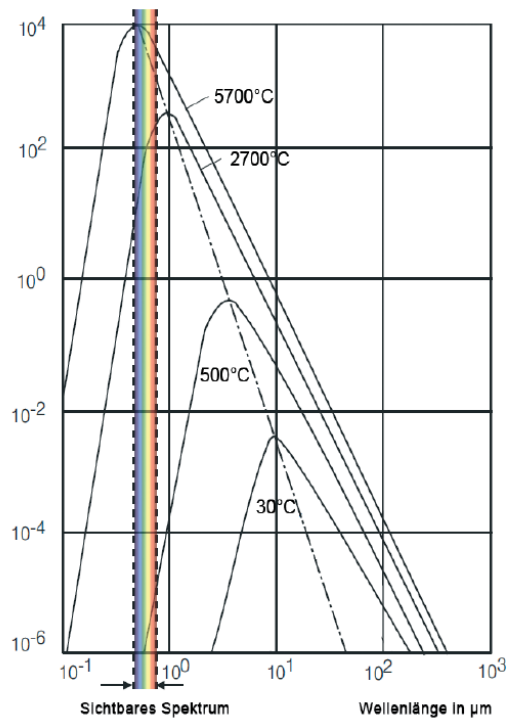


Abbildung 25: Spezifische Ausstrahlung des schwarzen Strahlers in Abhängigkeit der Wellenlänge [18]

5.3 Die Temperaturbestimmung an Metallen

Wie bereits beschrieben ist die spektrale spezifische Ausstrahlung eines schwarzen Körpers eine Funktion von Temperatur und Wellenlänge. An Metallen wird die Emissivität unter anderem von der Temperaturhöhe aber auch von der Oberflächenbeschaffenheit beeinflusst. Die Abbildung 27 zeigt den sinkenden Emissionswert bei steigender Temperatur und links neben Abbildung 26, Emissionswerte unterschiedlicher Metalle. Daraus kann gefolgert werden, dass der Einsatz von Kurzwellenkameras bzw. Mittelwellenkameras ($3\mu\text{m} - 5\mu\text{m}$) am üblichsten ist [18].

5.4 Die Temperaturmessung an Kunststoffen

Ein weiterer zu beachtender Faktor an Kunststoffen ist die Änderung des Transmissionswertes in Abhängigkeit der Schichtdicke und Kunststoffart. Der Spektrumbereich des Messfensters soll so gewählt werden, dass der Transmissionsgrad annähernd Null ist. Ab einer Schichtdicke von 0,4mm kann der Einfluss der Transmission vernachlässigt werden und ggf. Langwellenkameras eingesetzt werden. Der Vorteil dabei ist, dass in diesem Bereich die Dämpfung durch die Luftstrecke am kleinsten ist. Typische Emissionswerte von Kunststoffen die zur Isolation eingesetzt werden sind im Bereich von 0,85 - 0,9 [18].

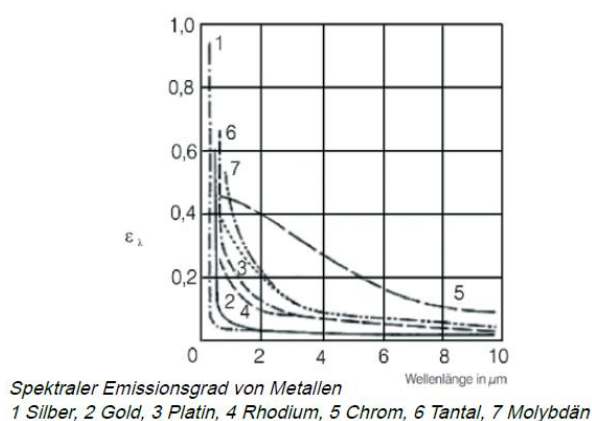


Abbildung 26: Emissionsgrad von unterschiedlichen Metallen [18]

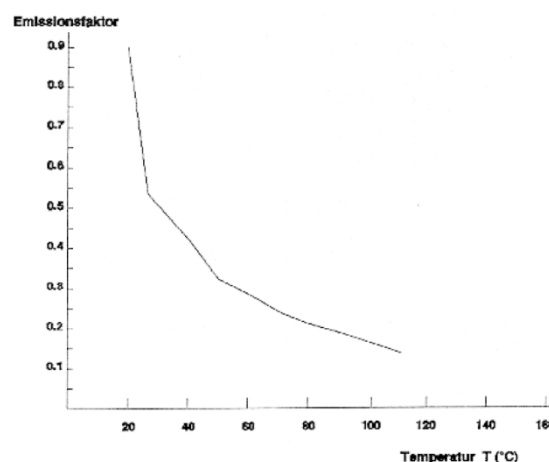


Abbildung 27: Temperaturabhängigkeit von Metallen

5.5 Vor-Ort-Messung an den Schaltanlagen

5.5.1 Die Infrarotkamera

Die Flir Thermovision A20 ist eine Langwellenkamera mit einem Spektralfenster von 7,5µm bis 13µm. In diesem Fall ist eine Vereinfachung und Vernachlässigung der Transmission zulässig ($\epsilon + \alpha = 1$). Prinzipiell sind diese Ausführungsformen nicht zur Temperaturerfassung an metallischen Oberflächen gedacht. Eine in der Praxis angewandte Abhilfe ist die Messung an lackierten Stellen, an Grenzflächen von Kunststoffen und Metallen oder die Nutzung des Hohlraumeffektes. Lackierte Stellen (meist schwarz) haben in Abhängigkeit der Farbe unterschiedliches Absorptionsverhalten, aber erfahrungsgemäß Emissionswerte von 0,85 bis 0,90. Bei Grenzflächen wird die Wärmeübertragung von Metall auf den angrenzenden Kunststoff genützt.

In Abbildung 28 ist der Funktion des Transmissionswertes in Abhängigkeit der Wellenlänge dargestellt, um auf die Problematik bei der Verwendung von Kurzwellen oder Langwellenkameras hinzuweisen.

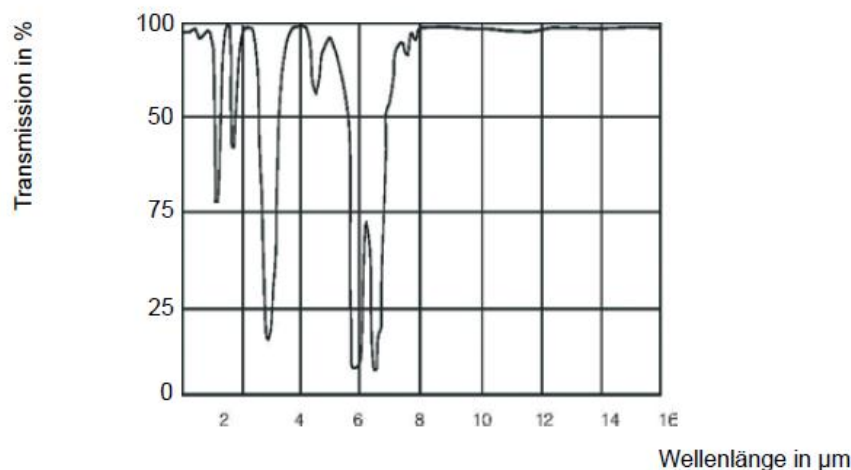


Abbildung 28: Transmissionsgrad von Luft (32°C , 75% r.F.) [18]

5.5.2 Kameraeinstellungen

Die aufgelisteten Einstellungen, zusammengefasst in Tabelle 21, wurden Vor-Ort verwendet. Bei der Auswertung wurden Umgebungsbedingungen auf die Vor-Ort Bedingungen angepasst.

Tabelle 21: Einstellungen der Flir Thermokamera

Emission ϵ	T_{Umgebung}	Abstand	Transmission	Luffeuchtigkeit
-	°C	m		r.F. %
0,85	30	2	1	40

5.5.3 Messergebnisse an den feststoffisolierten Schaltanlagen

In der Abbildung 29 und Abbildung 30 ist die Gegenüberstellung eines nicht belasteten Schaltfeldes und dem höchst belasteten Schaltfeldes. Die ermittelten Temperaturen einzelner Schaltfelder befinden sich alle unterhalb eines kritischen Temperaturbereichs.

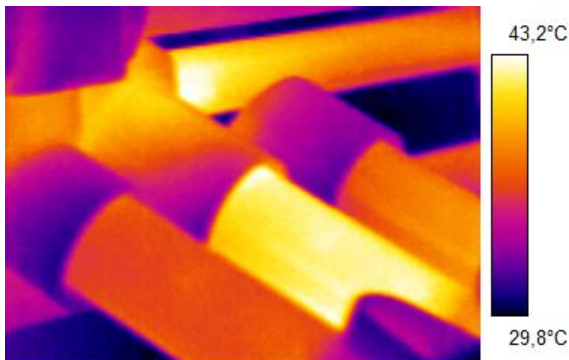


Abbildung 29: Zelle 50 SH 3

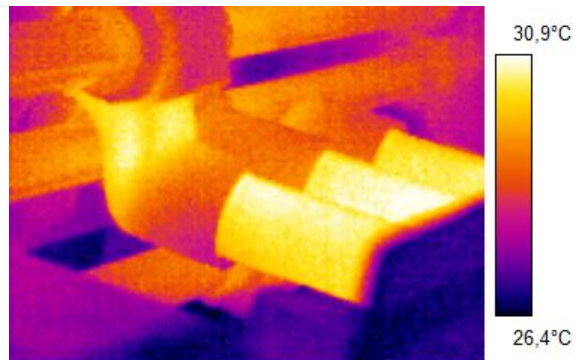


Abbildung 30: Zelle 50 SH 4

5.5.4 Messergebnisse an den offenen Schaltanlagen

Bei den offenen Schaltanlagen wird darauf geachtet, dass der Temperaturverlauf eines Schaltfeldes über die drei Phasen identisch ist. Sollten bei einem Schaltfeld ein Temperaturunterschied in den Phasen bemerkbar sein, so muss auf die Auslastung des Schaltfeldes, eventuelle Schiefllast, geachtet werden. Kann eine solche ausgeschlossen werden, ist die erhöhte Temperaturstelle ein Indiz auf eine fehlerhafte Komponente.

HKW I

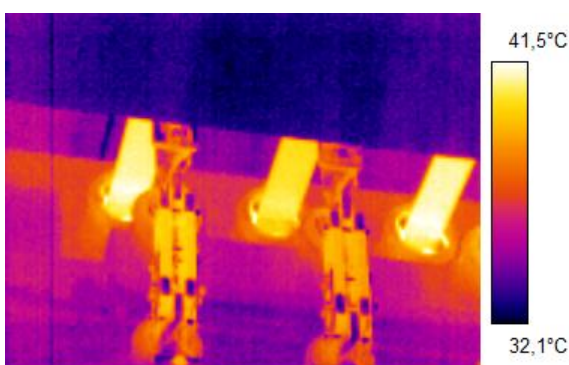


Abbildung 31: Zelle 22 Grp3

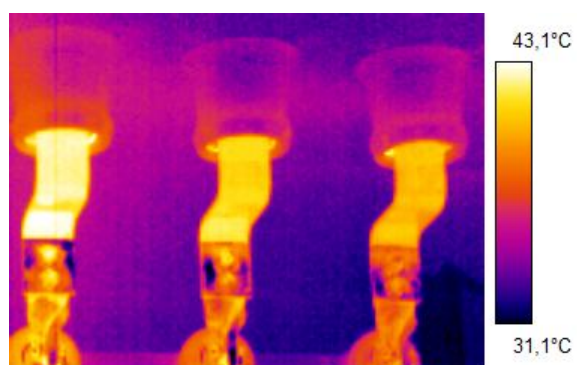


Abbildung 32: Zelle 22 Abgang

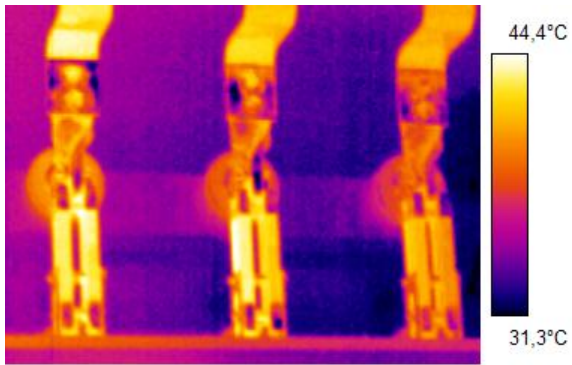


Abbildung 33: Zelle 22 Schalter

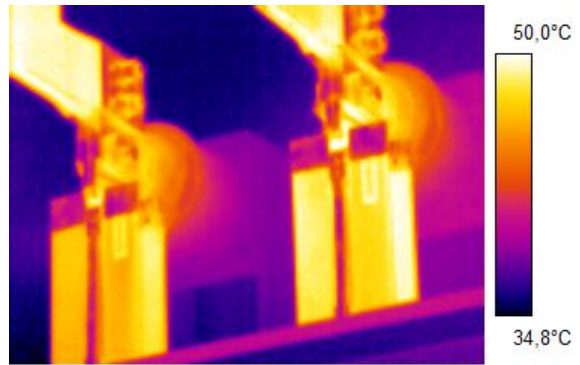


Abbildung 34: Zelle 24 Grp 4

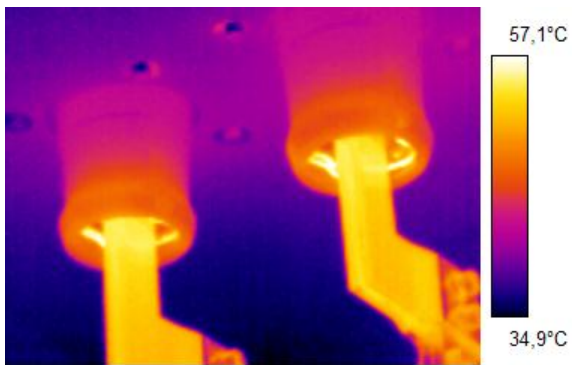


Abbildung 35: Zelle 24 Grp 4

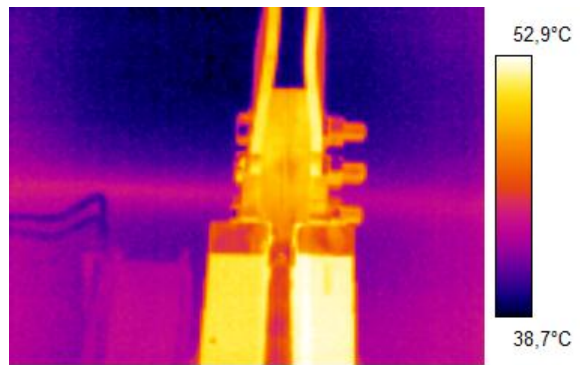


Abbildung 36: Zelle 66 Generator 6

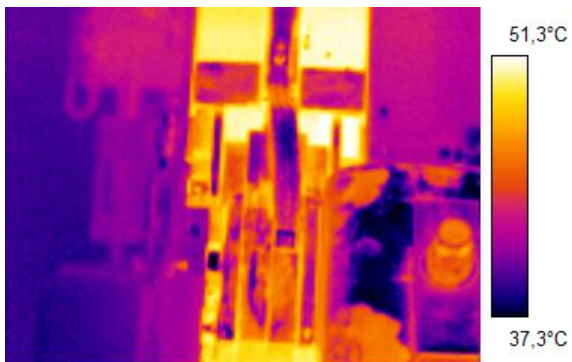


Abbildung 37: Zelle 66 Generator 6

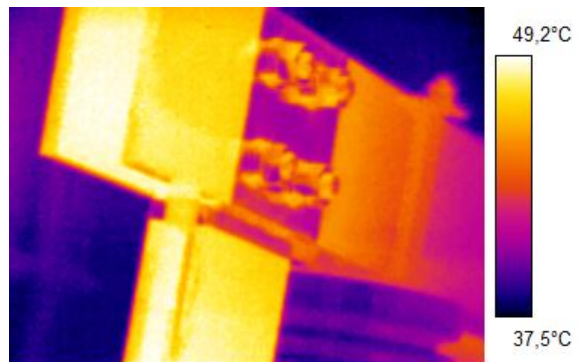


Abbildung 38: Zelle 66 Generator 6

HKW II

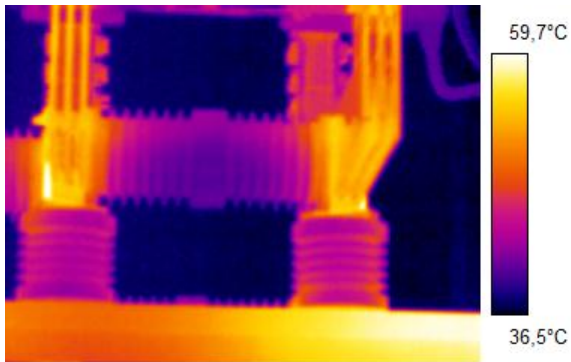


Abbildung 39: Zelle 3

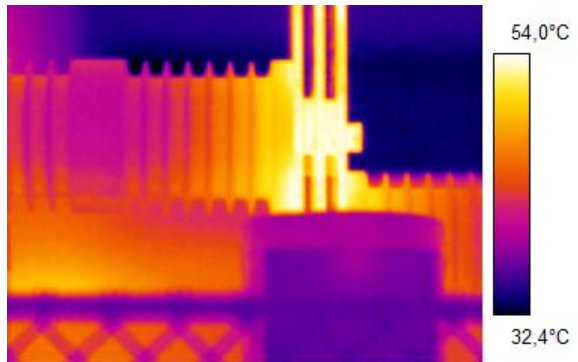


Abbildung 40: Zelle 3

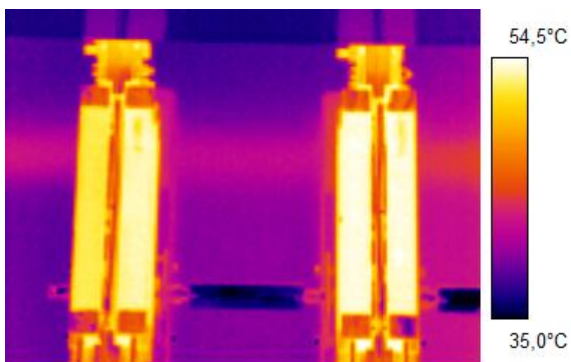


Abbildung 41: Zelle 3

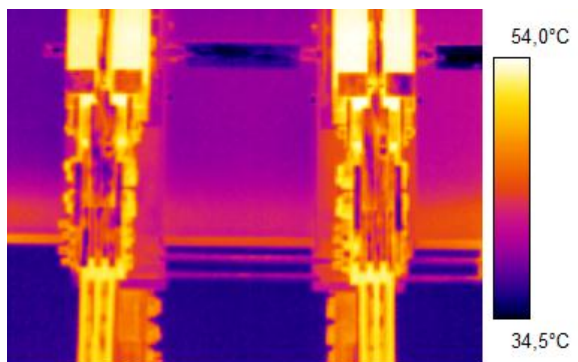


Abbildung 42: Zelle 3

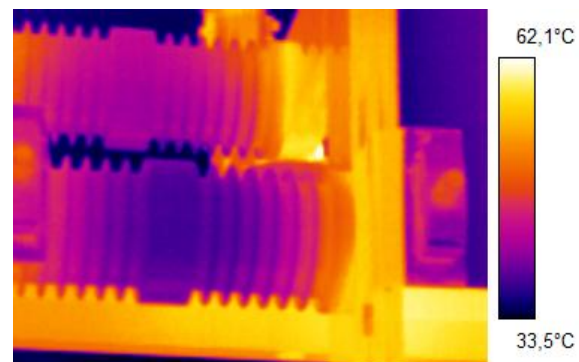


Abbildung 43: Zelle 3

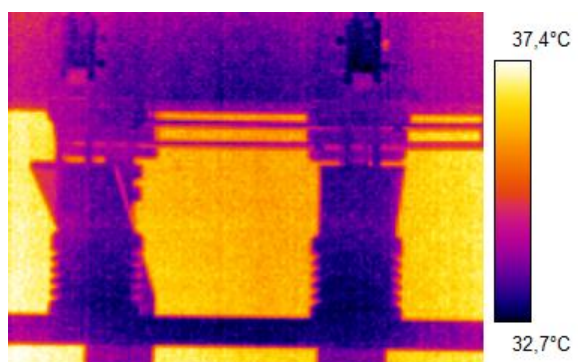


Abbildung 44: Zelle 5 Trafo

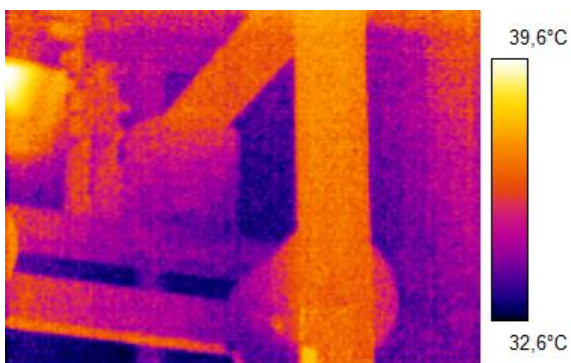


Abbildung 45: Zelle 6

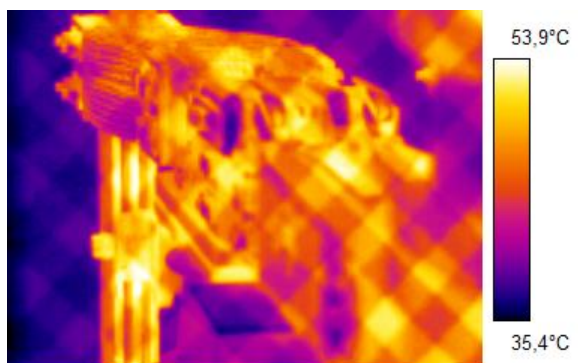


Abbildung 46: Zelle 20 Generator 9

5.5.5 Messergebnisse an den gekapselten Schaltanlagen

Es wurden keine Messungen an gekapselten Schaltanlagen durchgeführt, da durch den Aufbau keine Aussagen über den Isolationszustand bzw. Zustand der Komponenten getroffen werden kann.

5.5.6 Temperaturkorrektur

Allgemein bekannt, erhöht sich die Temperatur quadratisch mit der Stromsteigerung. Eine Berücksichtigung bzw. Korrektur unterschrittener Nennauslastungen an BM kann, wie am Rechenbeispiel ersichtlich an den offenen Schaltanlagen durchgeführt werden. Das Resultat beschreibt den maximalen Temperaturwert bei Nennbelastung.

$$\Delta T_{Nennlast} = (T_{IST} - T_{Umgebung}) * \left(\frac{I_{Nennlast}}{I_{Ist}} \right)^2$$

$$\Delta T_{Nennlast} = (50^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}) * \left(\frac{4000\text{A}}{3500\text{A}} \right)^2 = 26,1^{\circ}\text{C}$$

$$T_{Nennlast} = \Delta T_{Nennlast} + T_{Umgebung} = 56,1^{\circ}\text{C}$$

$\Delta T_{Nennlast}$... Temperatursteigerung bei Nennlast

T_{IST} ... gemessene Temperatur bei verminderter Belastung

I_{IST} ... gemessener Strom

$I_{Nennlast}$... Nennstrom

$T_{Umgebung}$... Umgebungstemperatur

6 Simulation in Neplan

Die Simulation und Nachbildung von Fehlerzuständen, sowie die Ermittlung des Auslastungszustandes der Betriebsmittel eines elektrischen Netzes, ist heutzutage zur Dimensionierung, Gefahrenstellenanalyse und Zuverlässigkeitsbeurteilung eine wichtige rechnergestützte Modellierung. Die Nachbildung der Netzstruktur in Neplan ist aufgeteilt in ein Übersichtsbild, welches alle Kraftwerke und Einspeiseeinheiten beinhaltet. Die Pläne für die SH der Produktionsstätten sind in eigenen Plänen, separiert vom Übersichtsbild, dargestellt. Die Einstellungen und Parametrierung der BM wurden mittels Fachliteratur und den vorhandenen Datenblättern durchgeführt. Der Schaltzustand wurde nach Rücksprache mit dem Fachpersonal auf einen IST-Schaltzustand, erhoben am 06.08.2012 um 13:00, festgelegt.

Es werden Simulationen für Netzzustände im ungestörten Schaltzustand und definierte BM-Ausfälle zur Betrachtung von Worst-Case-Szenarien durchgeführt. Vernachlässigt werden bei den Worst Cases definierte Schalthandlungen im Netz wie, automatischer Lastabwurf bei Unterspannung und automatische Umschaltungen. Bei Ergebnissen mit diesen Schalthandlungen wird darauf explizit hingewiesen.

Anhand der Simulationsergebnisse sollen zukünftige Lastflussoptimierungsvarianten aufgezeigt werden. Es wird der Ist-Zustand des elektrischen Netzes mit den ausgearbeiteten Optimierungsvorschlägen zur Erhöhung der Lebensdauergrenze und Betriebssicherheit verglichen. Die Lastflussoptimierungen sollen anhand einer Gegenüberstellung der Ergebnisse aus Einfach- und Mehrfachfehlerbetrachtungen Vorteile zur optimalen Lebensdauerausnutzung aufzeigen. Die Gefahrenstellenanalyse bezieht sich hier auf Einhaltung der max. Kurzschlussleistungen und den fließenden Kurzschlussströmen im Fehlerfalle.

Die Vorgehensweise einer Optimierungsermittlung enthält die folgende Schritte:

- IST-Analyse
- Ermittlung von Planungskriterien
- Lastprognose
- Entwicklung einer Optimierungsvariante
- Technisch-wirtschaftlicher Vergleich
- Zieldefinition [12]

6.1 Lastflussberechnung

Die Lastflussberechnung ist ein mathematische Verfahren zur Berechnung des Wirk- und Blindleistungsflusses eines elektrischen Netzes. Lastflusssimulationen eignen sich zur Überprüfung von:

- thermischen Grenzwerten,
- Spannungsgrenzwerten,
- der statischen Stabilität,
- der Betriebsmittelauslastung

sowie der Berechnung von den Netzverlusten.

Die mathematische Lösung eines Lastflussproblems hängt vom Netzaufbau, den Netzkomponenten und deren Wirk- bzw. Blindleistungsregelung ab. Je nach dem, eignen sich verschiedene Algorithmen zur Berechnung des Lastflusses in einem Netz. Die bekanntesten sind Varianten sind:

- DC-Lastfluss
- Stromiteration
- Newton Raphson

Bei der Lastflussberechnung muss eine quadratische nichtlineare Gleichung, durch ein geeignetes mathematisches Verfahren gelöst werden. Die Lösung wird numerisch in jedem Knoten, durch Annahme von Lösungswerten und schrittweiser (Iteration) Verringerung der Abweichung, ermittelt.

$$\underline{I} = \underline{Y} * \underline{U} \quad (1)$$

$$\underline{S} = \underline{U} * \underline{I}^* \quad (2)$$

$$\underline{S} = \underline{U}^2 * \underline{Y} \quad (3)$$

\underline{I} ... Vektor der Knoteneinspeiseströme

\underline{Y} ... Knotenadmittanzmatrix

\underline{U} ... Vektor der Knotenspannungen

\underline{S} ... Vektor der Knoteneinspeiseleistung

Die Berechnung nach dem Stromiterations-Verfahren eignet sich für Nieder- und Mittelspannungsebenen ohne PV-Knoten. Das Newton-Raphson-Verfahren ist vom Rechenaufwand deutlich anspruchsvoller und wird bei mehreren PV-Knoten, wie im OMV-Netzmodell, verwendet.

6.1.1 Newton-Raphson-Verfahren

Beginnend mit der Fehlergleichung, werden in allen Knoten i die Abweichungen zwischen Knotenvorgabe (P_i , Q_i) und dem berechneten Ergebnis ermittelt.

$$\Delta S_i = (P_i - jQ_i) - U_i * \sum_{k=1}^n Y_{ik}^* * U_k^* \quad (4)$$

ΔS_i ... Scheinleistungsabweichung im Knoten i

P_i ...Vorgabe der Wirkleistung

Q_i ...Vorgabe der Blindleistung

U_i ... Knotenspannung

Y_{ik} ... Knotenadmittanzmatrix

U_k ... Komplexe Spannung der Fehlergleichung

Die Lösung wird in mehreren Schritten berechnet und startet mit der Ermittlung der komplexen Spannung U_k , sodass die Scheinleistungsabweichung gleich Null wird. Danach werden alle Leistungsfehler zwischen der vergangenen Lösung und dem aktuellen Ergebnis gebildet.

$$\Delta \underline{S}_i = \underline{S}_{verg} - \underline{S}_{akt} \quad (5)$$

$\Delta \underline{S}_i$... Scheinleistungsabweichung

\underline{S}_{verg} ... Vorheriges Scheinleistungsergebnis

\underline{S}_{akt} ... aktuelles Scheinleistungsergebnis

Anschließend wird aufbauend an der Scheinleistungsabweichung, die Spannungsänderung ermittelt.

$$\Delta \underline{U} = \underline{J}^{-1} \Delta \underline{S} \quad (6)$$

$\Delta \underline{U}$... Spannungsänderung

\underline{J} ... Jakobi-Matrix

$\Delta \underline{S}$... Scheinleistungsabweichung

Im letzten Schritt werden die Knotenspannungen aufgrund der veränderten Abweichungen ermittelt.

$$\underline{U}_{akt} = \underline{U}_{verg} - \alpha * \Delta \underline{U} \quad (7)$$

\underline{U}_{akt} ... aktuelle Knotenspannung

\underline{U}_{verg} ... vorherige Knotenspannung

$\Delta \underline{U}$... Spannungsänderung

α ... Gewichtungsfaktor

Dieser Berechnungsvorgang wird mehrmals für alle i Knoten durchgeführt und mit unterschreiten einer definierten Schranke beendet [19].

6.2 Einzelfehlerbetrachtungen

Mittels der Einzelfehlerbetrachtungen wird im elektrischen Netz die (n-1)-Sicherheit überprüft. In Tabelle 22 sind die gewählten Verbindungszweige, Betriebsmittel und Erzeugereinheiten, deren Ausfallsauswirkungen später betrachtet werden, aufgelistet. In Tabelle 23 sind z.B. BM1 und alle im Abgang vorkommenden BM aufgelistet. In den Fehlerbetrachtungen wird davon ausgegangen, dass zumindest eines nicht in Betrieb ist.

Die Ergebnisse werden ohne Berücksichtigung möglicher Lastabwürfe, Umschaltungen bzw. Wirkleistungsnachregelung aufbereitet. In diesem Fall wird die Differenzleistung über UW-Schwechat und die Spannungsregelung über die Generatoren durchgeführt.

Tabelle 22: Fehlerzweigdefinition

Bezeichnung	Beschreibung
BM1	Verbindung zwischen HKW II (Grp9) und HKW I (Grp5)
BM2	Verbindung zwischen SH 110KV und HKW II (Grp8)
BM3	Verbindung zwischen SH 110kV und HKW II (Grp9)
BM4	Verbindung zwischen SH 110kV und HKW I (Grp3)
BM5	UW Schwechat
BM6	Erzeugereinheit Generator 6 (HKW I)
BM7	Erzeugereinheit Generator 8 (HKW II)
BM8	Erzeugereinheit Generator 9 (HKW II)
BM9	Verbindung zwischen HKW II (Grp.8) und HKW I (Grp. 5)

Tabelle 23: Liste der Betriebsmittel für die Betrachtung von Ausfällen

BM1	BM2	BM3	BM4	BM5	BM6	BM7	BM8	BM9
9/22	8/13	N31003B	E14	110/62	G6	G8	G9	8/5
30/B	N31003A	N31003B	N3121C	110/52				30/A
N3121B	N31003A	9/33						N3121
N31021B								N31021

6.3 Kombinationsausfälle

Die Betrachtungen von Einzelfehler nimmt in der Praxis, aufgrund der höheren Eintrittswahrscheinlichkeit und dem realistischen Aspekt, einen höheren Stellenwert ein, als die Mehrfachfehlerbetrachtung. Unter der Berücksichtigung der Lebensdauergrenzen einzelner BM und dem höheren Instandhaltungsaufwand, folgt die Betrachtung, dass ein BM in Revision ist und ein zusätzliches ausfällt. Die Ergebnisse sollen Risiken und Wichtigkeit der BM für einen stabilen Netzbetrieb hervorheben. Zusätzlich sind erhöhte Beanspruchungen, aufgrund ihrer lebensdauererweiternden Auswirkungen kritisch zu betrachten.

Zusammenfassend werden 36 Mehrfachfehler (MF) und 9 Einzelfehlerbetrachtungen (EZ) und deren Auswirkung auf die BM-Auslastung betrachtet. In den Mehrfachfehlerbetrachtungen werden alle 45 Ausfallkombinationen aufgelistet um die Auslastungszustände direkt miteinander vergleichen zu können. Die Ergebnisse sollen Aufschluss über die Netzstruktur, den Lastflussverteilungen und einen Aufschluss über die Priorität eines BM geben. Die Ergebnisse können in Zukunft bei Wartungsarbeiten/Ausfällen zur Unterstützung netzstabilisierender Maßnahmen oder bei Lastverlegungen verwendet werden.

Tabelle 24: Übersicht der Ausfallsszenarien

Kombinationsausfälle	BM1	BM2	BM3	BM4	BM5	BM6	BM7	BM8	BM9
BM1	EZ								
BM2	MF	EZ							
BM3	MF	MF	EZ						
BM4	MF	MF	MF	EZ					
BM5	MF	MF	MF	MF	EZ				
BM6	MF	MF	MF	MF	MF	EZ			
BM7	MF	MF	MF	MF	MF	MF	EZ		
BM8	MF	MF	MF	MF	MF	MF	MF	EZ	
BM9	MF	MF	MF	MF	MF	MF	MF	MF	EZ

6.4 Ist-Analyse für Ausfälle

In diesem Teil wird die IST-Analyse anhand des erhobenen ungestörten Schaltzustandes mit den definierten Einzel- und Mehrfachfehlern betrachtet. Diese Variante ist der Ausgangspunkt auf dem anschließend die Optimierungsvarianten aufbauen. Die Ergebnisse und Verbesserungen werden immer auf den Ausgangspunkt verglichen, der somit als Referenz dient. Für eine bessere Übersicht und der späteren Ergebniserläuterung ist ein vereinfachtes Netzübersichtsbild in Abbildung 47 dargestellt.

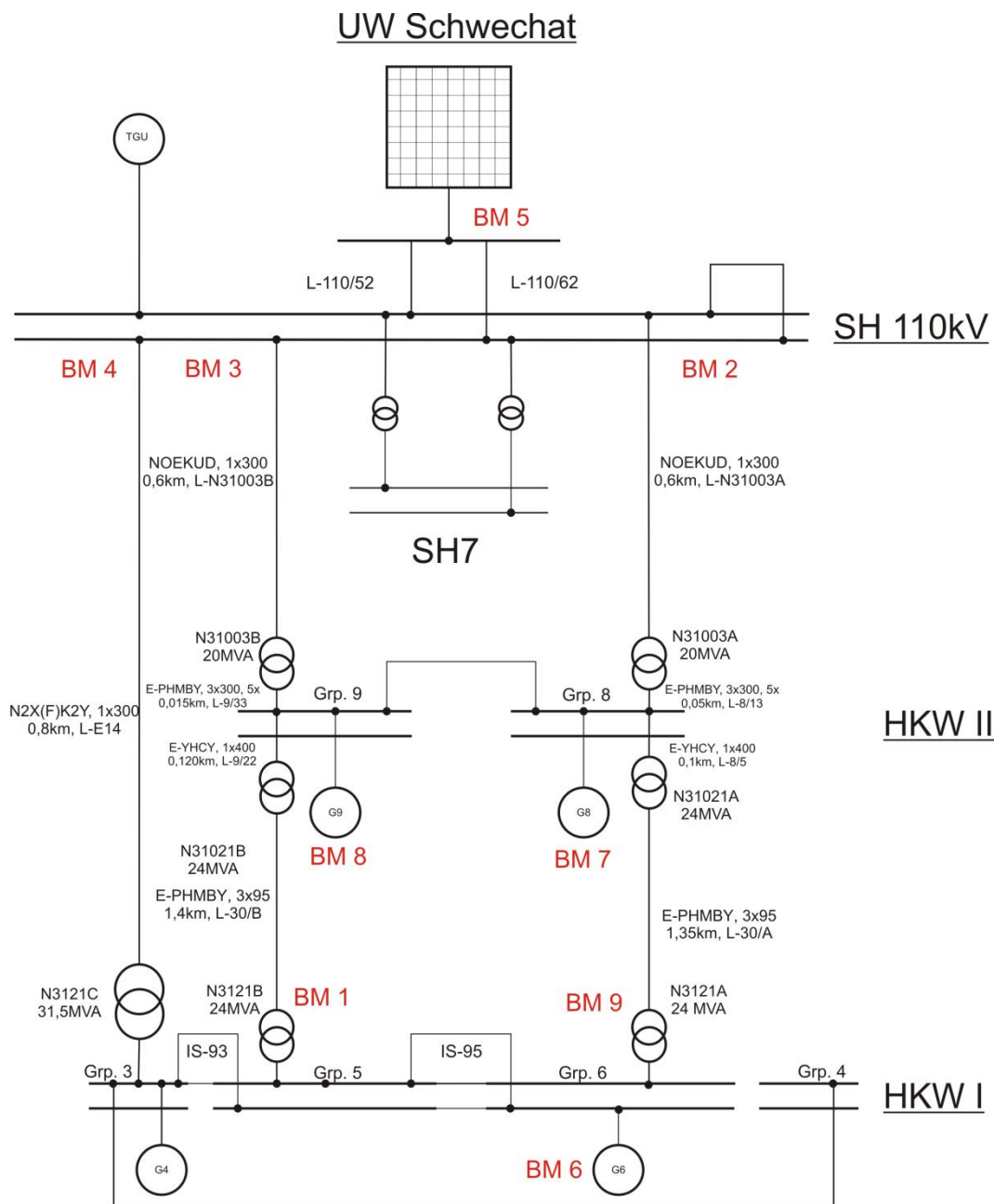


Abbildung 47: Übersichtsbild der Versorgungsstruktur

6.4.1 Simulationsergebnisse der Einzelfehlerbetrachtung

Tabelle 25: Trafoauslastung bei Einzelfehlerbetrachtung

	N3121C	N31003B	N31003A	N31021B	N31021A	N3121A	N3121B
	%	%	%	%	%	%	%
BM1	20,9	27,6	20,6	0,0	3,2	2,9	1,2
BM2	28,9	33,3	3,1	4,3	3,7	4,2	4,7
BM3	31,5	3,3	30,0	13,5	3,6	3,2	13,9
BM4	5,5	43,0	36,7	10,4	18,2	18,1	10,0
BM5	42,6	40,7	34,3	8,5	6,6	9,0	9,5
BM6	62,1	51,5	44,3	34,2	36,4	39,1	33,1
BM7	46,2	51,7	71,1	6,6	30,6	31,1	7,0
BM8	47,5	71,8	46,1	34,3	3,1	2,7	35,3
BM9	23,6	26,0	18,5	1,4	0,0	2,6	1,8
Normal	22,1	26,2	20,5	3,3	4,6	4,2	3,7

Die Tabelle 25 zeigt die Trafoauslastungen in Prozent, bezogen auf die Nennleistung des jeweiligen Transformators. Die höchsten Auslastungszustände ergeben sich beim Ausfall der größten Erzeugereinheiten BM6 (Generator 6) beim Transformator N3121C, BM7 (Generator 8) beim Transformator N31003A und in gleicherweise bei dessen „Parallelzweig“, durch den Ausfall von BM8 (Generator 9). Prinzipiell können die ölgekühlten Transformatoren lt. Norm IEC 60076-7 eine Beanspruchung von 109% über eine Dauer von 8h, bei einer Vorbelastung von 80%, betrieben werden.

Die Tabelle 26 beinhaltet die Leitungsauslastung in Prozent, bezogen auf den maximal erlaubten Dauerstrom. Besonders kritisch sind die Auslastungen der Leitungen 8/13, 9/33 zu betrachten, die bereits bei Einzelfehlerbetrachtungen eine hohe Auslastung verzeichnen. Es handelt sich dabei um die Verbindungskabel von den Transformatoren N31003A und N31003B (20MVA). Der maximal zulässige Dauerstrom wurde beim Kabeltyp PHMBY, 3x300 fünf systemig, bei der Kabelberechnung unter Berücksichtigung der Reduktionsfaktoren (0,7), auf 1,4kA ermittelt. Die Belastungen der Leitungen L8/13 und L9/33 sind zwar innerhalb des ausgelegten Betriebsbereiches, jedoch ist aufgrund der Materialbeanspruchung und der Lebensdauer verringering von solchen Auslastungen zu warnen.

Die Auslastung von IS93 und IS95 wurde auf den maximalen Betriebsstrom der Is-Begrenzer dimensioniert und durch Leitungen IS95 (2kA) und IS93 (2,5kA) im Simulationstool berücksichtigt. Eine dauerhafte Überschreitung des Betriebsstromes würde schlussendlich ein Auftrennen der Verbindung durch den Leistungsschalter bedeuten.

Tabelle 26: Leitungsauslastung bei Einzelfehlerbetrachtung

	GT1	E14	N31003A	N31003B	8/13	9/33	8/5	9/22	IS95	IS93	110/52	110/62
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
BM1	35,1	7,4	5,1	7,4	27,0	36,9	3,0	0,0	54,5	31,0	9,8	9,4
BM2	35,1	10,1	0,0	8,9	4,2	44,5	3,4	4,0	58,2	40,2	10,9	10,4
BM3	35,1	11,1	7,7	0,0	39,2	4,4	3,3	12,4	67,2	43,3	10,8	10,4
BM4	35,1	0,0	9,5	11,5	47,9	57,4	16,8	9,5	46,7	5,9	7,3	7,0
BM5	46,7	15,1	10,4	10,9	48,7	54,3	6,1	7,8	53,4	57,5	0,3	0,3
BM6	35,1	23,2	11,5	13,8	57,9	68,7	33,5	31,5	23,9	82,4	21,1	20,4
BM7	35,1	16,2	18,3	13,9	93,0	69,0	29,4	6,1	60,4	60,5	21,9	21,1
BM8	35,1	16,6	12,0	20,1	60,3	100,3	2,9	32,9	98,6	62,1	21,9	21,4
BM9	35,1	8,3	4,5	7,0	24,2	34,7	0,0	1,3	55,5	34,1	9,8	9,4
Normal	35,1	7,8	5,1	7,0	26,7	35,0	4,2	3,1	57,3	32,3	9,8	9,4

Die Knotenspannungen unterschreiten in keinem Schaltheus mehr als 10% von der Nennspannung. Aufgrund der Knotenspannungen kann in jedem einzelnen Fall von einem stabilen und sicheren Netzbetrieb ausgegangen werden.

6.4.2 Simulationsergebnisse der Mehrfachfehlerbetrachtung

Tabelle 27: Trafoauslastung bei Mehrfachfehlerbetrachtung

	N3121C	N31003B	N31003A	N31021B	N31021A	N3121A	N3121B
	%	%	%	%	%	%	%
BM1	20,9	27,6	20,6	0,0	3,2	2,9	1,2
BM1_2	27,5	35,4	3,1	0,0	5,6	6,2	1,2
BM1_3	28,8	3,3	34,0	0,1	4,4	4,8	1,2
BM1_4	5,5	40,7	39,4	0,0	26,6	26,6	1,2
BM1_5	40,4	44,2	36,5	0,0	10,3	13,0	1,2
BM1_6	70,3	44,8	44,1	0,0	52,4	55,4	1,0
BM1_7	43,9	54,8	71,5	0,0	32,5	33,2	1,2
BM1_8	37,3	85,9	48,0	0,0	10,6	11,3	1,2
BM2	28,9	33,3	3,1	4,3	3,7	4,2	4,7
BM2_3	50,4	3,3	3,1	21,4	12,0	12,7	21,8
BM2_4	5,5	78,5	3,1	19,0	8,7	8,4	18,6
BM2_5	50,5	51,9	3,1	11,7	9,7	12,3	12,6
BM2_6	76,3	69,7	3,1	33,3	30,6	33,7	32,3
BM2_7	69,6	78,2	2,7	10,7	56,0	60,2	11,3
BM2_8	64,3	88,0	3,1	36,7	17,3	18,1	37,9
BM3	31,5	3,3	30,0	13,5	3,6	3,2	13,9
BM3_4	5,5	3,3	80,3	0,5	30,4	30,6	1,5
BM3_5	52,4	3,3	45,4	18,3	8,3	10,8	18,9
BM3_6	79,3	3,3	66,0	33,4	34,9	37,6	32,6
BM3_7	66,3	3,3	91,0	28,1	32,5	33,1	28,4
BM3_8	72,6	2,8	74,4	60,5	3,5	6,1	64,1
BM4	5,5	43,0	36,7	10,4	18,2	18,1	10,0
BM4_5	5,5	63,5	53,3	10,1	18,6	18,5	9,7
BM4_6	4,5	99,0	90,7	70,5	75,3	78,4	64,5
BM4_7	5,5	89,6	105,7	22,5	25,3	24,5	22,1
BM4_8	5,5	105,9	83,9	23,9	32,7	32,9	23,9
BM5	42,6	40,7	34,3	8,5	6,6	9,0	9,5
BM5_6	52,8	53,2	44,7	43,1	46,4	54,1	39,9
BM5_7	42,6	40,7	34,3	8,5	6,6	9,0	9,5
BM5_8	72,6	65,9	57,0	43,8	2,4	2,1	46,2
BM6	62,1	51,5	44,3	34,2	36,4	39,1	33,1
BM6_7	86,9	79,2	104,6	37,4	5,2	7,4	35,7
BM6_8	88,3	99,2	74,6	10,9	41,9	46,0	11,4
BM7	46,2	51,7	71,1	6,6	30,6	31,1	7,0
BM7_8	70,8	100,7	109,5	39,5	35,2	38,4	41,4
BM8	47,5	71,8	46,1	34,3	3,1	2,7	35,3
BM9	23,6	26,0	18,5	1,4	0,0	2,6	1,8
BM9_1	22,7	26,8	19,0	0,0	0,0	2,6	1,2
BM9_2	28,0	34,5	0,1	6,6	0,0	2,6	7,0
BM9_3	32,6	3,3	28,3	11,9	0,0	2,6	12,3
BM9_4	5,5	48,8	31,5	26,4	0,0	2,6	26,0
BM9_5	41,4	41,1	33,8	10,3	0,0	2,6	11,3
BM9_6	72,5	51,5	33,0	51,2	0,0	2,4	47,8
BM9_7	37,7	53,3	87,9	17,8	0,0	2,6	18,2
BM9_8	37,7	53,3	87,9	17,8	0,0	2,6	18,2
Normal	22,1	26,2	20,5	3,3	4,6	4,2	3,7

Tabelle 28: Leitungsauslastung bei Mehrfachfehlerbetrachtung

	GT1	E14	N31003A	N31003B	8/13	9/33	8/5	9/22	IS95	IS93	110/52	110/62
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
BM1	35,1	7,4	5,1	7,4	27,0	36,9	3,0	0,0	54,5	30,99	9,84	9,41
BM1_2	35,1	9,7	0,0	9,5	4,2	47,2	5,2	0,0	54,67	38,6	10,94	10,46
BM1_3	35,5	10,4	8,9	0,9	44,4	4,4	3,9	0,0	56,89	40,17	8,12	7,47
BM1_4	35,1	0,0	10,2	10,9	51,5	54,4	24,4	0,0	52,09	5,91	7,3	6,98
BM1_5	45,0	14,5	11,2	11,8	52,2	59,0	9,5	0,0	54,15	55,26	0	0
BM1_6	35,1	27,0	11,4	12,0	57,7	59,8	48,2	0,0	49,54	94,76	21,71	20,96
BM1_7	35,1	15,4	18,4	14,7	93,5	73,2	31,2	0,0	55,07	57,79	21,86	21,06
BM1_8	35,1	13,1	12,5	24,7	62,7	123,2	9,8	0,0	64,18	50,14	21,3	20,59
BM2	35,1	10,1	0,0	8,9	4,2	44,5	3,4	4,0	58,19	40,2	10,92	10,44
BM2_3	35,1	17,6	0,0	0,0	4,2	4,4	11,1	19,7	73,9	65,14	12,54	11,2
BM2_4	35,1	0,0	0,0	21,0	4,2	104,8	8,0	17,4	42,39	6,03	8,41	7,17
BM2_5	43,3	18,0	0,0	13,9	4,2	69,2	8,9	10,8	50,76	67,09	0,77	0,77
BM2_6	35,1	28,4	0,0	18,7	4,2	93,0	28,2	30,7	27,01	100,63	21	20,45
BM2_7	35,1	24,5	0,0	20,9	3,9	104,3	55,2	9,8	62,32	88,32	22,83	22,2
BM2_8	35,1	22,5	0,0	24,7	4,2	122,9	15,9	35,3	103,04	81,8	21,72	21,14
BM3	35,1	11,1	7,7	0,0	39,2	4,4	3,3	12,4	67,23	43,31	10,84	10,37
BM3_4	35,1	0,0	21,0	0,0	105,0	4,4	28,0	0,4	54,13	5,88	8,11	7,41
BM3_5	43,3	18,6	13,7	0,0	65,4	4,4	7,6	16,8	61,27	69,43	0,52	0,52
BM3_6	35,1	29,5	17,2	0,0	86,3	4,4	32,1	30,7	51,26	104,39	21,12	20,36
BM3_7	35,1	23,2	23,6	0,0	119,1	4,4	31,2	25,8	83,15	84,12	21,94	21,07
BM3_8	35,1	25,7	19,4	0,0	97,3	4,1	3,2	59,9	137,27	92,23	22,64	21,78
BM4	35,1	0,0	9,5	11,5	47,9	57,4	16,8	9,5	46,73	5,91	7,32	6,99
BM4_5	40,9	0,0	16,2	17,0	78,0	84,7	17,1	9,3	46,45	5,96	0,43	0,43
BM4_6	35,1	0,0	23,7	26,5	118,7	132,2	69,4	65,0	31,66	6,99	22,42	21,52
BM4_7	35,1	0,0	27,5	24,0	138,3	119,6	24,3	20,7	41,8	5,91	21,83	20,91
BM4_8	35,1	0,0	21,9	29,6	109,7	147,7	30,0	23,0	79,13	5,91	21,74	20,89
BM5	46,7	15,1	10,4	10,9	48,7	54,3	6,1	7,8	53,43	57,45	0,28	0,28
BM5_6	65,3	22,7	14,2	15,8	69,2	78,7	47,1	44,0	31,01	84,36	0,34	0,34
BM5_7	46,7	15,1	10,4	10,9	48,7	54,3	6,1	7,8	53,43	57,45	0,28	0,28
BM5_8	72,9	25,4	17,0	19,0	82,5	94,5	2,3	43,2	113,83	92,42	0,39	0,39
BM6	35,1	23,2	11,5	13,8	57,9	68,7	33,5	31,5	23,86	82,42	21,12	20,42
BM6_7	35,1	33,8	27,0	21,8	137,0	108,9	5,3	35,4	29,86	118,31	48,9	46,65
BM6_8	35,1	34,4	19,3	29,4	97,6	146,6	39,6	11,1	68,25	120,58	49,23	47,07
BM7	35,1	16,2	18,3	13,9	93,0	69,0	29,4	6,1	60,38	60,48	21,86	21,06
BM7_8	35,1	26,1	28,3	30,1	143,4	150,2	36,1	40,5	112,82	93,05	49,28	46,99
BM8	35,1	16,6	12,0	20,1	60,3	100,3	2,9	32,9	98,57	62,1	21,85	21,38
BM9	35,1	8,3	4,5	7,0	24,2	34,7	0,0	1,3	55,54	34,08	9,79	9,37
BM9_1	35,1	8,0	4,6	7,2	24,7	35,8	0,0	0,0	54,24	33,07	9,8	9,38
BM9_2	35,1	9,9	0,8	9,2	0,0	46,0	0,0	6,0	60,31	39,23	11,61	11,09
BM9_3	35,1	11,5	7,2	0,9	37,0	4,4	0,0	11,0	65,65	44,6	10,82	10,35
BM9_4	35,1	1,9	8,1	13,1	41,1	65,2	0,0	24,3	41,41	5,91	7,25	6,93
BM9_5	46,3	14,8	10,3	11,0	48,1	54,9	0,0	9,5	50,18	56,47	0,28	0,28
BM9_6	35,1	27,8	8,5	13,8	43,1	68,7	0,0	47,1	20,55	97,64	21,71	20,99
BM9_7	35,1	13,2	22,7	14,3	115,1	71,2	0,0	16,4	71,87	50,55	21,44	20,61
BM9_8	35,1	13,2	22,7	14,3	115,1	71,2	0,0	16,4	71,87	50,55	21,44	20,61
Normal	35,1	7,8	5,1	7,0	26,7	35,0	4,2	3,1	57,28	32,3	9,82	9,4

Aus den Simulationsergebnissen der IST-Analyse wurde die Wichtigkeit des Transformators N3121C bei Ausfällen von Erzeugereinheiten in HKW I bzw. HKW II ersichtlich. Diese Verbindung ist enorm wichtig für den akkuraten Betrieb bei Ausfällen bzw. Revisionsarbeiten an den Erzeugereinheiten G8, G9 und G6.

Eine Engstelle ist bei der 6kV Kabeleinführung (L8/13, L9/33) in HKW II bei Lastflussverschiebungen erkennbar. Das leistungstechnisch völlig ausgereizte HKW II ist bei Erzeugerausfällen größtenteils auf die Verbindung zu SH 110kV angewiesen. Aufgrund des Querschnittes und der vorhandenen Wärmekapazität ist eine kurzzeitige Überbeanspruchung, abhängig von der Vorbelastung und Stromhöhe, möglich. Die Spannungsregelung erfolgt im Fehlerfalle durch die Generatoren und zusätzlich durch die in der Verbindung SH 110kV und HKW II vorhandenen Längsreglertransformatoren. Auch das Wirkleistungsdefizit wird über diesen Zweig vom externen Anschluss an UW-Schwechat bezogen.

Bei Ausfällen und der folgenden Lastflussverschiebungen ergeben sich Überschreitungen des maximal zulässigen Betriebsstromes der Is-Begrenzer. Der IS93 mit 2,5kA ist für die maximale Ausreizung des Transformators N3121C (31,5MVA) zu gering dimensioniert. Eine Erhöhung des maximalen Betriebsstromes (IS93) würde die durch den Ausfall von Generator 5, geschwächte SS 5/2 stärkend unterstützen und eine volle Ausnutzung des Transformators N3121C ermöglichen.

Im HKW I ist die Kupplung von Grp. 6/2 zu Grp 5/1 über den Is95 bei Ausfällen von Generator 9 in vier von acht Fällen über 100% belastet. Generell wird die Wichtigkeit dieser Verbindung durch den Ausfall von Generator 5 sichtbar. Ebenso ist beim Is95 eine dauerhaft hohe Auslastung erkennbar und müsste ohne Lastverlegungen, Einspeiserhöhungen und zum Vorbehalt einer gewissen Übertragungskapazität, speziell für Grp 9. im HKW II, höher ausgelegt werden.

6.5 Optimierungsvariante 1

Der dauerhafte Ausfall von Generator 5 im HKW I bedingt eine Lastflussverschiebung im Netz, da er neben G6, G8 und G9 zu den größten Erzeugern gehört. Angesichts der Tatsache, dass im HKW I Grp. 5 ohne Erzeugereinheit betrieben wird und Grp. 5 bzw. Grp. 6 bereits beide Sammelschienen des Doppelsammelschienensystem in Verwendung sind, wird eine Verbraucherverlegung des G600 (4,3MVA), G600A (5,5MVA) und G5501 (6MVA) in das dafür vorgesehene SH 7 betrachtet.

6.5.1 Simulationsergebnisse der Einzelfehlerbetrachtung

Tabelle 29: Trafoauslastung bei Einzelfehlerbetrachtung

	N3121C	N31003B	N31003A	N31021B	N31021A	N3121A	N3121B
	%	%	%	%	%	%	%
BM1	4,5	20,9	10,6	0,0	7,3	7,8	1,2
BM2	11,0	20,1	3,2	10,6	7,0	7,5	10,9
BM3	13,5	3,4	16,4	16,7	3,6	4,0	17,1
BM4	5,5	21,7	15,4	5,8	2,2	1,9	6,1
BM5	45,4	41,9	36,5	11,0	3,5	4,2	11,3
BM6	47,3	41,2	33,6	23,1	26,3	28,7	23,7
BM7	31,3	42,5	60,5	13,7	37,5	38,6	14,0
BM8	33,2	62,3	36,2	40,6	4,8	5,2	41,2
BM9	6,6	16,4	11,5	11,5	0,0	2,6	11,8
Normal	7,6	16,3	10,1	10,2	3,0	3,4	10,5

Verglichen mit den Ergebnissen der IST-Analyse wird die für HKW I wichtige Verbindung über den Transformator N3121C entlastet und somit eine Leistungsreserve für unzulässige Schaltzustände vorbehalten. Eine gleichmäßige Verteilung des Lastflusses ist bei den Erzeugereinheitenausfällen (BM6, 7, 8) an den Transformatorauslastung N31003B, N31003A, N31021B und N31021A ersichtlich.

Tabelle 30: Leitungsauslastung bei Einzelfehlerbetrachtung

	GT1	E14	N31003A	N31003B	8/13	9/33	8/5	9/22	IS95	IS93	110/52	110/62
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
BM1	35,1	1,6	2,7	5,5	14,0	27,9	6,7	0,0	55,7	42,8	6,3	6,0
BM2	35,1	3,9	0,0	5,3	4,3	26,9	6,5	9,8	64,5	50,7	6,2	5,9
BM3	35,1	4,8	4,2	0,0	21,7	4,5	3,3	15,4	70,8	53,5	6,1	5,9
BM4	35,1	0,0	4,0	5,7	20,3	28,9	2,0	5,3	59,7	43,1	3,9	3,7
BM5	45,8	15,9	11,2	11,1	52,8	55,9	3,2	10,1	64,5	58,0	0,3	0,3
BM6	35,1	17,3	8,8	10,9	44,5	55,0	24,1	21,3	33,5	99,9	21,2	20,4
BM7	35,1	11,0	15,6	11,2	80,2	56,7	36,0	12,6	67,6	73,8	21,4	20,6
BM8	35,1	11,6	9,5	17,3	47,9	87,3	4,4	39,1	107,2	74,9	21,4	20,9
BM9	35,1	2,4	2,9	4,4	15,1	21,9	0,0	10,5	65,3	45,5	6,3	6,0
Normal	35,1	1,0	4,0	6,2	20,4	31,0	0,0	0,0	56,5	37,7	6,3	6,0

Die Ergebnisse zeigen eine 13% Entlastung der Leitung 8/13 und 9/33, die einer Stromflussverringerung um die 180A entsprechen. Wird der quadratische Zusammenhang zwischen Verlustleistung und Stromstärke betrachtet, Lebensdauer- und Lebensdauererweiterungen der Betriebsmittel und die generelle Problematik des 6kV Netzes, sind solche Maßnahmen zur Stromstärkeverringerungen ratsam.

Bei den Ergebnissen wurde keine Nachregelung der Erzeugereinheiten im HKW I berücksichtigt. Durch die fehlenden Leistungsverbraucher ergeben sich bei IS93 bzw. IS95 um 17% bzw. 10% höhere Auslastungen als im realen ungestörten Schaltzustand.

6.5.2 Simulationsergebnisse der Mehrfachfehlerbetrachtung

Tabelle 31: Trafoauslastung bei Mehrfachfehlerbetrachtung

	N3121C	N31003B	N31003A	N31021B	N31021A	N3121A	N3121B
	%	%	%	%	%	%	%
BM1	4,5	20,9	10,6	0,0	7,3	7,8	1,2
BM1_2	7,8	25,2	3,2	0,0	11,9	12,5	1,2
BM1_3	10,4	3,4	21,3	0,1	13,0	13,4	1,2
BM1_4	5,5	23,3	14,0	0,0	3,2	3,6	1,2
BM1_5	45,7	46,2	38,4	0,0	8,7	9,7	1,2
BM1_6	52,2	37,5	33,4	0,0	36,8	39,5	1,1
BM1_7	26,7	48,9	61,2	0,0	42,0	43,6	1,2
BM1_8	20,6	79,7	38,5	0,0	21,0	21,8	1,2
BM2	11,0	20,1	3,2	10,6	7,0	7,5	10,9
BM2_3	24,3	3,4	3,2	21,2	12,2	12,8	21,6
BM2_4	5,5	37,3	3,2	2,1	2,6	3,0	2,7
BM2_5	52,0	51,0	3,2	12,4	7,8	9,4	13,0
BM2_6	58,8	55,2	3,2	22,9	22,1	25,1	23,4
BM2_7	52,0	65,1	2,8	16,6	60,7	64,8	16,9
BM2_8	46,2	75,3	3,2	42,4	20,9	21,7	43,1
BM3	13,5	3,4	16,4	16,7	3,6	4,0	17,1
BM3_4	5,5	3,4	37,7	11,6	8,4	8,2	11,9
BM3_5	53,0	3,4	44,7	18,0	4,4	6,4	18,5
BM3_6	61,6	3,4	50,8	24,8	25,0	27,5	25,5
BM3_7	47,8	3,4	76,8	31,4	39,0	40,3	31,8
BM3_8	55,5	3,0	60,6	64,5	7,2	7,7	66,7
BM4	5,5	21,7	15,4	5,8	2,2	1,9	6,1
BM4_5	5,5	58,7	50,1	6,0	2,5	2,2	6,5
BM4_6	4,8	77,6	69,0	46,7	54,1	56,5	45,7
BM4_7	5,5	68,1	83,8	5,7	27,3	26,9	5,4
BM4_8	5,5	85,4	62,1	28,6	16,1	16,0	28,5
BM5	45,4	41,9	36,5	11,0	3,5	4,2	11,3
BM5_6	40,5	49,4	41,1	34,2	37,5	43,6	33,8
BM5_7	45,4	41,9	36,5	11,0	3,5	4,2	11,4
BM5_8	65,4	58,2	55,8	49,8	5,6	6,1	51,2
BM6	47,3	41,2	33,6	23,1	26,3	28,7	23,7
BM6_7	71,9	68,5	90,0	29,4	12,5	13,4	29,7
BM6_8	73,3	87,9	61,8	17,2	33,1	36,6	17,3
BM7	31,3	42,5	60,5	13,7	37,5	38,6	14,0
BM7_8	55,5	91,3	97,0	47,0	43,7	47,1	48,2
BM8	33,2	62,3	36,2	40,6	4,8	5,2	41,2
BM9	6,6	16,4	11,5	11,5	0,0	2,6	11,8
BM9_1	2,9	23,3	15,5	0,0	0,0	2,6	1,2
BM9_2	9,5	22,4	0,1	15,0	0,0	2,6	15,4
BM9_3	12,3	3,4	18,3	18,4	0,0	2,6	18,8
BM9_4	5,5	22,4	15,0	4,3	0,0	2,6	4,7
BM9_5	45,5	41,9	36,9	12,6	0,0	2,6	13,0
BM9_6	54,5	41,1	25,9	34,9	0,0	2,5	33,7
BM9_7	20,5	44,5	81,2	28,1	0,0	2,6	28,4
BM9_8	20,5	44,5	81,2	28,1	0,0	2,6	28,4
Normal	7,6	16,3	10,1	10,2	3,0	3,4	10,5

Tabelle 32: Leitungsauslastung bei Mehrfachfehlerbetrachtung

	GT1	E14	N31003A	N31003B	8/13	9/33	8/5	9/22	IS95	IS93	110/52	110/62
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
BM1	35,1	1,6	2,7	5,5	14,0	27,9	6,7	0,0	55,7	42,8	6,3	6,0
BM1_2	35,1	2,8	0,0	6,7	4,3	33,7	11,0	0,0	55,8	46,9	6,2	6,0
BM1_3	35,5	4,5	5,6	0,9	28,2	4,5	11,8	0,0	57,6	49,9	3,6	3,1
BM1_4	35,1	0,0	3,6	6,2	18,5	31,1	2,9	0,0	55,2	43,1	3,8	3,6
BM1_5	44,6	16,0	11,8	12,2	55,8	61,7	8,0	0,0	55,8	55,5	0,0	0,0
BM1_6	35,1	19,4	8,7	9,9	44,1	50,0	33,8	0,0	51,2	108,2	21,4	20,6
BM1_7	35,1	9,4	15,8	13,0	81,1	65,3	40,3	0,0	56,3	68,5	21,4	20,6
BM1_8	35,1	7,3	10,1	22,8	50,9	114,9	19,3	0,0	65,8	61,6	21,4	20,6
BM2	35,1	3,9	0,0	5,3	4,3	26,9	6,5	9,8	64,5	50,7	6,2	5,9
BM2_3	35,1	8,5	0,0	0,0	4,3	4,5	11,2	19,5	74,5	64,7	6,8	5,9
BM2_4	35,1	0,0	0,0	9,9	4,3	49,7	2,4	1,9	55,5	42,9	4,1	3,2
BM2_5	42,0	18,3	0,0	13,5	4,3	68,0	7,2	11,4	61,0	65,6	0,7	0,7
BM2_6	35,1	21,5	0,0	14,6	4,3	73,7	20,3	21,0	35,5	113,7	21,2	20,5
BM2_7	35,1	18,2	0,0	17,2	4,0	86,9	59,4	15,3	70,7	97,6	21,9	21,2
BM2_8	35,1	16,2	0,0	20,9	4,3	105,5	19,2	40,8	110,5	91,0	21,3	20,7
BM3	35,1	4,8	4,2	0,0	21,7	4,5	3,3	15,4	70,8	53,5	6,1	5,9
BM3_4	35,1	0,0	9,9	0,0	49,9	4,5	7,7	10,6	64,8	42,8	3,9	3,3
BM3_5	42,0	18,6	13,7	0,0	65,8	4,5	4,1	16,6	67,5	68,0	0,5	0,5
BM3_6	35,1	22,5	13,3	0,0	67,3	4,5	23,0	22,8	54,6	116,9	21,2	20,4
BM3_7	35,1	16,8	19,9	0,0	101,7	4,5	37,5	28,9	87,2	92,8	21,5	20,6
BM3_8	35,1	19,5	15,9	0,0	80,2	4,2	6,6	63,4	141,7	101,7	22,1	21,2
BM4	35,1	0,0	4,0	5,7	20,3	28,9	2,0	5,3	59,7	43,1	3,9	3,7
BM4_5	39,1	0,0	15,5	15,5	74,9	78,4	2,3	5,6	59,3	42,9	0,4	0,4
BM4_6	35,1	0,0	18,1	20,5	91,4	103,5	49,8	43,0	3,1	46,0	21,5	20,7
BM4_7	35,1	0,0	21,7	18,0	111,0	90,9	26,3	5,2	49,8	43,1	21,7	20,7
BM4_8	35,1	0,0	16,3	23,7	82,3	119,5	14,8	27,5	91,4	43,1	21,6	20,8
BM5	45,8	15,9	11,2	11,1	52,8	55,9	3,2	10,1	64,5	58,0	0,3	0,3
BM5_6	65,5	16,7	13,2	14,2	64,0	71,8	37,4	34,2	36,7	100,3	0,3	0,3
BM5_7	45,8	15,9	11,2	11,1	52,8	55,9	3,2	10,1	64,5	58,0	0,3	0,3
BM5_8	72,1	22,9	16,9	16,6	82,4	83,9	5,2	49,3	122,4	90,8	0,4	0,4
BM6	35,1	17,3	8,8	10,9	44,5	55,0	24,1	21,3	33,5	99,9	21,2	20,4
BM6_7	35,1	27,2	23,2	18,5	119,3	93,2	12,5	27,6	37,9	135,2	47,6	45,4
BM6_8	35,1	27,8	16,1	25,4	81,8	128,2	31,0	17,3	79,7	137,3	47,7	45,6
BM7	35,1	11,0	15,6	11,2	80,2	56,7	36,0	12,6	67,6	73,8	21,4	20,6
BM7_8	35,1	20,0	25,0	26,8	127,1	133,6	43,9	47,3	120,9	107,1	48,7	46,4
BM8	35,1	11,6	9,5	17,3	47,9	87,3	4,4	39,1	107,2	74,9	21,4	20,9
BM9	35,1	2,4	2,9	4,4	15,1	21,9	0,0	10,5	65,3	45,5	6,3	6,0
BM9_1	35,1	1,0	4,0	6,2	20,4	31,0	0,0	0,0	56,5	37,7	6,3	6,0
BM9_2	35,1	3,4	0,8	5,9	0,0	29,9	0,0	13,8	69,0	48,9	6,9	6,6
BM9_3	35,1	4,4	4,7	0,9	24,1	4,5	0,0	16,9	72,6	52,1	6,2	5,9
BM9_4	35,1	1,9	3,9	5,9	19,8	29,9	0,0	3,9	58,2	43,1	3,8	3,6
BM9_5	45,9	15,9	11,3	11,1	53,4	55,9	0,0	11,6	66,5	57,1	0,3	0,3
BM9_6	35,1	20,3	6,8	10,9	34,3	54,9	0,0	32,1	23,7	111,2	21,5	20,7
BM9_7	35,1	7,2	20,9	11,8	107,6	59,4	0,0	25,8	83,4	61,5	21,5	20,6
BM9_8	35,1	7,2	20,9	11,8	107,6	59,4	0,0	25,8	83,4	61,5	21,5	20,6
Normal	35,1	2,7	2,5	4,3	13,3	21,7	2,7	9,4	64,0	46,6	6,2	6,0

Die Ergebnisse zeigen bei den Transformatoren, dass die berücksichtigte Verbraucherverlegung bei allen Ausfallsszenarien die Einhaltung der Nennbetriebsbereiche erfüllt.

Die 6kV Leitungen 8/13 und 9/33 Leitungen ($I_{\max} = 1,4\text{kA}$) überschreiten bei Ausfallsszenario BM7_8 mit 127% bzw. 133% ihre Nennbelastung. Zur Relativierung des Ergebnisses muss die mögliche thermische Wärmekapazität des Kabel berücksichtigt werden. Bei einer solchen dauerhaften Beanspruchung würden garantiert unzulässige Temperaturüberschreitungen auftreten, die durch die verminderte Wärmeabgabe bei der freien Verlegeart des Kabels zu erklären ist. Es ist dennoch aufgrund des Querschnittes und der vorhandenen Wärmekapazität eine kurzzeitige Überbeanspruchung, abhängig von der Vorbelastung und Stromhöhe, möglich.

Zusammenfassend ergibt Optimierungsvariante 1 eine enorm wichtige Reduktion der maximal auftretenden Auslastungen der BM, das auf eine gleichmäßigere Lastflussaufteilung schließen lässt. Die reduzierte Leistungsabnahme in Grp. 3/1 und Grp. 4/1 erhöht die Auslastungen der Is-Begrenzer. Um die höhere Leistungskapazität im HKW I zur Sicherheit bei BM-Ausfällen völlig nutzen zu können, ist eine Neudimensionierung der Is-Begrenzer sinnvoll.

6.6 Optimierungsvariante 2

Basierend auf den Ergebnissen der IST-Analyse wurde eine Entlastung der Grp. 3 und der Transformatoren N31003A und N31003B forciert. Es entstand die Idee einer neuen Verbindung zwischen SH 110kV und HKW I (Grp. 6). Die zusätzliche Verbindung wurde über ein 1km langes N2X(F)K2Y, 1x300mm² (110kV, L-E15), einem 24MVA Transformator(110kV/6kV, T-N3121D) mit $u_k=19\%$ und einer 6kV Dureska Schiene festgelegt. Zusätzlich wurde eine Umlegung der Verbindung SH 110kV zu HKW I von Gruppe 3 auf Gruppe 5, berücksichtigt. Die durchgeführten Änderungen sind in Abbildung 48 rot hervorgehoben.

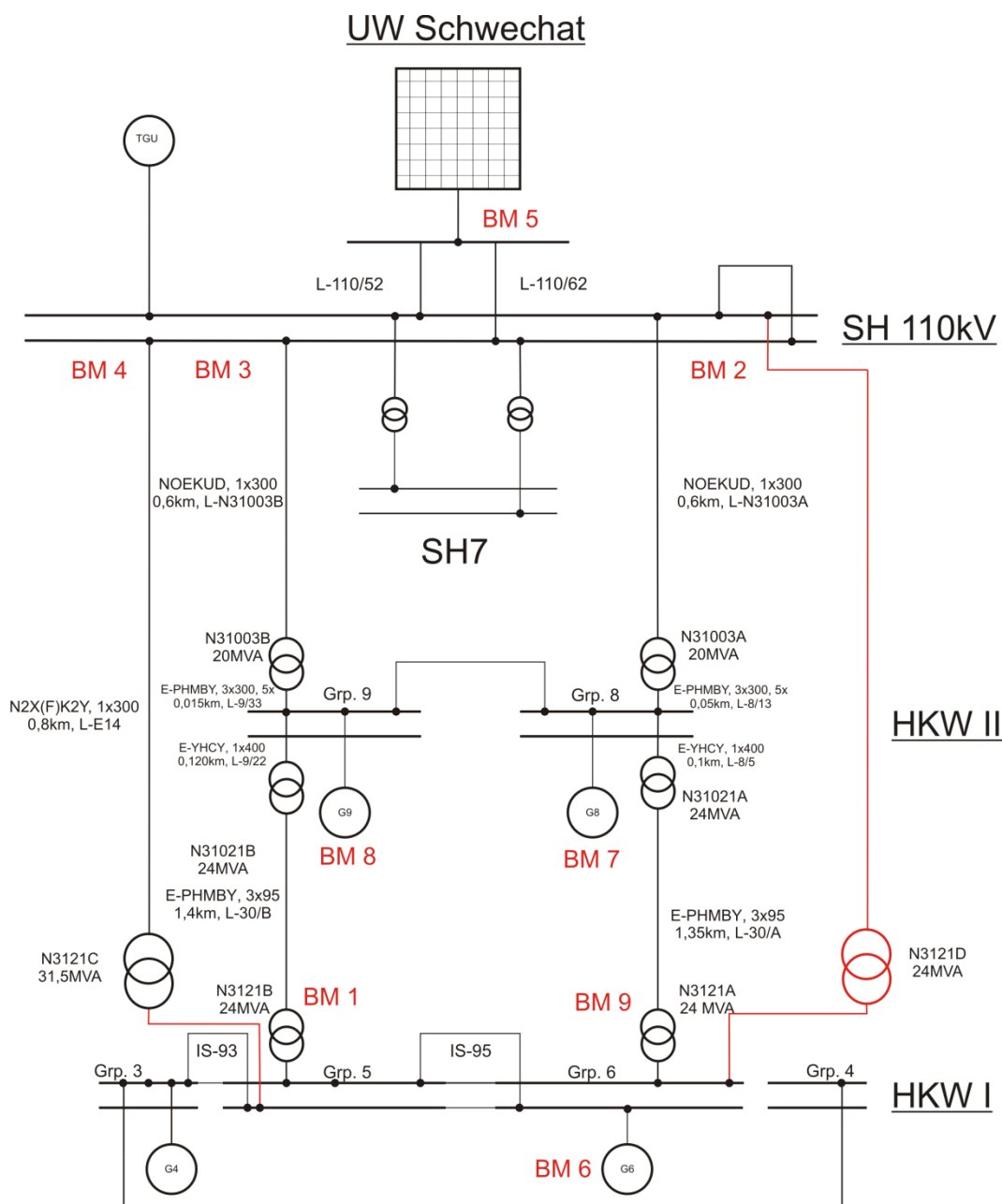


Abbildung 48: Übersichtsbild der Optimierungsvariante 2

6.6.1 Simulationsergebnisse der Einzelfehlerbetrachtung

Tabelle 33 Trafoauslastung bei Einzelfehlerbetrachtung

	N3121C	N31003B	N31003A	N31021B	N31021A	N3121A	N3121B	N3121D
	%	%	%	%	%	%	%	%
BM1	14,2	24,2	15,4	0,0	1,8	2,2	1,2	10,8
BM2	19,1	25,6	3,2	7,9	5,6	6,1	8,1	14,6
BM3	20,7	3,4	21,2	15,5	1,4	1,7	15,8	15,8
BM4	5,5	27,0	20,5	2,0	6,1	5,8	2,2	19,7
BM5	29,7	37,7	31,9	14,4	11,0	13,8	15,3	21,5
BM6	44,8	39,4	31,8	24,7	27,1	29,7	25,2	35,6
BM7	32,2	43,0	61,0	13,3	37,2	38,3	13,6	24,5
BM8	33,2	62,7	36,7	40,5	4,3	4,8	41,2	24,9
BM9	15,8	20,9	14,1	6,1	0,0	2,6	6,5	12,0
Normal	15,6	21,2	14,7	6,6	1,6	1,6	6,9	11,9

Tabelle 34: Leitungsauslastung bei Einzelfehlerbetrachtung

	GT1	E14	N31003A	N31003B	8/13	9/33	8/5	9/22	IS95	IS93	110/52	110/62	E15
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
BM1	35,1	5,0	4,0	6,4	20,3	32,4	1,7	0,0	45,4	7,0	14,9	14,2	3,8
BM2	35,1	6,7	0,0	6,8	4,3	34,1	5,2	7,2	46,9	7,0	14,7	14,0	5,1
BM3	35,1	7,3	5,5	0,0	28,0	4,5	1,3	14,3	51,6	7,0	14,6	13,9	5,6
BM4	35,1	0,0	5,3	7,2	27,1	36,0	5,6	1,8	39,6	7,0	12,2	11,6	6,9
BM5	50,4	10,6	9,7	10,0	45,3	50,3	10,1	13,2	57,1	7,3	0,2	0,2	8,1
BM6	35,1	16,4	8,3	10,4	42,0	52,5	24,9	22,7	21,7	7,5	21,2	20,3	12,5
BM7	35,1	11,3	15,7	11,4	80,8	57,4	35,8	12,2	41,6	7,0	23,5	22,5	8,6
BM8	35,1	11,7	9,6	17,4	48,6	87,8	3,9	39,0	82,2	7,6	23,4	22,4	8,8
BM9	35,1	5,6	3,6	5,5	18,6	27,9	0,0	5,6	48,1	7,0	14,8	14,1	4,3
Normal	35,5	6,1	3,9	5,5	19,4	28,1	1,5	6,0	48,6	7,0	12,0	11,2	4,2

Die Ergebnisse der Optimierungsvariante zeigen eine deutliche Verbesserung der Auslastungszustände, gegenüber der in 6.4.1 erwähnten kritischen Punkte. Die Leitungen 9/33 und 8/13 stellen die Verbindung zwischen HKW I und HKW II auf der 6kV-Ebene dar und sind gegenüber der IST-Analyse um 13% (~180A) geringer ausgelastet.

6.6.2 Simulationsergebnisse der Mehrfachfehlerbetrachtung

Tabelle 35: Trafoauslastung bei Mehrfachfehlerbetrachtung

	N3121C	N31003B	N31003A	N31021B	N31021A	N3121A	N3121B	N3121D
	%	%	%	%	%	%	%	%
BM1	14,2	24,2	15,4	0,0	1,8	2,2	1,2	10,8
BM1_2	17,5	29,8	3,2	0,0	8,9	9,5	1,2	13,3
BM1_3	18,8	3,4	26,5	0,0	9,1	9,7	1,2	14,4
BM1_4	5,5	27,9	20,5	0,0	5,2	4,9	1,2	19,1
BM1_5	26,9	42,7	34,9	0,0	17,6	20,4	1,1	19,6
BM1_6	48,5	36,0	31,2	0,0	35,4	38,2	1,1	39,2
BM1_7	29,2	49,8	62,4	0,0	40,9	42,4	1,2	22,3
BM1_8	25,2	80,9	40,7	0,0	18,4	19,1	1,2	19,2
BM2	19,1	25,6	3,2	7,9	5,6	6,1	8,1	14,6
BM2_3	28,4	3,4	3,2	21,2	12,1	12,7	21,5	21,6
BM2_4	5,5	36,4	3,2	2,5	2,7	3,2	2,9	26,6
BM2_5	34,3	45,9	3,2	18,4	15,7	18,4	19,2	24,5
BM2_6	51,7	49,8	3,2	24,4	24,0	27,0	24,9	41,1
BM2_7	45,4	61,3	2,8	19,2	60,9	65,2	19,7	34,7
BM2_8	42,0	72,9	3,2	43,3	21,7	22,5	44,1	31,9
BM3	20,7	3,4	21,2	15,5	1,4	1,7	15,8	15,8
BM3_4	5,5	3,4	33,0	12,7	6,0	5,7	13,0	29,0
BM3_5	35,5	3,4	39,9	23,5	13,9	16,7	24,2	25,3
BM3_6	53,4	3,4	44,7	27,4	25,3	28,0	28,0	42,4
BM3_7	43,1	3,4	73,8	32,2	40,2	41,6	32,6	32,8
BM3_8	47,5	2,9	55,9	64,6	10,5	11,9	66,7	36,4
BM4	5,5	27,0	20,5	2,0	6,1	5,8	2,2	19,7
BM4_5	5,4	46,3	39,4	2,9	6,2	6,5	3,8	34,7
BM4_6	4,9	56,6	48,4	36,3	41,2	43,8	36,1	57,2
BM4_7	5,5	55,8	72,5	3,6	31,1	31,4	3,9	41,0
BM4_8	5,5	73,9	49,2	33,9	5,9	5,7	34,1	42,0
BM5	29,7	37,7	31,9	14,4	11,0	13,8	15,3	21,5
BM5_6	38,2	45,3	37,3	38,2	41,4	48,3	37,5	29,7
BM5_7	29,7	37,7	31,9	14,4	11,0	13,8	15,2	22,6
BM5_8	53,7	57,2	47,8	47,2	5,4	5,9	48,4	37,7
BM6	44,8	39,4	31,8	24,7	27,1	29,7	25,2	35,6
BM6_7	62,7	62,4	84,0	28,6	16,9	18,3	28,9	51,0
BM6_8	63,6	82,3	55,3	21,7	30,5	34,0	21,9	52,0
BM7	32,2	43,0	61,0	13,3	37,2	38,3	13,6	24,5
BM7_8	49,6	89,6	95,8	47,8	44,1	48,1	49,0	39,1
BM8	33,2	62,7	36,7	40,5	4,3	4,8	41,2	24,9
BM9	15,8	20,9	14,1	6,1	0,0	2,6	6,5	12,0
BM9_1	13,6	24,7	16,3	0,0	0,0	2,6	1,2	10,4
BM9_2	18,3	27,7	0,1	11,2	0,0	2,6	11,5	13,9
BM9_3	20,5	3,4	21,7	15,9	0,0	2,6	16,3	15,6
BM9_4	5,5	26,9	17,6	1,2	0,0	2,6	0,9	21,6
BM9_5	27,3	38,9	32,9	18,2	0,0	2,5	18,8	20,8
BM9_6	50,0	38,5	24,4	33,6	0,0	2,5	32,6	38,1
BM9_7	25,2	46,8	82,4	25,5	0,0	2,6	25,8	19,2
BM9_8	25,2	46,8	82,4	25,5	0,0	2,6	25,8	19,2
Normal	15,6	21,2	14,7	6,6	1,6	1,6	6,9	11,9

Tabelle 36: Leitungsauslastung bei Mehrfachfehlerbetrachtung

	GT1	E14	N31003A	N31003B	8/13	9/33	8/5	9/22	IS95	IS93	110/52	110/62	E15
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
BM1	35,1	5,0	4,0	6,4	20,3	32,4	1,7	0,0	45,4	7,0	14,9	14,2	3,8
BM1_2	35,1	6,2	0,0	7,9	4,3	39,7	8,2	0,0	43,2	7,0	14,7	14,1	4,7
BM1_3	35,1	6,6	6,9	0,0	35,0	4,5	8,4	0,0	43,4	7,0	14,7	14,0	5,1
BM1_4	35,1	0,0	5,3	7,4	27,1	37,2	4,7	0,0	38,8	7,0	12,2	11,7	6,7
BM1_5	48,1	9,8	10,6	11,3	50,0	57,0	16,1	0,0	63,8	7,4	0,0	0,0	7,4
BM1_6	35,1	18,1	8,2	9,5	41,3	48,0	32,5	0,0	8,3	7,7	21,2	20,4	13,8
BM1_7	35,1	10,3	16,0	13,2	82,6	66,4	39,3	0,0	37,3	7,0	23,5	22,5	7,8
BM1_8	35,1	8,9	10,7	23,1	53,9	116,7	16,9	0,0	47,5	7,0	22,2	21,4	6,8
BM2	35,1	6,7	0,0	6,8	4,3	34,1	5,2	7,2	46,9	7,0	14,7	14,0	5,1
BM2_3	35,1	10,0	0,0	0,0	4,3	4,5	11,1	19,4	49,0	7,2	14,7	13,4	7,6
BM2_4	35,1	0,0	0,0	9,6	4,3	48,6	2,5	2,3	37,4	7,0	12,4	11,2	9,4
BM2_5	46,9	12,4	0,0	12,1	4,3	61,2	14,4	16,9	54,7	7,2	0,6	0,6	9,4
BM2_6	35,1	19,0	0,0	13,2	4,3	66,5	22,1	22,4	25,1	7,5	21,1	20,3	14,5
BM2_7	35,1	16,0	0,0	16,2	4,0	81,8	59,7	17,7	32,1	7,1	24,5	23,6	12,2
BM2_8	35,1	14,7	0,0	20,2	4,3	102,1	19,9	41,7	79,6	7,1	22,9	22,1	11,2
BM3	35,1	7,3	5,5	0,0	28,0	4,5	1,3	14,3	51,6	7,0	14,6	13,9	5,6
BM3_4	35,1	0,0	8,6	0,0	43,7	4,5	5,5	11,7	38,3	7,1	12,2	11,2	10,2
BM3_5	46,9	12,8	12,0	0,0	57,4	4,5	12,8	21,6	58,8	7,3	0,4	0,4	9,7
BM3_6	35,1	19,6	11,7	0,0	59,2	4,5	23,2	25,2	19,0	7,5	21,2	20,3	14,9
BM3_7	35,1	15,1	19,1	0,0	97,8	4,5	38,6	29,6	47,7	7,0	23,3	22,2	11,5
BM3_8	35,1	16,8	14,7	0,0	74,1	4,2	9,6	63,8	100,3	7,1	24,3	23,2	12,8
BM4	35,1	0,0	5,3	7,2	27,1	36,0	5,6	1,8	39,6	7,0	12,2	11,6	6,9
BM4_5	47,3	0,0	11,9	12,3	56,7	61,8	5,7	2,7	79,2	7,4	0,3	0,3	13,3
BM4_6	35,1	0,0	12,7	15,0	64,1	75,5	37,9	33,4	69,0	7,7	21,5	20,5	20,1
BM4_7	35,1	0,0	18,7	14,8	96,0	74,4	29,9	3,3	39,6	7,0	22,5	21,5	14,4
BM4_8	35,1	0,0	12,9	20,5	65,2	103,3	5,4	32,6	69,1	7,1	22,4	21,4	14,8
BM5	50,4	10,6	9,7	10,0	45,3	50,3	10,1	13,2	57,1	7,3	0,2	0,2	8,1
BM5_6	65,3	16,1	11,9	13,2	57,9	66,5	41,7	38,6	24,7	9,2	0,3	0,3	12,2
BM5_7	50,4	10,6	9,7	10,0	45,3	50,3	10,1	13,2	57,1	7,3	0,2	0,2	8,1
BM5_8	76,0	18,8	14,1	16,2	68,4	81,8	5,0	46,4	131,9	7,1	0,3	0,3	14,3
BM6	35,1	16,4	8,3	10,4	42,0	52,5	24,9	22,7	21,7	7,5	21,2	20,3	12,5
BM6_7	35,1	23,6	21,6	16,8	111,3	84,7	16,8	26,7	42,6	7,8	47,2	44,9	18,0
BM6_8	35,1	24,0	14,4	23,7	73,3	119,6	28,5	21,7	8,7	7,8	47,3	45,1	18,3
BM7	35,1	11,3	15,7	11,4	80,8	57,4	35,8	12,2	41,6	7,0	23,5	22,5	8,6
BM7_8	35,1	18,0	24,7	26,5	125,4	132,0	44,6	48,4	71,3	7,4	48,0	45,7	13,8
BM8	35,1	11,7	9,6	17,4	48,6	87,8	3,9	39,0	82,2	7,6	23,4	22,4	8,8
BM9	35,1	5,6	3,6	5,5	18,6	27,9	0,0	5,6	48,1	7,0	14,8	14,1	4,3
BM9_1	35,1	4,8	4,2	6,6	21,5	33,0	0,0	0,0	45,8	7,0	14,9	14,2	3,7
BM9_2	35,1	6,4	0,8	7,3	0,0	36,9	0,0	10,3	50,1	7,0	15,4	14,7	4,9
BM9_3	35,1	7,2	5,7	0,9	28,7	4,5	0,0	14,6	52,1	7,0	14,6	14,0	5,5
BM9_4	35,1	1,9	4,6	7,1	23,2	35,9	0,0	1,1	38,0	7,0	12,2	11,6	7,6
BM9_5	49,5	9,9	10,0	10,3	46,8	51,9	0,0	16,7	51,1	7,4	0,2	0,2	7,5
BM9_6	35,1	18,6	6,4	10,2	32,2	51,4	0,0	30,9	41,7	7,7	21,3	20,5	14,2
BM9_7	35,1	8,9	21,2	12,4	109,2	62,4	0,0	23,4	56,9	7,0	22,4	21,4	6,8
BM9_8	35,1	8,9	21,2	12,4	109,2	62,4	0,0	23,4	56,9	7,0	22,4	21,4	6,8
Normal	35,5	6,1	3,9	5,5	19,4	28,1	1,5	6,0	48,6	7,0	12,0	11,2	4,2

Die Betriebsmittelauslastungen sind durch die zusätzliche Verbindung entsprechend reduziert worden. Die Installation eines neuen Verbindungszweiges zwischen SH 110KV und HKW I, ist den Ergebnissen zufolge eine mögliche Maßnahme zur Reduktion der 6kV Verbindungskabel zwischen SH 110kV und HKW II und den Is-Begrenzern.

Im Detail betrachtet ergeben sich nicht die erhofften Lastflussoptimierungen bzw. deutliche Verbesserungen gegenüber der Maschinenverlegung. Die gleichmäßige Auslastung, die eine Grundlage für lebensverlängernde Maßnahmen ist, wird wie bei Optimierungsvariante 1 erreicht, jedoch steigt durch die zusätzlich redundante Verbindung die Zuverlässigkeit des Systems.

6.7 Optimierungsvariante 3

Die Ergebnisse der Optimierungsvariante 2 bestätigen den Vorteil der Einspeiseleistungserhöhung. Die durch den maximal zulässigen KS-Strom begrenzte Zusatzleistung kann bei Gruppe 5 bzw. 6 nicht erhöht werden. Es besteht jedoch die Möglichkeit in Gruppe 4 die nicht im Betrieb befindliche Sammelschiene 2 zu verwenden. Eine zulässige Kupplung auf Gruppe 5/1 kann mittels eines Is-Begrenzers durchgeführt werden. Dadurch kann eine maximale Erhöhung der Scheinleistung erreicht werden, da die Kurzschlussleistung beliebig begrenzt wird.

Es wird die Erhöhung der Einspeiseleistung in HKW I durch Auslegung des neuen T-N3121D Transformators auf 31,5MVA betrachtet. Die Ergebnisse der Variante sollen BM-Entlastungen und zusätzlich neue Schaltmöglichkeiten aufzeigen. Die zusätzliche Verbindung und die hier angewendete Verschaltung kann, je nach Vorgehensweise, enorme Vorteile bei Umbau- und Ausbauarbeiten in Bezug auf die Versorgungssicherheit bringen.

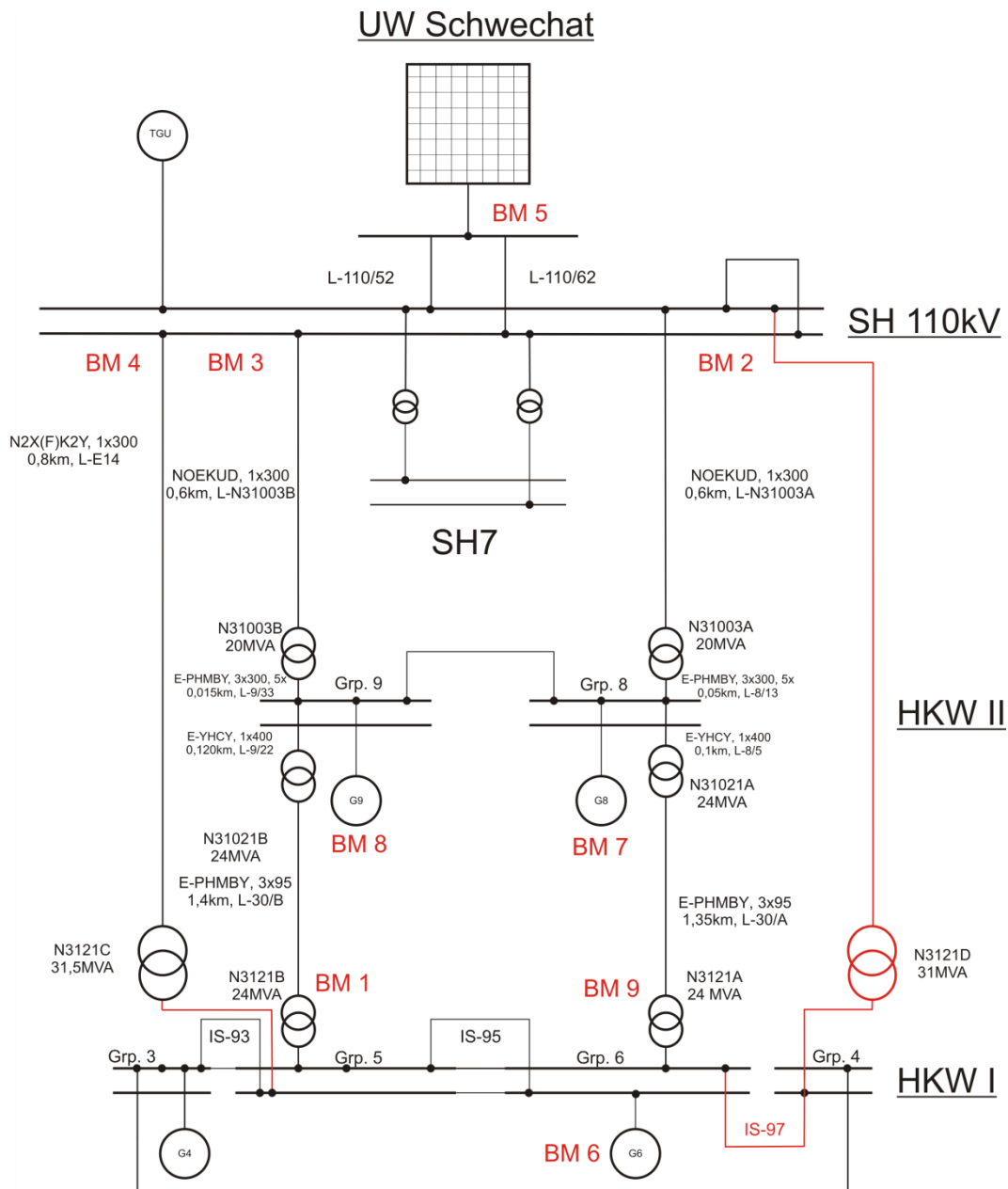


Abbildung 49: Übersichtsbild der Optimierungsvariante 3

Der Transformator N3121D soll den Wirkleistungslastfluss zu HKW II über die Transformatoren N3121A und N3121B bestärken. Diese Variante soll enorme Vorteile für eventuelle Ausbau-, Umbau-, Umrüstungsarbeiten im HKW I bringen, unter der Berücksichtigung, dass SH 2, 3, 4 und die K-Schienen auf HKW II teils umgeschaltet werden.

6.7.1 Simulationsergebnisse der Einzelfehlerbetrachtung

Tabelle 37: Trafoauslastung bei Einzelfehlerbetrachtung

	N3121C	N31003B	N31003A	N31021B	N31021A	N3121A	N3121B	N3121D
	%	%	%	%	%	%	%	%
BM1	12,9	23,8	14,7	0,0	2,4	2,8	1,2	12,9
BM2	17,2	24,3	3,2	8,5	5,9	6,4	8,8	17,2
BM3	18,7	3,4	19,9	15,9	1,9	2,3	16,2	18,7
BM4	5,5	25,0	18,5	3,5	4,5	4,2	3,8	22,3
BM5	27,3	36,7	31,0	15,9	12,4	15,2	16,8	26,0
BM6	41,2	37,1	29,6	22,9	24,9	27,6	23,5	42,8
BM7	29,4	41,4	59,6	14,5	38,1	39,3	14,8	29,4
BM8	30,4	61,3	35,1	41,4	5,5	6,2	42,1	29,8
BM9	14,4	20,2	13,7	6,9	0,0	2,6	7,3	14,3
Normal	14,3	20,3	13,9	7,1	1,3	1,3	7,4	14,2

Tabelle 38: Leitungsauslastung bei Einzelfehlerbetrachtung

	GT1	E14	N31003A	N31003B	8/13	9/33	8/5	9/22	IS95	IS93	110/52	110/62	E15
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
BM1	35,1	4,5	3,8	6,3	19,4	31,8	2,2	0,0	44,3	7,0	15,1	14,4	4,5
BM2	35,1	6,1	0,0	6,4	4,3	32,5	5,5	7,8	45,5	7,0	14,9	14,2	6,1
BM3	35,1	6,6	5,2	0,0	26,3	4,5	1,8	14,6	49,3	7,0	14,9	14,2	6,6
BM4	35,1	0,0	4,8	6,6	24,4	33,3	4,1	3,2	39,3	7,0	12,4	11,8	7,9
BM5	50,9	9,8	9,4	9,7	44,0	49,0	11,4	14,6	59,3	7,3	0,2	0,2	9,8
BM6	35,1	15,1	7,7	9,8	39,1	49,5	22,9	21,1	29,0	7,5	21,2	20,3	15,1
BM7	35,1	10,3	15,3	11,0	78,9	55,2	36,6	13,3	39,3	7,0	23,6	22,6	10,3
BM8	35,1	10,7	9,2	17,0	46,4	85,9	5,1	39,9	79,8	7,6	23,5	22,5	10,5
BM9	35,1	5,1	3,5	5,4	18,0	27,0	0,0	6,4	47,2	7,0	15,0	14,3	5,1
Normal	35,1	5,0	3,6	5,4	18,4	27,0	1,2	6,5	47,4	7,0	15,0	14,3	5,7

Bei den Transformatoren ergeben sich Auslastungszustände im normalen Betriebsbereich. Bei den Leitungen ergibt diese Variante eine Verbesserung der Leitung 8/13, 9/33 und den Is-Begrenzern in HKW I.

6.7.2 Simulationsergebnisse der Mehrfachfehlerbetrachtung

Tabelle 39: Trafoauslastung bei Mehrfachfehlerbetrachtung

	N3121C	N31003B	N31003A	N31021B	N31021A	N3121A	N3121B	N3121D
	%	%	%	%	%	%	%	%
BM1	12,9	23,8	14,7	0,0	2,4	2,8	1,2	12,9
BM1_2	15,7	29,0	3,2	0,0	9,5	10,0	1,2	15,7
BM1_3	17,0	3,4	25,4	0,0	9,9	10,5	1,2	17,0
BM1_4	5,5	26,6	18,7	0,0	3,0	2,8	1,2	21,2
BM1_5	24,5	42,1	34,3	0,0	19,4	22,3	1,1	23,4
BM1_6	44,3	34,5	29,1	0,0	31,9	34,7	1,1	46,6
BM1_7	26,5	48,9	61,2	0,0	42,1	43,7	1,2	26,4
BM1_8	22,8	80,3	39,5	0,0	19,7	20,5	1,2	22,8
BM2	17,2	24,3	3,2	8,5	5,9	6,4	8,8	17,2
BM2_3	25,1	3,4	3,2	21,2	12,1	12,7	21,5	25,0
BM2_4	5,5	32,6	3,2	4,5	3,7	4,1	4,8	29,2
BM2_5	31,4	44,4	3,2	20,0	17,2	20,0	20,8	29,5
BM2_6	47,0	46,3	3,2	22,8	22,5	25,5	23,4	48,8
BM2_7	40,9	58,3	2,8	20,8	61,5	65,9	21,2	41,0
BM2_8	37,8	70,4	3,2	44,4	22,4	23,2	45,2	37,8
BM3	18,7	3,4	19,9	15,9	1,9	2,3	16,2	18,7
BM3_4	5,5	3,4	28,9	13,8	3,8	3,6	14,1	31,8
BM3_5	32,5	3,4	38,6	24,9	15,5	18,4	25,5	30,4
BM3_6	48,5	3,4	41,1	26,5	23,2	25,9	27,0	50,4
BM3_7	38,8	3,4	71,2	32,9	41,3	42,8	33,3	38,7
BM3_8	42,9	2,9	52,8	65,3	12,1	13,4	67,4	43,0
BM4	5,5	25,0	18,5	3,5	4,5	4,2	3,8	22,3
BM4_5	5,4	43,8	37,3	6,2	5,6	7,3	7,2	40,4
BM4_6	4,9	50,7	42,7	31,8	36,0	38,6	31,8	65,3
BM4_7	5,5	51,4	68,5	6,9	33,0	33,6	7,2	46,3
BM4_8	5,5	69,9	44,8	36,1	2,6	2,3	36,5	47,4
BM5	27,3	36,7	31,0	15,9	12,4	15,2	16,8	26,0
BM5_6	35,1	43,8	36,1	37,7	40,6	47,4	37,1	35,7
BM5_7	27,3	36,7	31,0	15,9	12,4	15,2	16,6	27,3
BM5_8	50,1	55,6	45,5	47,7	6,8	7,3	48,9	46,3
BM6	41,2	37,1	29,6	22,9	24,9	27,6	23,5	42,8
BM6_7	57,4	59,3	80,4	27,6	19,4	20,9	28,0	60,9
BM6_8	58,3	79,2	52,0	24,1	28,8	32,0	24,3	62,0
BM7	29,4	41,4	59,6	14,5	38,1	39,3	14,8	29,4
BM7_8	45,4	87,4	93,2	49,5	45,8	49,9	50,8	46,7
BM8	30,4	61,3	35,1	41,4	5,5	6,2	42,1	29,8
BM9	14,4	20,2	13,7	6,9	0,0	2,6	7,3	14,3
BM9_1	12,1	24,6	16,2	0,0	0,0	2,6	1,2	12,1
BM9_2	16,5	26,6	0,1	12,0	0,0	2,6	12,3	16,5
BM9_3	18,4	3,4	20,8	16,5	0,0	2,6	16,9	18,4
BM9_4	5,5	24,8	16,3	1,6	0,0	2,6	2,0	23,8
BM9_5	24,9	38,2	32,4	20,1	0,0	2,5	20,6	24,8
BM9_6	45,5	36,2	23,0	30,4	0,0	2,5	29,7	45,5
BM9_7	22,8	45,6	81,8	26,8	0,0	2,6	27,2	22,8
BM9_8	22,8	45,6	81,8	26,8	0,0	2,6	27,2	22,8
Normal	14,3	20,3	13,9	7,1	1,3	1,3	7,4	14,2

Tabelle 40: Leitungsauslastung bei Mehrfachfehlerbetrachtung

	GT1	E14	N31003A	N31003B	8/13	9/33	8/5	9/22	IS95	IS93	110/52	110/62	E15
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
BM1	35,1	4,5	3,8	6,3	19,4	31,8	2,2	0,0	44,3	7,0	15,1	14,4	4,5
BM1_2	35,1	5,6	0,0	7,7	4,3	38,6	8,7	0,0	42,0	7,0	15,0	14,3	5,5
BM1_3	35,1	6,0	6,6	0,0	33,5	4,5	9,1	0,0	41,9	7,0	14,9	14,2	6,0
BM1_4	35,1	0,0	4,9	7,0	24,7	35,5	2,8	0,0	38,5	7,0	12,5	11,9	7,4
BM1_5	48,4	8,9	10,4	11,1	49,0	56,2	17,8	0,0	67,3	7,4	0,0	0,0	8,9
BM1_6	35,1	16,4	7,6	9,1	38,5	46,0	29,4	0,0	17,7	7,6	21,4	20,5	16,4
BM1_7	35,1	9,3	15,7	12,9	81,0	65,2	40,4	0,0	36,3	7,0	23,6	22,6	9,3
BM1_8	35,1	8,0	10,4	22,9	52,3	115,8	18,1	0,0	45,7	7,0	22,3	21,4	8,0
BM2	35,1	6,1	0,0	6,4	4,3	32,5	5,5	7,8	45,5	7,0	14,9	14,2	6,1
BM2_3	35,1	8,8	0,0	0,0	4,3	4,5	11,1	19,4	46,7	7,2	15,1	13,8	8,8
BM2_4	35,1	0,0	0,0	8,6	4,3	43,5	3,4	4,1	38,7	7,1	12,9	11,7	10,3
BM2_5	47,5	11,4	0,0	11,8	4,3	59,3	15,8	18,4	57,9	7,3	0,6	0,6	11,2
BM2_6	35,1	17,2	0,0	12,2	4,3	61,7	20,7	21,0	33,4	7,5	21,1	20,3	17,2
BM2_7	35,1	14,4	0,0	15,4	4,0	77,8	60,3	19,1	29,3	7,1	24,6	23,7	14,4
BM2_8	35,1	13,3	0,0	19,6	4,3	98,7	20,6	42,7	76,2	7,1	23,0	22,2	13,3
BM3	35,1	6,6	5,2	0,0	26,3	4,5	1,8	14,6	49,3	7,0	14,9	14,2	6,6
BM3_4	35,1	0,0	7,5	0,0	38,2	4,5	3,5	12,6	39,0	7,1	12,7	11,7	11,2
BM3_5	47,5	11,7	11,7	0,0	55,4	4,5	14,3	22,9	61,2	7,3	0,4	0,4	11,6
BM3_6	35,1	17,7	10,8	0,0	54,4	4,5	21,3	24,3	25,1	7,5	21,2	20,3	17,7
BM3_7	35,1	13,6	18,4	0,0	94,3	4,5	39,7	30,2	42,8	7,0	23,4	22,3	13,6
BM3_8	35,1	15,1	13,8	0,0	69,9	4,2	11,1	64,5	94,5	7,1	24,4	23,3	15,1
BM4	35,1	0,0	4,8	6,6	24,4	33,3	4,1	3,2	39,3	7,0	12,4	11,8	7,9
BM4_5	48,3	0,0	11,3	11,6	53,4	58,5	5,2	5,7	83,0	7,5	0,3	0,3	15,4
BM4_6	35,1	0,0	11,2	13,4	56,6	67,7	33,1	29,2	74,7	7,6	21,4	20,4	23,0
BM4_7	35,1	0,0	17,7	13,6	90,8	68,6	31,7	6,4	41,0	7,0	22,6	21,5	16,3
BM4_8	35,1	0,0	11,7	19,4	59,4	97,9	2,4	34,7	68,6	7,1	22,5	21,5	16,7
BM5	50,9	9,8	9,4	9,7	44,0	49,0	11,4	14,6	59,3	7,3	0,2	0,2	9,8
BM5_6	65,6	14,7	11,6	12,7	55,9	64,2	40,9	38,1	30,6	9,2	0,3	0,3	14,7
BM5_7	50,9	9,8	9,4	9,7	44,0	49,0	11,4	14,6	59,3	7,3	0,2	0,2	9,8
BM5_8	76,7	17,6	13,4	15,7	64,8	79,4	6,2	46,8	139,2	7,1	0,3	0,3	17,6
BM6	35,1	15,1	7,7	9,8	39,1	49,5	22,9	21,1	29,0	7,5	21,2	20,3	15,1
BM6_7	35,1	21,5	20,7	15,9	106,5	80,2	19,2	25,7	52,9	7,7	47,1	44,7	21,5
BM6_8	35,1	21,8	13,5	22,7	68,9	114,5	26,7	24,0	4,2	7,7	47,2	44,9	21,8
BM7	35,1	10,3	15,3	11,0	78,9	55,2	36,6	13,3	39,3	7,0	23,6	22,6	10,3
BM7_8	35,1	16,5	24,0	25,8	122,0	128,5	46,2	50,0	64,0	7,4	47,9	45,6	16,5
BM8	35,1	10,7	9,2	17,0	46,4	85,9	5,1	39,9	79,8	7,6	23,5	22,5	10,5
BM9	35,1	5,1	3,5	5,4	18,0	27,0	0,0	6,4	47,2	7,0	15,0	14,3	5,1
BM9_1	35,1	4,3	4,2	6,5	21,4	32,8	0,0	0,0	45,0	7,0	15,1	14,4	4,3
BM9_2	35,1	5,8	0,8	7,1	0,0	35,5	0,0	11,0	48,6	7,0	15,6	14,9	5,8
BM9_3	35,1	6,5	5,4	0,9	27,5	4,5	0,0	15,2	50,2	7,0	14,9	14,2	6,5
BM9_4	35,1	1,9	4,2	6,6	21,6	33,1	0,0	1,5	38,3	7,0	12,4	11,8	8,4
BM9_5	49,8	9,0	9,8	10,1	46,0	50,9	0,0	18,5	52,1	7,4	0,2	0,2	9,0
BM9_6	35,1	16,9	6,0	9,6	30,4	48,3	0,0	27,9	48,0	7,6	21,4	20,5	16,9
BM9_7	35,1	8,0	21,1	12,1	108,4	60,9	0,0	24,6	54,4	7,0	22,4	21,5	8,0
BM9_8	35,1	8,0	21,1	12,1	108,4	60,9	0,0	24,6	54,4	7,0	22,4	21,5	8,0
Normal	35,1	5,0	3,6	5,4	18,4	27,0	1,2	6,5	47,4	7,0	15,0	14,3	5,7

Die Lastflussoptimierung ist deutlich an den Ergebnissen der Kombinationsausfallbetrachtung ersichtlich. Die Betriebsmittel sind größtenteils außerhalb des überhöhten Auslastungszustandes und jene die eine solche Überschreitung aufweisen, sind den Überhöhungen für kurze Zeit gewachsen.

Das Fehlerszenario BM7_8, sprich einem Totalausfall der Erzeugereinheiten in HKW II, erfordert für den dauerhaften Betrieb eine Wirkleistungserhöhung der Generatoren in HKW I. Durch die zusätzliche Verbindung ist eine Umschaltung in den SH nicht notwendig, da das HKW II nun wieder völlig über die Transformatoren versorgt werden kann.

Diese Variante zeigt den Vorteil einer weiteren Einspeiserhöhung in HWK I und bietet Vorteile bei einem Totalumbau, beginnend bei Grp. 1, 2, 3, und 4 in HKW I.

6.8 Optimierungsvariante 4

Das Hauptaugenmerk bei dieser Optimierungsvariante liegt in der Inbetriebnahme des Generator 5. Durch die Inbetriebnahme wurden die Leistungen von G8, G9 und G6 reduziert. Der Generator 4 wurde aufgrund seines Alters in dieser Variante nicht mehr berücksichtigt.

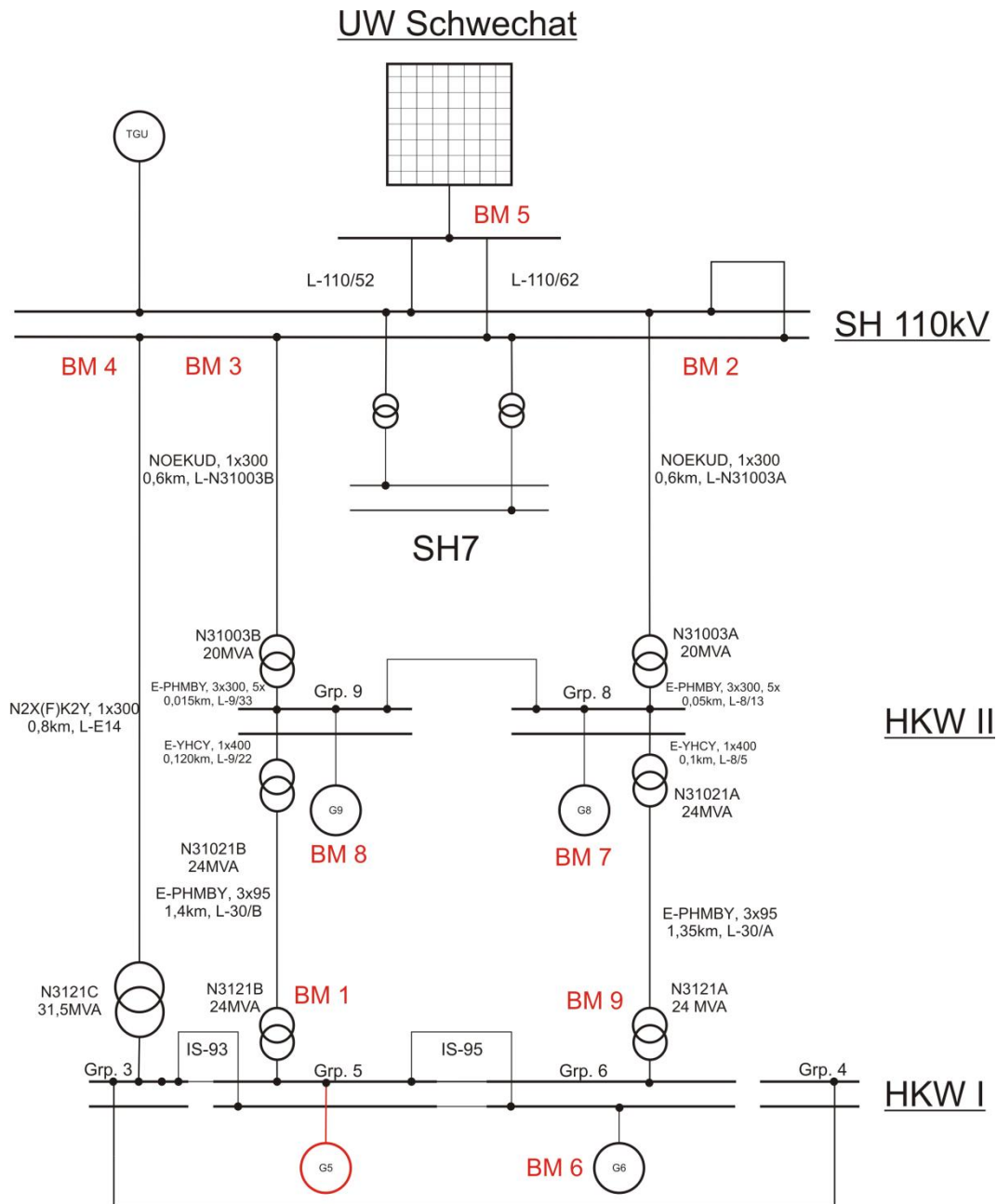


Abbildung 50: Übersichtsbild der Optimierungsvariante 4

6.8.1 Simulationsergebnisse der Einzelfehlerbetrachtung

Tabelle 41: Trafoauslastung bei Einzelfehlerbetrachtung

	N3121C	N31003B	N31003A	N31021B	N31021A	N3121A	N3121B
	%	%	%	%	%	%	%
BM1	12,1	30,1	19,3	0,0	8,5	9,1	1,2
BM2	22,6	32,5	3,2	12,0	11,8	12,4	12,3
BM3	24,8	3,4	29,6	21,2	4,1	4,7	21,5
BM4	5,4	37,6	31,3	2,0	6,9	6,7	1,7
BM5	41,2	43,6	37,0	10,7	3,4	4,4	11,0
BM6	51,7	46,7	39,9	5,7	13,3	13,9	6,1
BM7	37,5	49,1	64,8	14,3	36,5	37,4	14,6
BM8	38,0	66,8	43,3	39,6	5,0	5,6	40,2
BM9	14,3	25,2	20,7	12,8	0,0	2,6	13,1
Normal	15,5	26,3	20,8	10,9	3,7	4,1	11,2

Tabelle 42: Leitungsauslastung bei Einzelfehlerbetrachtung

	GT1	E14	N31003A	N31003B	8/13	9/33	8/5	9/22	IS95	IS93	110/52	110/62
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
BM1	35,1	4,3	5,0	8,0	25,6	40,2	7,9	0,0	58,2	49,7	13,0	12,4
BM2	35,1	7,9	0,0	8,6	4,3	43,4	10,8	11,0	47,8	42,9	12,8	12,2
BM3	35,1	8,7	7,8	0,0	39,2	4,5	3,8	19,5	44,3	39,9	12,6	11,4
BM4	35,1	0,0	8,2	10,0	41,3	50,2	6,3	1,9	67,4	54,0	10,8	9,6
BM5	46,6	14,5	11,2	11,5	53,0	58,2	3,2	9,8	53,2	83,6	0,6	0,6
BM6	35,1	18,2	10,4	12,3	52,8	62,3	12,3	5,2	125,6	39,7	20,1	19,5
BM7	35,1	13,2	16,7	13,0	85,8	65,5	35,0	13,1	51,4	39,0	18,6	18,0
BM8	35,1	13,4	11,4	18,5	57,4	93,4	4,6	38,1	30,4	37,7	18,4	17,9
BM9	35,1	5,1	5,4	6,7	27,3	33,6	0,0	11,7	46,8	48,0	13,0	12,4
Normal	35,1	5,5	5,1	7,0	27,1	35,1	3,4	10,0	48,9	47,2	10,5	10,0

6.8.2 Simulationsergebnisse der Mehrfachfehlerbetrachtung

Tabelle 43: Trafoauslastung bei Mehrfachfehlerbetrachtung

	N3121C	N31003B	N31003A	N31021B	N31021A	N3121A	N3121B
	%	%	%	%	%	%	%
BM1	12,1	30,1	19,3	0,0	8,5	9,1	1,2
BM1_2	18,7	38,3	3,2	0,0	17,3	18,2	1,2
BM1_3	21,1	3,4	35,3	0,1	16,8	17,3	1,2
BM1_4	5,4	38,0	30,8	0,0	5,6	5,3	1,2
BM1_5	41,5	48,4	38,7	0,0	8,3	9,1	1,2
BM1_6	53,3	44,2	39,6	0,0	15,8	16,5	1,2
BM1_7	32,7	55,8	65,5	0,0	41,0	42,5	1,2
BM1_8	27,3	82,9	45,1	0,0	21,1	21,9	1,2
BM2	22,6	32,5	3,2	12,0	11,8	12,4	12,3
BM2_3	43,6	3,4	3,2	28,8	20,1	20,9	29,2
BM2_4	5,4	68,9	3,2	6,7	2,3	2,8	6,2
BM2_5	50,6	54,1	3,2	11,6	11,8	12,6	11,9
BM2_6	66,5	63,0	3,2	4,2	4,8	6,8	4,9
BM2_7	60,0	73,6	2,8	17,5	61,0	65,1	17,8
BM2_8	55,0	81,9	3,2	41,6	24,6	25,4	42,3
BM3	24,8	3,4	29,6	21,2	4,1	4,7	21,5
BM3_4	5,4	3,4	69,5	11,1	17,5	17,5	11,3
BM3_5	52,1	3,4	47,3	21,0	4,6	5,3	21,3
BM3_6	69,5	3,4	59,0	14,2	11,4	11,9	14,7
BM3_7	56,7	3,4	83,8	34,8	38,2	39,4	35,1
BM3_8	63,5	3,0	69,1	64,9	8,1	8,6	67,0
BM4	5,4	37,6	31,3	2,0	6,9	6,7	1,7
BM4_5	5,4	62,3	52,6	2,1	7,0	6,7	1,8
BM4_6	5,4	88,9	81,3	36,7	46,2	47,0	36,3
BM4_7	5,5	79,9	93,1	9,0	26,4	25,8	8,7
BM4_8	5,5	94,4	73,9	26,8	19,4	19,5	26,5
BM5	41,2	43,6	37,0	10,7	3,4	4,4	11,0
BM5_6	59,0	65,4	54,8	20,4	22,9	25,4	21,1
BM5_7	41,2	43,6	37,0	10,7	3,4	4,4	11,1
BM5_8	64,4	62,1	56,9	47,8	6,2	6,7	49,0
BM6	51,7	46,7	39,9	5,7	13,3	13,9	6,1
BM6_7	72,5	72,1	86,3	12,2	21,0	20,7	13,2
BM6_8	73,5	86,5	64,9	23,5	16,7	18,8	23,4
BM7	37,5	49,1	64,8	14,3	36,5	37,4	14,6
BM7_8	61,6	91,0	95,0	49,5	46,8	49,4	50,8
BM8	38,0	66,8	43,3	39,6	5,0	5,6	40,2
BM9	14,3	25,2	20,7	12,8	0,0	2,6	13,1
BM9_1	6,7	32,8	25,2	0,0	0,0	2,6	1,2
BM9_2	19,8	37,1	0,1	18,9	0,0	2,6	19,3
BM9_3	23,4	3,4	31,8	23,1	0,0	2,6	23,5
BM9_4	5,4	39,7	29,2	4,8	0,0	2,6	4,2
BM9_5	40,7	43,7	37,9	12,3	0,0	2,6	12,7
BM9_6	56,3	46,1	33,0	11,7	0,0	2,6	11,7
BM9_7	27,4	51,1	84,6	28,0	0,0	2,6	28,4
BM9_8	27,4	51,1	84,6	28,0	0,0	2,6	28,4
Normal	15,5	26,3	20,8	10,9	3,7	4,1	11,2

Tabelle 44: Leitungsauslastung bei Mehrfachfehlerbetrachtung

	GT1	E14	N31003A	N31003B	8/13	9/33	8/5	9/22	IS95	IS93	110/52	110/62
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
BM1	35,1	4,3	5,0	8,0	25,6	40,2	7,9	0,0	58,2	49,7	13,0	12,4
BM1_2	35,1	6,6	0,0	10,1	4,3	51,1	15,9	0,0	63,6	44,0	12,5	11,8
BM1_3	35,5	7,9	9,3	0,9	46,6	4,5	15,3	0,0	54,4	43,7	10,1	9,3
BM1_4	35,1	0,0	8,1	10,1	40,8	50,7	5,1	0,0	67,9	54,0	10,8	9,6
BM1_5	45,4	14,6	11,7	12,8	55,7	64,6	7,6	0,0	63,4	86,7	0,0	0,0
BM1_6	35,1	18,8	10,4	11,7	52,4	59,0	14,5	0,0	121,2	39,7	19,9	19,3
BM1_7	35,1	11,5	16,9	14,8	86,8	74,5	39,4	0,0	61,5	39,4	18,6	18,0
BM1_8	35,1	9,6	11,8	23,7	59,7	119,6	19,4	0,0	50,1	40,9	17,4	16,9
BM2	35,1	7,9	0,0	8,6	4,3	43,4	10,8	11,0	47,8	42,9	12,8	12,2
BM2_3	35,1	15,3	0,0	0,0	4,3	4,5	18,5	26,5	35,9	38,3	12,4	11,0
BM2_4	35,1	0,0	0,0	18,2	4,3	92,0	2,2	6,1	76,9	54,0	10,5	9,1
BM2_5	42,7	17,8	0,0	14,3	4,3	72,2	10,9	10,7	57,5	89,1	0,8	0,8
BM2_6	35,1	23,5	0,0	16,7	4,3	84,1	4,4	3,8	124,9	50,3	19,6	19,1
BM2_7	35,1	21,0	0,0	19,5	4,0	98,3	59,7	16,0	53,1	47,7	20,2	19,6
BM2_8	35,1	19,3	0,0	22,7	4,3	114,7	22,6	40,0	18,5	44,5	18,0	17,6
BM3	35,1	8,7	7,8	0,0	39,2	4,5	3,8	19,5	44,3	39,9	12,6	11,4
BM3_4	35,1	0,0	18,2	0,0	92,0	4,5	16,1	10,2	56,1	54,1	10,2	9,3
BM3_5	42,8	18,3	14,2	0,0	68,6	4,5	4,2	19,2	49,4	89,0	0,5	0,5
BM3_6	35,1	24,5	15,5	0,0	78,1	4,5	10,5	13,0	118,3	53,3	19,8	19,1
BM3_7	35,1	19,9	21,7	0,0	111,1	4,5	36,8	31,9	41,9	45,6	18,3	17,6
BM3_8	35,1	22,3	18,1	0,0	91,5	4,2	7,4	63,8	26,7	50,3	20,3	19,6
BM4	35,1	0,0	8,2	10,0	41,3	50,2	6,3	1,9	67,4	54,0	10,8	9,6
BM4_5	39,4	0,0	16,0	16,5	77,5	83,1	6,4	1,9	67,3	54,0	0,4	0,4
BM4_6	35,1	0,0	21,3	23,5	107,7	118,6	42,5	33,8	144,9	54,8	19,6	18,8
BM4_7	35,1	0,0	24,2	21,1	123,3	106,6	25,4	8,3	72,5	54,4	17,7	17,1
BM4_8	35,1	0,0	19,4	26,2	97,9	132,0	17,9	25,8	42,3	54,4	17,7	17,0
BM5	46,6	14,5	11,2	11,5	53,0	58,2	3,2	9,8	53,2	83,6	0,6	0,6
BM5_6	67,9	21,5	16,3	17,3	79,7	87,3	21,0	18,7	149,9	74,0	0,4	0,4
BM5_7	46,6	14,5	11,2	11,5	53,0	58,2	3,2	9,8	53,2	83,6	0,6	0,6
BM5_8	67,8	22,6	16,9	17,7	82,9	89,2	5,7	47,2	36,2	93,1	0,4	0,4
BM6	35,1	18,2	10,4	12,3	52,8	62,3	12,3	5,2	125,6	39,7	20,1	19,5
BM6_7	35,1	26,0	22,4	19,1	114,4	96,2	20,4	11,2	137,5	50,4	38,1	36,5
BM6_8	35,1	26,4	17,0	24,2	85,9	122,3	15,4	22,9	93,6	50,9	37,9	36,4
BM7	35,1	13,2	16,7	13,0	85,8	65,5	35,0	13,1	51,4	39,0	18,6	18,0
BM7_8	35,1	21,6	24,5	26,2	124,3	130,7	46,1	48,8	28,2	49,0	38,8	37,1
BM8	35,1	13,4	11,4	18,5	57,4	93,4	4,6	38,1	30,4	37,7	18,4	17,9
BM9	35,1	5,1	5,4	6,7	27,3	33,6	0,0	11,7	46,8	48,0	13,0	12,4
BM9_1	35,1	2,4	6,6	8,7	33,3	43,8	0,0	0,0	56,8	54,2	13,0	12,4
BM9_2	35,1	7,0	0,8	9,8	0,0	49,5	0,0	17,4	47,1	42,6	13,5	12,0
BM9_3	35,1	8,3	8,3	0,9	42,1	4,5	0,0	21,2	42,6	41,0	12,8	11,5
BM9_4	35,1	1,9	7,6	10,5	38,6	53,0	0,0	4,4	74,6	54,0	10,8	9,6
BM9_5	46,6	14,3	11,4	11,6	54,3	58,4	0,0	11,3	51,1	84,0	0,6	0,6
BM9_6	35,1	19,9	8,6	12,2	43,6	61,6	0,0	10,8	130,3	41,4	19,8	19,2
BM9_7	35,1	9,6	21,8	13,5	112,1	68,2	0,0	25,7	33,8	40,9	17,6	17,0
BM9_8	35,1	9,6	21,8	13,5	112,1	68,2	0,0	25,7	33,8	40,9	17,6	17,0
Normal	35,1	5,5	5,1	7,0	27,1	35,1	3,4	10,0	48,9	47,2	10,5	10,0

Verglichen mit allen anderen erarbeiteten Optimierungsvarianten ergibt die Inbetriebnahme des Generator 5 als PV-Knoten und einer Einspeiseleistung von 43,5MVA ähnliche Ergebnisse wie im IST-Zustand. Alle BM-Auslastungen sind im Vergleich zu anderen Varianten nur marginal überhöht und dementsprechend fördernd zur optimalen BM-Lebensdauer. Eine Änderung der Längskupplungen im HKW I ist bei Inbetriebnahme des G5 zwingend erforderlich. Die Verschaltung der Sammelschienen im ungestörten Schaltzustand wurde dem dauerhaften Ausfall des Generators 5 angepasst und ist in dieser Variante nicht sinnvoll und müsste angepasst werden.

Die Is-Begrenzer Auslastungen zeigen, dass im Falle einer Revitalisierung des Generators 5 eine Lastverlegung (Grp. 5 und Grp. 6) bzw. eine Erzeugungsanpassung stattfinden muss, um gleichmäßige Auslastungen zu erzielen. Der große Vorteil der Wiederinbetriebnahme ist die allgemein steigende Betriebssicherheit und speziell für die betrachteten Ausfallsszenarien in HKW II der „beliebige“ Leistungsvorbehalt seitens des HKW I.

6.9 Grafische Darstellung der Einzelfehlerbetrachtung

Die grafische Darstellung der Auslastungen von den el. BM soll die Lastflussoptimierung darstellen. Anhand der gleichmäßigen Verteilungen und Reduktion der Auslastung an den BM, sollen die lebensdauerverlängernden Maßnahmen und die höheren Reserven der Übertragungskapazität grafisch hervorgehoben werden. Von innen nach außen hin sind die Auslastungen in Prozent aufgetragen. Rund um die Spinnennetzdarstellung sind die betrachteten Betriebsmittel angeführt. Die Legende unten zeigt, farblich gekennzeichnet, den Netzzustand im Einzelfehlerszenario, wie er in Tabelle 22 definiert wurde.

Die Ergebnisse dienen einerseits dem übersichtlichen Vergleich der simulierten Varianten und andererseits kann im Fehlerfalle rasch ein Überblick gefährdeter oder hochausgelasteter BM ersehen werden.

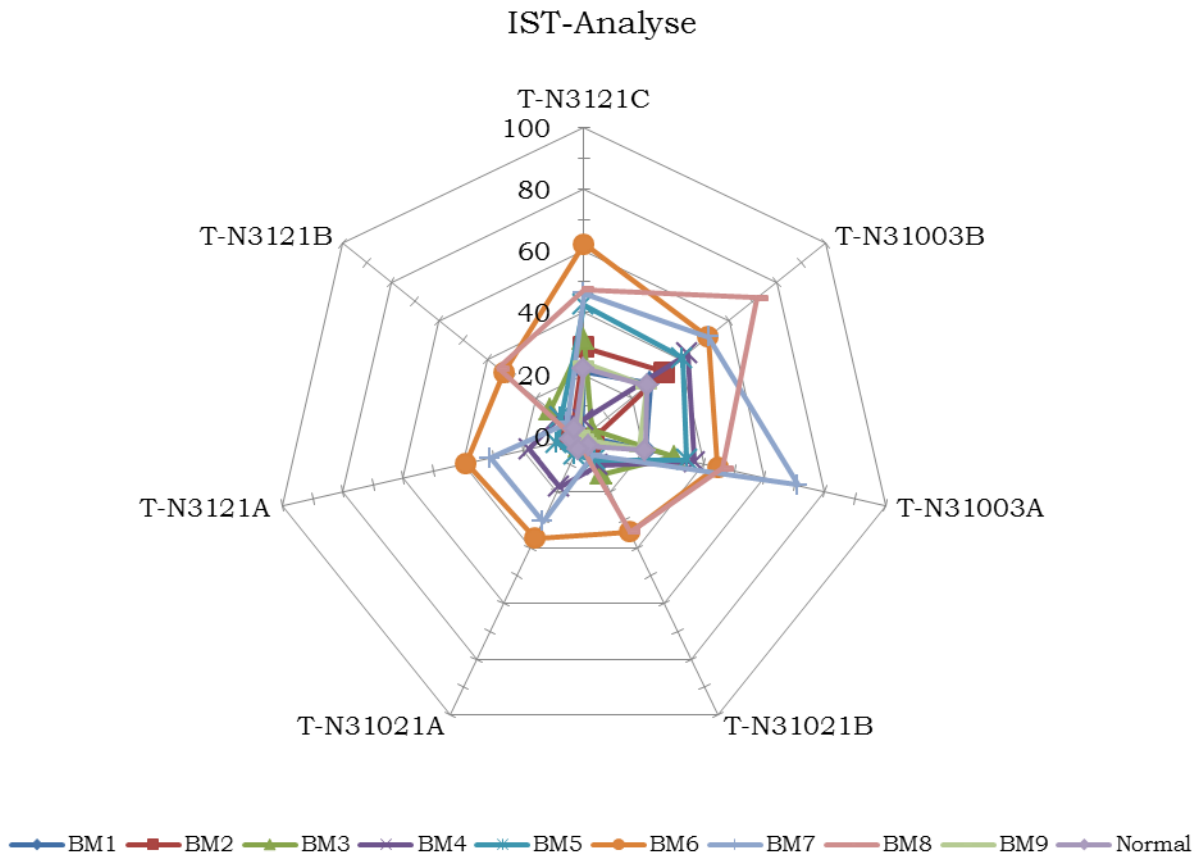


Abbildung 51: Trafobelastung in Prozent bei Einzelfehlerbetrachtung

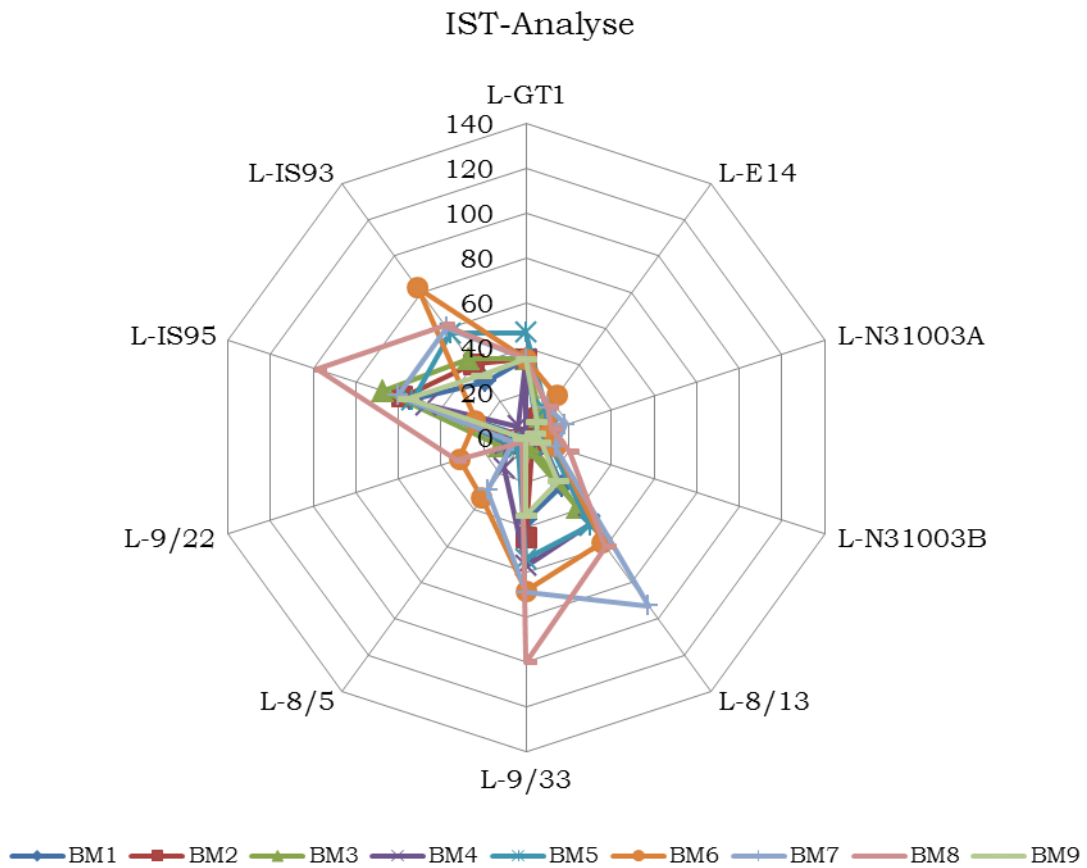


Abbildung 52: Leitungsbelastung in Prozent bei Einzelfehlerbetrachtung

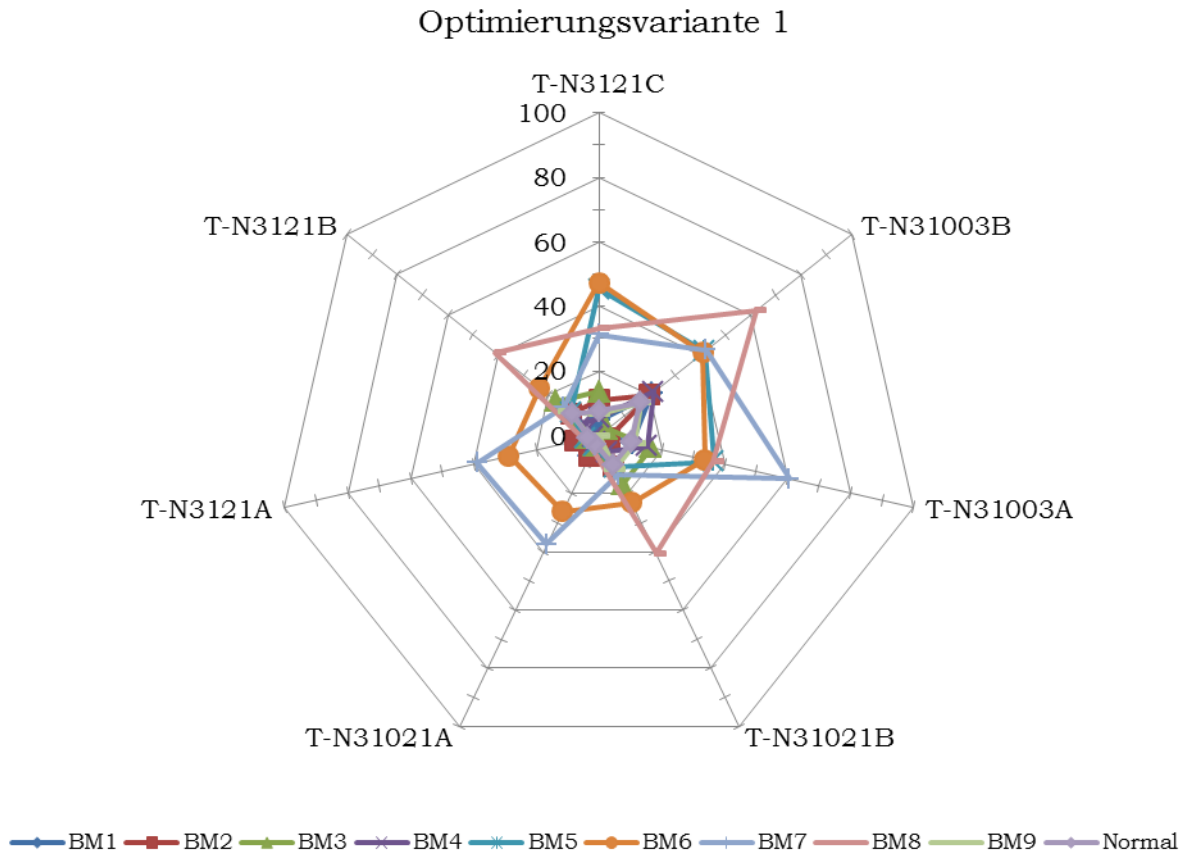


Abbildung 53: Trafobelastung in Prozent bei Einzelfehlerbetrachtung

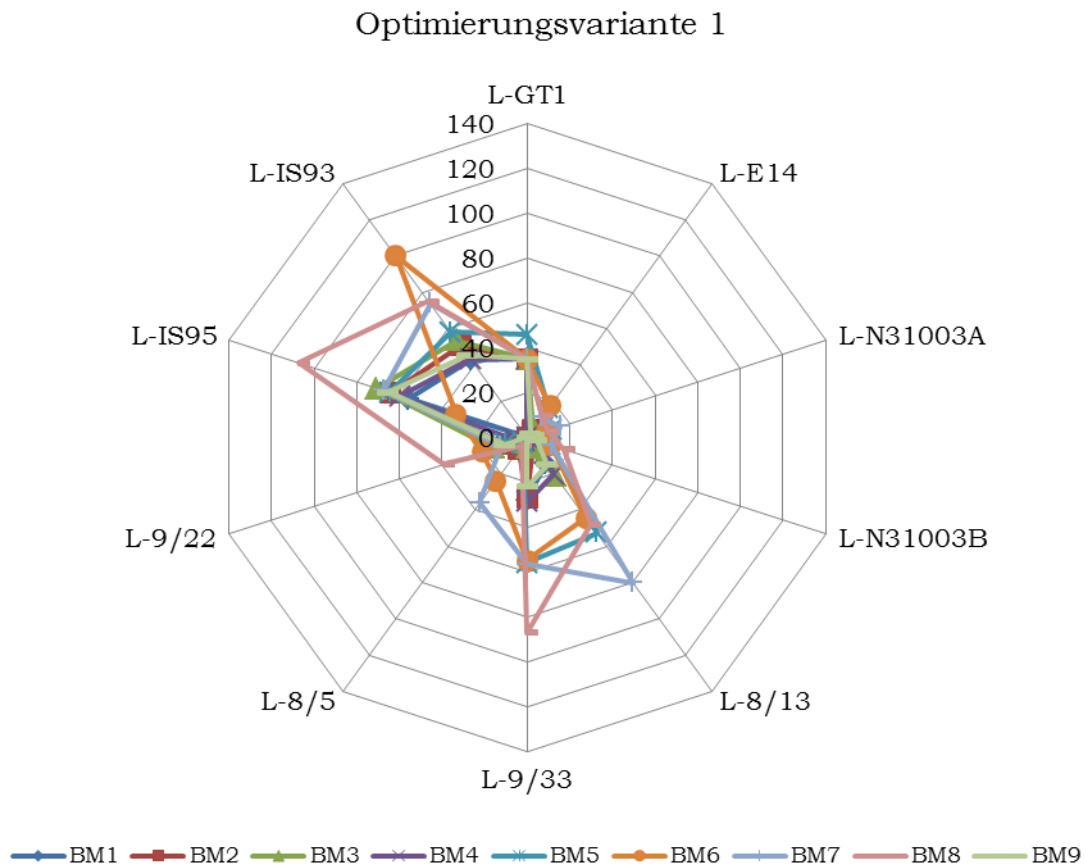


Abbildung 54: Leitungsbelastung in Prozent bei Einzelfehlerbetrachtung

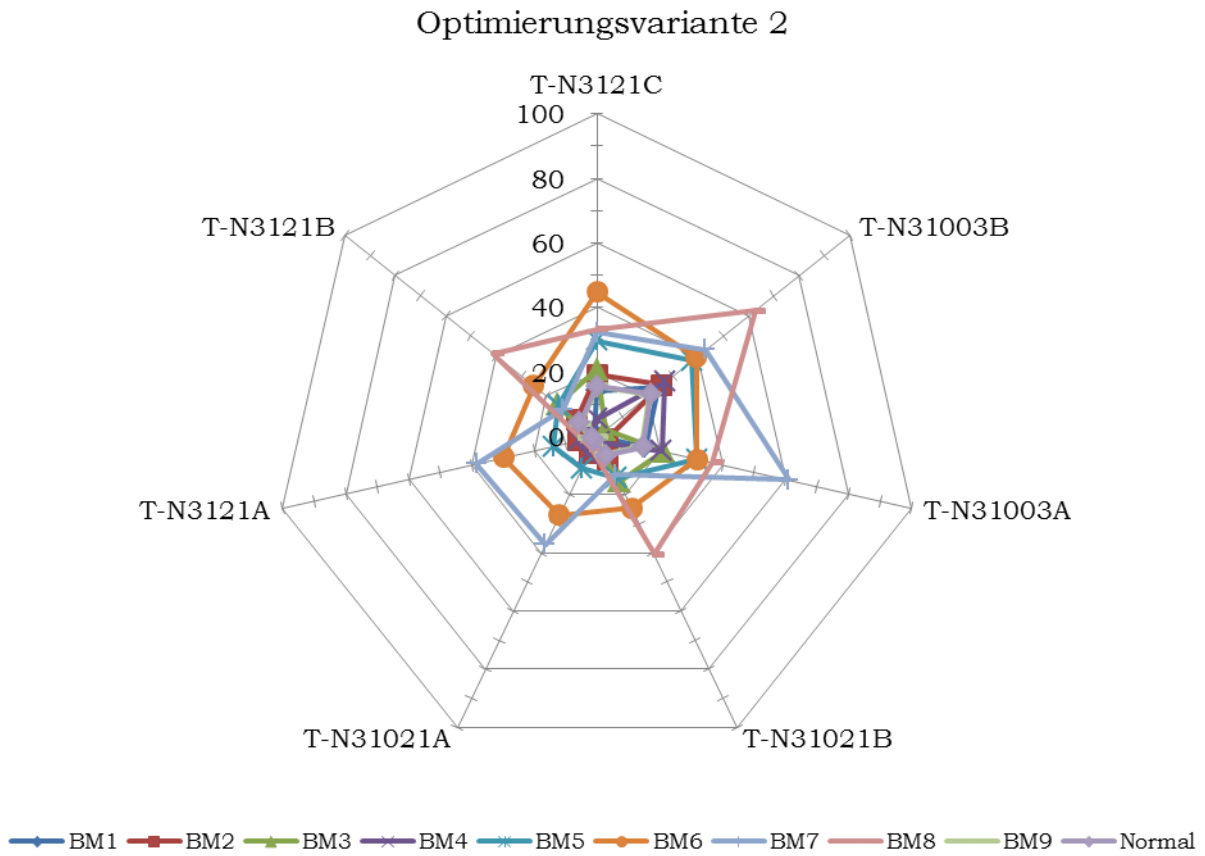


Abbildung 55: Trafobelastung in Prozent bei Einzelfehlerbetrachtung

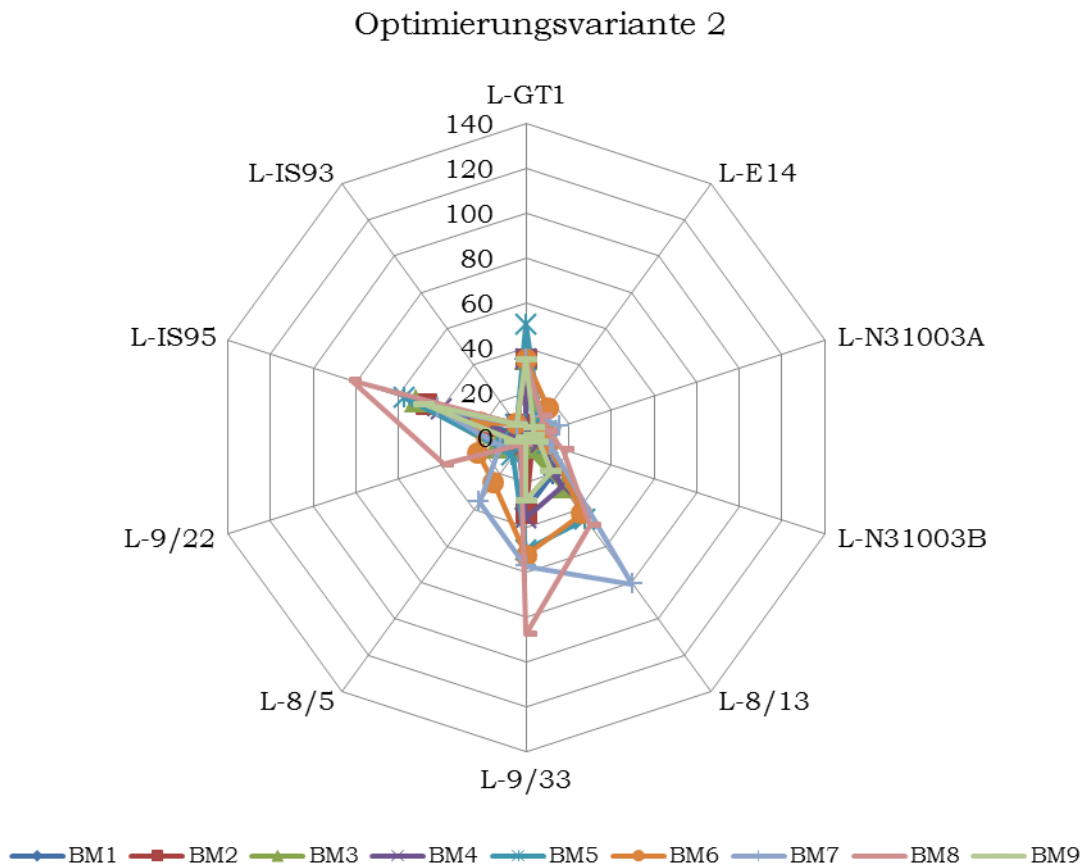


Abbildung 56: Leitungsbelastung in Prozent bei Einzelfehlerbetrachtung

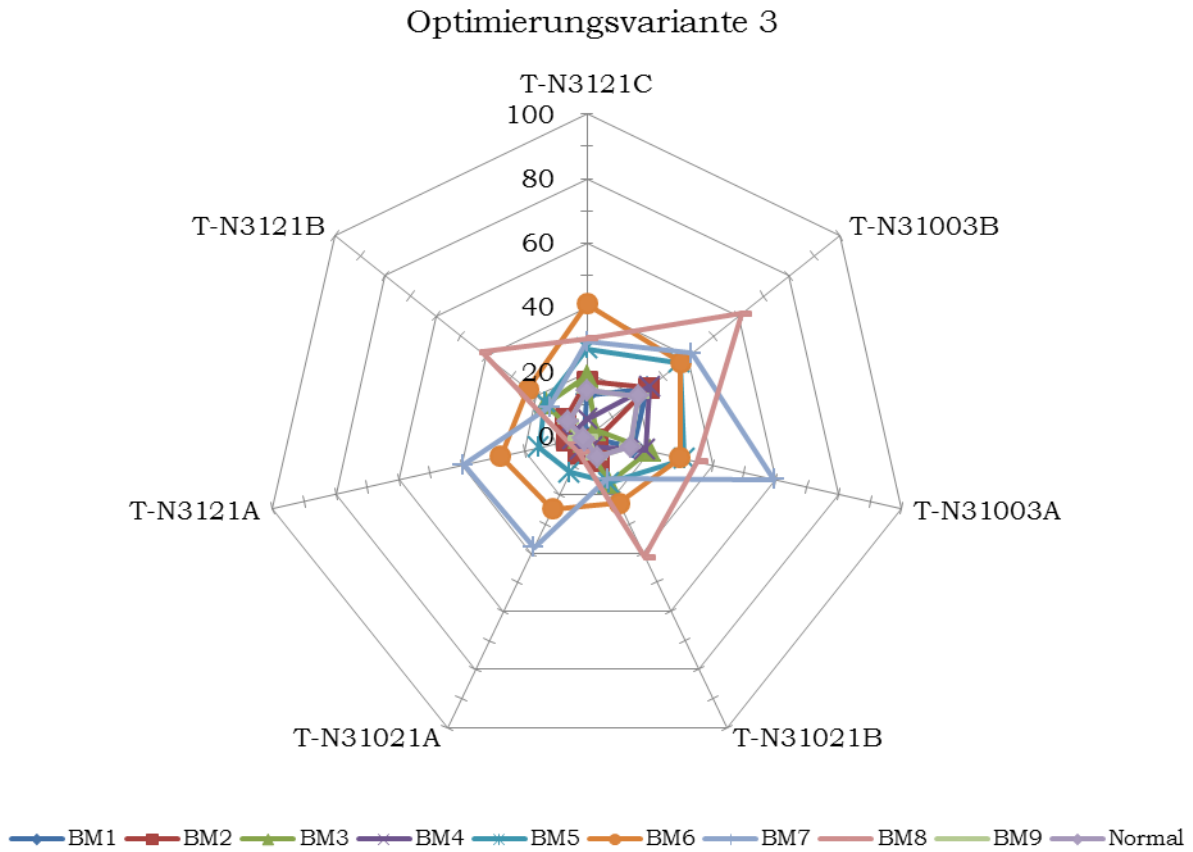


Abbildung 57: Trafobelastung in Prozent bei Einzelfehlerbetrachtung

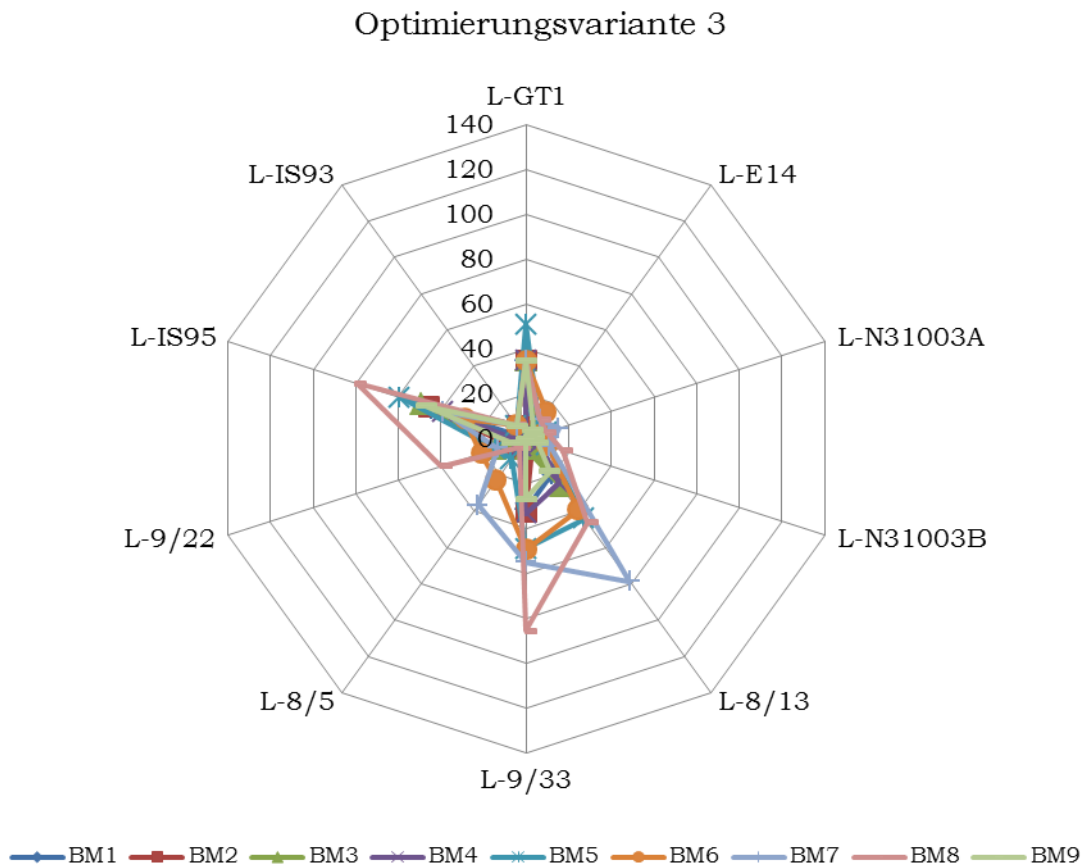


Abbildung 58: Leitungsbelastung in Prozent bei Einzelfehlerbetrachtung

Optimierungsvariante 4

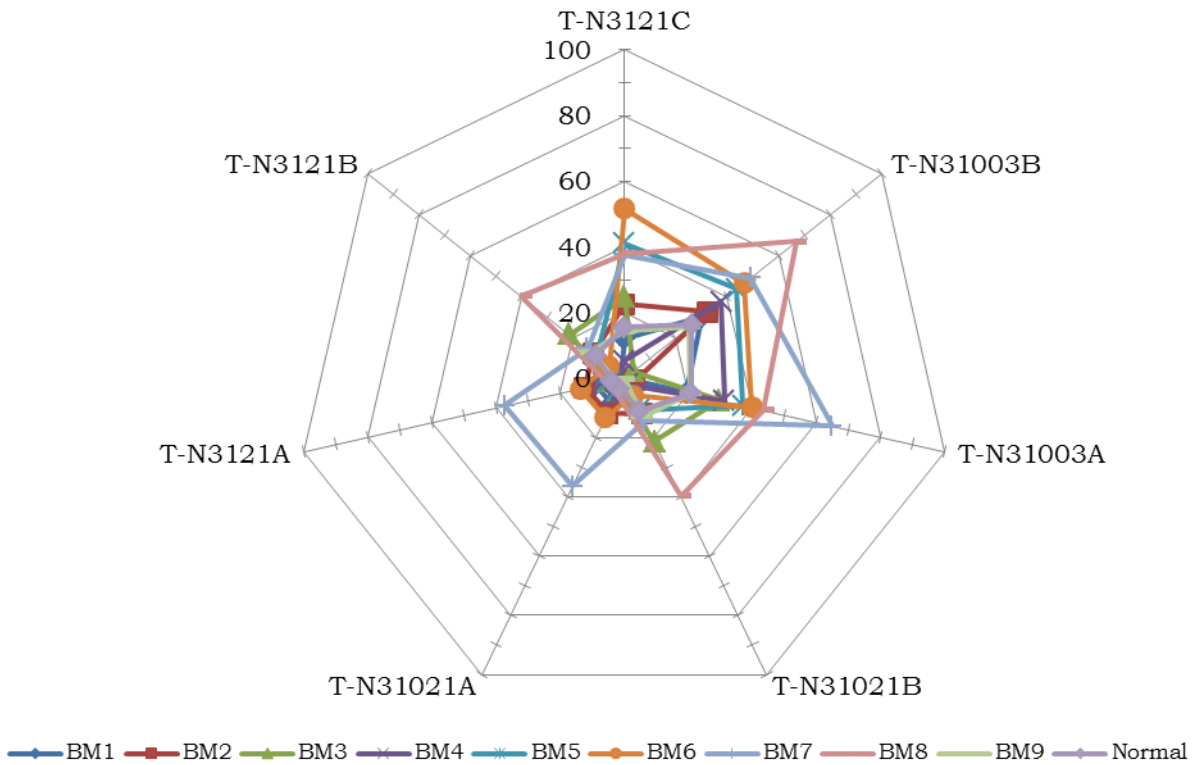


Abbildung 59: Trafobelastung in Prozent bei Einzelfehlerbetrachtung

Optimierungsvariante 4

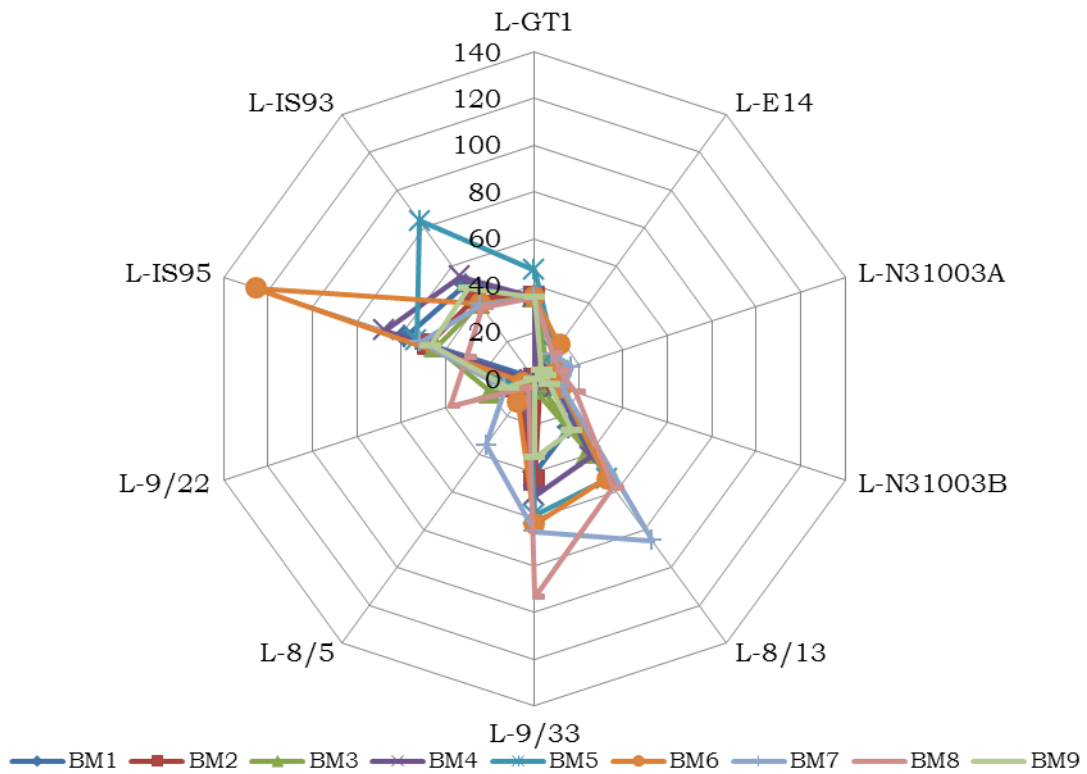


Abbildung 60: Leitungsbelastung in Prozent bei Einzelfehlerbetrachtung

6.10 Kurzschlussberechnung

6.10.1 KS-Berechnung in Neplan

Es wird durch die Simulation eines dreipoliger Kurzschluss, in den einzelnen Schalthäuser eine Überprüfung der maximal erlaubten KS-Ströme durchgeführt. Bevor die Simulation in Neplan gestartet wurde, sind die Verbindungen der Is-Begrenzer in HKW I geöffnet worden. Die resultierenden KS-Ströme sind durch Fehlerstellen an der Sammelschiene des betroffenen SH nachgebildet worden. Dabei wird nicht berücksichtigt, dass der betroffene Abgang des Schaltfeldes keine Beitrag zur Fehlerstelle hat. Eine weitere Reduktion des tatsächlich zu schaltenden KS-Stromes kann angepasst an die Schutzauslösezeiten, aufgrund des in einer e-Funktion abklingenden subtransienten KS-Stromes I_k'' , durchgeführt werden. Die Höhe bzw. die zeitliche Abhängigkeit des Stromes einer elektrischen Maschine hängt von dem Verhältnis X/R ab. Prinzipiell steigt das Verhältnis mit der Größe der Maschine und ergibt somit ein schwächeres Abklingen des KS-Stromes.

6.10.2 Ist-Analyse

Tabelle 45: KS-Ergebnisse IST-Analyse

Schalthaus	Schiene	BJ	Ikmax	Ik"(L1)	Sk"(L1)	ip(L1)
	-	JJJJ	kA	kA	MVA	kA
HKW I	GR3/1	1969	48,0	48,3	501,7	124,0
	GR4/1	1971	63,0	48,3	501,7	124,0
	GR5/1	1971	63,0	23,4	243,7	55,6
	GR5/2	1971	63,0	49,6	515,0	122,3
	GR6/2	1971	63,0	49,6	515,1	122,3
HKW II	GR8/1	1977	78,0	73,3	761,2	181,9
	GR9/1	1977	78,0	70,5	732,2	174,7
SH 1	D1	2003	40,0	15,5	161,0	37,1
	D2	2003	40,0	22,3	231,3	54,4
	E1	2003	40,0	16,0	166,2	38,1
	E2	2003	40,0	22,3	232,0	54,5
	H1	2003	40,0	15,4	160,2	36,9
	H2	2003	40,0	23,7	246,1	57,7
SH 2	B-SH2/1	2002	40,0	21,7	225,6	50,3
	B-SH2/2	2002	40,0	26,0	270,1	60,3
SH 3	SH3/1	1971	28,9	18,2	189,2	41,4
	SH3/2	1971	28,9	19,3	201,0	44,8
SH 4	B-SH4/1	1971	28,9	17,3	179,6	39,0
SH 5	SH5/1	1977/2004	28,9/40	25,5	265,0	62,7
	SH5/2	1977/2004	28,9/40	25,1	260,9	61,8
SH 6	SH6/1	1980	28,9	19,6	203,7	47,2
	SH6/2	1980	28,9	21,0	218,3	50,6
SH 7	B-SH7/a	2007	63,0	37,4	388,3	100,4
	B-SH7/2a	2007	63,0	40,5	420,6	107,5
K1	K1/1	1959	28,9	13,3	138,1	31,3
	K1/2	1959	28,9	17,6	183,2	38,7
K2	K2/1	1959	28,9	13,3	137,9	31,2
	K2/2	1959	28,9	17,7	183,5	38,8
K3	K3/1	1971	28,9	18,0	186,6	43,7
	K3/2	1971	28,9	7,1	74,2	13,5
K4	K4/1	1971	28,9	17,9	186,3	43,5
	K4/2	1971	28,9	7,1	74,3	13,6
K5	K5/1	1978	28,9	14,7	153,2	30,0
	K5/2	1978	28,9	18,5	192,5	43,4
K6	K6/1	1978	28,9	14,7	153,2	30,0
	K6/2	1978	28,9	18,5	192,5	43,4
K7	K7/1	1978	28,9	18,4	191,0	43,3
	K7/2	1978	28,9	20,1	209,2	48,6
K8	K8/1	1978	28,9	18,4	191,0	43,3
	K8/2	1978	28,9	20,1	209,2	48,6

6.10.3 Optimierungsvariante 1**Tabelle 46: KS-Ergebnisse Optimierungsvariante**

Schalthaus	Schiene	BJ	Ikmax	Ik"(L1)	Sk"(L1)	ip(L1)
	-	JJJJ	kA	kA	MVA	kA
HKW I	GR3/1	1969	48,0	39,0	405,0	102,5
	GR4/1	1971	63,0	39,0	405,0	102,5
	GR5/1	1971	63,0	23,3	241,7	55,6
	GR5/2	1971	63,0	50,0	520,0	125,7
	GR6/2	1971	63,0	50,0	520,0	125,7
HKW II	GR8/1	1977	78,0	73,6	765,3	184,6
	GR9/1	1977	78,0	70,4	731,4	174,8
SH 1	D1	2003	40,0	15,4	160,2	37,1
	D2	2003	40,0	22,4	232,3	55,1
	E1	2003	40,0	15,9	165,3	38,2
	E2	2003	40,0	22,4	233,1	55,1
	H1	2003	40,0	15,3	159,4	37,0
	H2	2003	40,0	23,8	247,1	58,4
SH 2	B-SH2/1	2002	40,0	21,8	226,6	50,8
	B-SH2/2	2002	40,0	26,0	270,0	60,3
SH 3	SH3/1	1971	28,9	17,0	177,1	39,4
	SH3/2	1971	28,9	19,4	201,3	44,9
SH 4	B-SH4/1	1971	28,9	17,3	180,2	39,3
SH 5	SH5/1	1977/2004	28,9/40	25,5	265,3	63,0
	SH5/2	1977/2004	28,9/40	25,1	260,8	61,8
SH 6	SH6/1	1980	28,9	19,6	204,0	47,4
	SH6/2	1980	28,9	21,0	218,2	50,6
SH 7	B-SH7/a	2007	63,0	43,6	453,3	114,9
	B-SH7/2a	2007	63,0	43,6	452,8	114,6
K1	K1/1	1959	28,9	13,2	137,5	31,3
	K1/2	1959	28,9	17,7	183,5	38,8
K2	K2/1	1959	28,9	13,2	137,4	31,2
	K2/2	1959	28,9	17,7	183,7	38,9
K3	K3/1	1971	28,9	18,0	187,2	44,0
	K3/2	1971	28,9	7,1	74,2	13,5
K4	K4/1	1971	28,9	18,0	186,9	43,9
	K4/2	1971	28,9	7,1	74,2	13,5
K5	K5/1	1978	28,9	14,8	153,7	30,2
	K5/2	1978	28,9	18,5	192,7	43,5
K6	K6/1	1978	28,9	14,8	153,7	30,2
	K6/2	1978	28,9	18,5	192,7	43,5
K7	K7/1	1978	28,9	18,4	191,6	43,7
	K7/2	1978	28,9	20,1	209,2	48,6
K8	K8/1	1978	28,9	18,4	191,6	43,7
	K8/2	1978	28,9	20,1	209,2	48,6

6.10.4 Optimierungsvariante 2

Tabelle 47: KS-Ergebnisse Optimierungsvariante 2

Schalthaus	Schiene	BJ	Ikmax	Ik''(L1)	Sk''(L1)	ip(L1)
	-	JJJJ	kA	kA	MVA	kA
HKW I	GR3/1	1969	48,0	33,3	345,7	82,3
	GR4/1	1971	63,0	33,3	345,7	82,3
	GR5/1	1971	63,0	35,2	365,3	88,7
	GR5/2	1971	63,0	65,9	684,4	170,0
	GR6/2	1971	63,0	65,9	684,4	170,0
HKW II	GR8/1	1977	78,0	74,3	771,9	186,5
	GR9/1	1977	78,0	73,0	758,1	180,9
SH 1	D1	2003	40,0	19,6	204,1	48,8
	D2	2003	40,0	25,0	260,2	62,2
	E1	2003	40,0	20,2	209,8	49,9
	E2	2003	40,0	25,1	260,7	62,1
	H1	2003	40,0	19,5	203,2	48,6
	H2	2003	40,0	26,6	276,4	65,9
SH 2	B-SH2/1	2002	40,0	24,1	250,7	56,3
	B-SH2/2	2002	40,0	26,3	273,1	60,9
SH 3	SH3/1	1971	28,9	16,1	167,2	36,7
	SH3/2	1971	28,9	19,4	201,7	45,0
SH 4	B-SH4/1	1971	28,9	18,7	194,4	42,3
SH 5	SH5/1	1977/2004	28,9/40	25,6	265,9	63,1
	SH5/2	1977/2004	28,9/40	25,3	263,4	62,4
SH 6	SH6/1	1980	28,9	19,7	204,4	47,5
	SH6/2	1980	28,9	21,2	220,1	51,0
SH 7	B-SH7/a	2007	63,0	37,4	389,1	100,6
	B-SH7/2a	2007	63,0	40,6	421,5	107,7
K1	K1/1	1959	28,9	15,6	162,3	37,7
	K1/2	1959	28,9	17,7	183,8	38,9
K2	K2/1	1959	28,9	15,6	162,1	37,6
	K2/2	1959	28,9	17,7	184,1	39,0
K3	K3/1	1971	28,9	19,6	203,2	48,1
	K3/2	1971	28,9	7,2	75,2	13,8
K4	K4/1	1971	28,9	19,5	202,9	47,9
	K4/2	1971	28,9	7,2	75,3	13,8
K5	K5/1	1978	28,9	15,9	165,0	32,2
	K5/2	1978	28,9	18,6	193,1	43,6
K6	K6/1	1978	28,9	15,9	165,0	32,2
	K6/2	1978	28,9	18,6	193,1	43,6
K7	K7/1	1978	28,9	20,0	207,7	47,5
	K7/2	1978	28,9	20,3	211,1	49,0
K8	K8/1	1978	28,9	20,0	207,7	47,5
	K8/2	1978	28,9	20,3	211,1	49,0

6.10.5 Optimierungsvariante 3**Tabelle 48: KS-Ergebnisse Optimierungsvariante 3**

Schalthaus	Schiene	BJ	Ikmax	Ik"(L1)	Sk"(L1)	ip(L1)
	-	JJJJ	kA	kA	MVA	kA
HKW I	GR3/1	1969	48,0	32,4	336,2	79,5
	GR4/1	1971	63,0	32,4	336,2	79,5
	GR5/1	1971	63,0	23,0	239,0	54,7
	GR5/2	1971	63,0	65,8	684,3	170,0
	GR6/2	1971	63,0	65,8	684,3	170,0
HKW II	GR8/1	1977	78,0	74,2	771,5	186,4
	GR9/1	1977	78,0	70,4	731,5	174,7
SH 1	D1	2003	40,0	15,3	159,1	36,7
	D2	2003	40,0	25,0	260,2	62,2
	E1	2003	40,0	15,8	164,2	37,7
	E2	2003	40,0	25,1	260,7	62,1
	H1	2003	40,0	15,2	158,2	36,5
	H2	2003	40,0	26,6	276,4	65,9
SH 2	B-SH2/1	2002	40,0	24,1	250,7	56,3
	B-SH2/2	2002	40,0	26,0	270,0	60,3
SH 3	SH3/1	1971	28,9	15,9	165,5	36,3
	SH3/2	1971	28,9	19,4	201,7	45,0
SH 4	B-SH4/1	1971	28,9	18,7	194,4	42,3
SH 5	SH5/1	1977/2004	28,9/40	25,6	265,8	63,1
	SH5/2	1977/2004	28,9/40	25,1	260,8	61,8
SH 6	SH6/1	1980	28,9	19,7	204,4	47,5
	SH6/2	1980	28,9	21,0	218,2	50,6
SH 7	B-SH7/a	2007	63,0	37,4	388,4	100,4
	B-SH7/2a	2007	63,0	40,5	420,7	107,5
K1	K1/1	1959	28,9	13,2	136,8	31,0
	K1/2	1959	28,9	17,7	183,7	38,9
K2	K2/1	1959	28,9	13,2	136,7	31,0
	K2/2	1959	28,9	17,7	184,0	38,9
K3	K3/1	1971	28,9	19,6	203,2	48,1
	K3/2	1971	28,9	7,1	74,2	13,5
K4	K4/1	1971	28,9	19,5	202,9	47,9
	K4/2	1971	28,9	7,1	74,2	13,5
K5	K5/1	1978	28,9	15,9	165,0	32,2
	K5/2	1978	28,9	18,6	193,1	43,6
K6	K6/1	1978	28,9	15,9	165,0	32,2
	K6/2	1978	28,9	18,6	193,1	43,6
K7	K7/1	1978	28,9	20,0	207,6	47,5
	K7/2	1978	28,9	20,1	209,2	48,6
K8	K8/1	1978	28,9	20,0	207,6	47,5
	K8/2	1978	28,9	20,1	209,2	48,6

6.10.6 Optimierungsvariante 4

Tabelle 49: KS-Ergebnisse Optimierungsvariante 4

Schalthaus	Schiene	BJ	Ikmax	Ik''(L1)	Sk''(L1)	ip(L1)
	-	JJJJ	kA	kA	MVA	kA
HKW I	GR3/1	1969	48,0	50,1	521,2	129,4
	GR4/1	1971	63,0	50,1	521,1	129,4
	GR5/1	1971	63,0	68,8	715,4	172,2
	GR5/2	1971	63,0	50,0	520,1	125,7
	GR6/2	1971	63,0	50,0	520,1	125,7
HKW II	GR8/1	1977	78,0	73,9	767,5	185,1
	GR9/1	1977	78,0	76,1	791,1	187,5
SH 1	D1	2003	40,0	26,6	276,5	65,6
	D2	2003	40,0	22,4	232,3	55,1
	E1	2003	40,0	27,2	282,3	66,6
	E2	2003	40,0	22,4	233,1	55,1
	H1	2003	40,0	26,5	275,6	65,4
	H2	2003	40,0	23,8	247,1	58,4
SH 2	B-SH2/1	2002	40,0	21,8	226,6	50,8
	B-SH2/2	2002	40,0	26,6	276,7	61,5
SH 3	SH3/1	1971	28,9	18,4	191,2	41,9
	SH3/2	1971	28,9	19,4	201,4	44,9
SH 4	B-SH4/1	1971	28,9	17,3	180,2	39,3
SH 5	SH5/1	1977/2004	28,9/40	25,5	265,5	63,0
	SH5/2	1977/2004	28,9/40	25,6	266,5	63,0
SH 6	SH6/1	1980	28,9	19,6	204,1	47,4
	SH6/2	1980	28,9	21,4	222,3	51,4
SH 7	B-SH7/a	2007	63,0	37,4	388,4	100,4
	B-SH7/2a	2007	63,0	40,5	420,7	107,5
K1	K1/1	1959	28,9	18,9	196,4	45,3
	K1/2	1959	28,9	17,7	183,6	38,8
K2	K2/1	1959	28,9	18,9	196,1	45,2
	K2/2	1959	28,9	17,7	183,9	38,9
K3	K3/1	1971	28,9	18,0	187,2	44,0
	K3/2	1971	28,9	7,3	76,4	14,1
K4	K4/1	1971	28,9	18,0	186,9	43,9
	K4/2	1971	28,9	7,4	76,4	14,1
K5	K5/1	1978	28,9	14,8	153,7	30,2
	K5/2	1978	28,9	18,6	192,8	43,5
K6	K6/1	1978	28,9	14,8	153,7	30,2
	K6/2	1978	28,9	18,6	192,8	43,5
K7	K7/1	1978	28,9	18,4	191,6	43,7
	K7/2	1978	28,9	20,5	213,3	49,5
K8	K8/1	1978	28,9	18,4	191,6	43,7
	K8/2	1978	28,9	20,5	213,3	49,5

6.11 Erweiterungsanalyse

Die zusätzliche Installation von Verbrauchern in einem SH erfordert neben einem freien Schaltfeld eine Überprüfung der Grenzwerte für KS-Ströme sowie dauerhaften Strombelastung. Die KS-Ströme im dreipoligen Fehlerfall sind den Ergebnistabellen zuvor zu entnehmen. Die Leitungsauslastung zu den SH sind in Tabelle 50 aufgelistet und berücksichtigt, dass in den SH jeder Verbraucher in Betrieb ist.

Tabelle 50: Leitungsauslastung zu den SH, IST-Analyse

SH	SH1D	SH1D	SH1E	SH1E	SH1H	SH1H	SH2	SH2	SH3	SH3	SH4	SH4	SH5	SH5	SH6	SH6
LTG	5/30	Drk21	DK23	DK22	5/37	D-208	DK24	9/21	4/53	8/4	6/57	9/27	8/8	9/25	8/12	9/31
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
	35	17	20	30	13	29	26	30	60	48	56	135	48	46	39	53

In den nachfolgenden Tabellen sehen Sie die Leistungsangaben der BM, um die SH 4, SH 5 und SH 6 erweitert werden sollen.

Tabelle 51: Trafoliste

BM	S
--	VA
Trafo	3,15
Trafo	3,15

Tabelle 52: Verbraucher Liste

BM	P	cos phi
--	W	--
Motor	2	0,85
Motor	2	0,85
Motor	0,5	0,85
Motor	0,5	0,85

In den Simulationen wird die Auslastung der Zuleitung im ungestörten Betriebszustand und bei geschlossener Querkupplung zwischen SH 5/1 und SH 5/2 bzw. gleiches für SH 4, SH 6 dargestellt. Die Querkupplung dient der zusätzlichen Versorgungssicherheit bei Ausfall der Zuleitung zur jeweiligen Sammelschiene bzw. bei Erzeugerausfällen zur Umschaltung. Die Zuleitung muss von ihrer Dimensionierung im Stande sein beide Sammelschienen zu versorgen. Die durchgeführten Simulationen berücksichtigen im Gegensatz zur Tabelle 50 den ungestörten realen Schaltzustand.

6.11.1 Erweiterung im SH 4

Im SH 4 ergibt sich eine Erweiterungsmöglichkeit an der SS 1, bei der Schaltfeld 17 als Reservefeld vorbehalten wurde. In Tabelle 53 sind die Auslastungen im ungestörten realen Schaltzustand und die Versorgung der beiden SS über jeweils ein Kabel (Worst Case) angeführt. Der Anschluss zusätzlicher ASM erhöht den max. erreichbaren KS-Strom an der Fehlerstelle, der zur Überprüfung der Einhaltung des maximal erlaubten KS-Strom, angegeben ist.

Tabelle 53: Simulationsergebnisse, Erweiterung im SH 5

		Ungestörter Schaltzustand	Worst Case	KS
		%	%	kA
SH 5/1	L6/57	68,8	102	22kA (+1,3)
	L9/27	107	200	

Die Installation und Erweiterung der oben angeführten Maschinen ergibt keine Überlastungen der Leitung L6/57 im ungestörten Zustand. Die Worst-Case-Simulation zeigt eine geringe Überlastung die nicht ideal, jedoch noch zulässig ist. Das Ergebnis der Leitung 9/27 zeigt, dass eine Versorgung im ungestörten Betriebszustand bereits eine Überhöhung des maximal erlaubten Betriebsstromes ergibt. Somit kann die Versorgung beider SS im Fehlerfalle nicht durchgeführt werden.

6.11.2 Erweiterung im SH 5

Im SH 5 ergibt sich eine Erweiterungsmöglichkeit an der SS 1, bei der Schaltfeld 9 als Reserve vorbehalten wurde. In Tabelle 55 sind die Auslastungen im ungestörten realen Schaltzustand und die Versorgung der beiden SS über jeweils ein Kabel (Worst Case) angeführt.

Tabelle 54: Simulationsergebnisse, Erweiterung im SH 5

		Ungestörter Schaltzustand	Worst Case	KS
		%	%	kA
SH 5/1	L8/8	56	91	27,5 (+1,3)
	L9/25	32	91	

Die Installation und Erweiterung um die oben angeführten Maschinen ergibt keine Überlastungen der Leitungen. Der Beitrag der ASM-Gruppe im KS-Fall beträgt 1,3kA und befindet sich innerhalb des maximal erlaubten.

6.11.3 Erweiterung im SH 6

Im SH 5 ergibt sich eine Erweiterungsmöglichkeit an der SS 1, bei der Schaltfeld 10 als Reserve vorbehalten wurde. In Tabelle 57 sind die Auslastungen im ungestörten realen Schaltzustand und die Versorgung der beiden SS über jeweils ein Kabel (Worst Case) angeführt.

Tabelle 55: : Simulationsergebnisse, Erweiterung im SH 6

		Ungestörter Schaltzustand	Worst Case	KS
		%	%	kA
SH 6/1	L8/12	52	104	21 (+1,3)
	L9/31	48	103	

Die Installation und Erweiterung um die oben angeführten Maschinen ergibt keine Überlastungen der Leitungen. Die Belastungen im Worst-Case-Fall sind leicht überhöht. Da es sich jedoch nicht um einen Dauerzustand handelt ist ein Betrieb in einer solchen Höhe legitim. Der Beitrag der ASM-Gruppe im KS-Fall beträgt 1,3kA und befindet sich innerhalb des maximal erlaubten.

7 Zusammenfassung

Die Diversität von elektrischen Betriebsmitteln in einem historisch gewachsenen Elektroenergiesystem eines Industriebetriebes führt zu einer hohen Komplexität im Bereich der Instandhaltung und Betriebsführung. Ein Neubau bzw. die Erweiterung einer Produktionslinie verlangt eine sorgfältige Projektierung und Berücksichtigung, intakter und auch teils veralteter Betriebsmittel. Ein Anstieg des Energiebedarfes fordert einen Zuwachs an elektrischen Komponenten für die Energieverteilung. Nicht selten werden Netzstrukturveränderungen zur Erhöhung Versorgungszuverlässigkeit anderer Bereiche genutzt, dass wiederum zu stärkeren Beanspruchungen von elektrischen Betriebsmitteln führt. Der hohe Kostenfaktor einer Reinvestition oder Tausch gealterter Betriebsmittel in und an einer bestehenden elektrischen Infrastruktur, erfordert den optimalen Einsatz der einzelnen Betriebsmittel. Die Kriterien eines optimalen Betriebes bzw. einer lebensdauerverlängernde Maßnahmen sind elektrischer, thermischer und elektrodynamischer Natur.

Während der Datenerhebung wurde die Vielfalt an unterschiedlichen BM-Ausführungen deutlich. Die vorhandenen Zustandsbewertungen von Generatoren und Transformatoren zeigen, dass die Isolationen in einem guten und betriebssicheren Zustand sind. Ausschlaggebend für das Ergebnis ist die Betriebsführung und die dementsprechende verminderte Auslastung der BM.

Der Fokus bei den Untersuchungen fiel auf die offenen Schaltanlagen, da diese mitunter die ältesten Betriebsmittel sind und das höchste Potential an Fehlerquellen darstellt. Wenn man die Ergebnisse der Temperaturwerte bei Nennbetrieb an den Schaltanlagen betrachtet, wurden keine Überhöhungen festgestellt. Die jährliche Sichtkontrolle und Wärmebildaufnahme zur Materialzustandsüberwachung ist ratsam. Bei den feststoffisolierten Schaltanlagen kann keine Aussage über den Schalterzustand getroffen werden, da die Temperatur lediglich an der Gießharz-Isolierung ermittelt wird. Die Temperaturmaxima bei den offenen Schaltanlagen sind bei gegebener Auslastung nicht gefährdend. Es erfolgte eine Temperaturkorrektur gemäß 5.5.6 an der geringsten Auslastung und der höchsten Auslastung. Beide Werte sind in einem sicheren Abstand zu Materialgrenzwerten.

Die Einfach- und Mehrfachfehlerbetrachtungen der Ist-Analyse verdeutlichen, dass es beim Ausfall diverser Betriebsmittel zu erhöhten Beanspruchungen kommt. Vorschläge zur Betriebsmittelentlastung oder adäquaten Lastflussverteilung sind in den Optimierungsvarianten erarbeitet worden. Die Optimierungsvarianten verdeutlichen den Vorteil einer Erzeugungs-/Einspeiseerhöhung in HKW I, oder einer Leistungsreduktion durch Lastverlegungen aus HKW I, die auf den Ausfall des Generator 5 zurückzuführen sind.

Als besonders kritisch stellten sich die Verbindungsstellen vom SH 110kV zum HKW II heraus. Die Anbindung in die Schaltanlage des HKW II ist sekundärseitig mit 6kV durchgeführt. Die niedrige Sekundärspannung ruft einen dementsprechenden hohen umgekehrt proportionalen linearen Strom hervor, der einen entsprechenden Leiterquerschnitt und Betrieb mehrerer Kabelsysteme fordert. Nichts desto trotz wurden grenzwertige Auslastungen bei Einzelfehlerbetrachtungen festgestellt. Mittels Lastverschiebungen bzw. einer Erhöhung der Wirkleistungserzeugung im HKW II kann eine Überbeanspruchung verhindert werden.

Aus technischer Sicht ist die Einspeiseerhöhung auf den Generatorschienen im HKW I bzw. die Anbindung einer neuen Verbindung von SH 110kV zu HKW I zu empfehlen. Hierbei sind die deutlich verbesserten Lastflussverteilung im Betrieb als auch bei Fehlerbetrachtungen hervorzuheben. Aufgrund der beschränkten Ausbaumöglichkeiten am Raffineriegelände und hohen Zeitbeanspruchung bis zur Umsetzung, ergab sich durch die Simulation ein Optimum durch die Motorenverlegung aus HKW I in SH 7.

Die Simulationen berücksichtigen keine Schalthandlungen bzw. Wirk- und Blindleistungsregelung. Somit kann die Ist-Analyse zur Verschaffung eines Überblickes der Betriebsmittelauslastungen bei Ausfällen oder Revisionsarbeiten herangezogen werden.

8 Literaturverzeichnis

References

- [1] Hausinterne Unterlagen OMV, *Nicht Öffentlich Zugängliche Quelle*. WIEN: 2012.
- [2] Anonymous "Bundesgesetz über Sicherheitsmaßnahmen für Dampfkessel, Druckbehälter, Versandbehälter und Rohrleitungen," vol. BGBl. Nr. 211/1992, .
- [3] A. Schwab, *Elektroenergiesysteme*. Springer Heidelberg Dordrecht London New York; ISBN: 978-3-642-21957-3, 2007.
- [4] V. Crastan, *Elektrische Energieversorgung I*. Springer Berlin Heidelberg; ISBN: 978-3-540-69439-7, 2007.
- [5] W. Lick, "Analyseverfahren von Isolierstoffen, Skriptum zur Vorlesung," .
- [6] Datenblatt ELIN, "Drehstromturbogenerator Type DTG 139/2-324, Maschinenbeschreibung," 1970.
- [7] Datenblatt ABB, "Installations-, Bediengungs- und Wartungsanleitung, TYPE: UniGear ZS1," *Datenblatt*, 2002.
- [8] A. Hoppner, *Handbuch Für Planung Konstruktion Und Montage Von Schaltanlagen*. Mannheim: W. Giradet, Essen, 1965.
- [9] Datenblatt ABB, "Hochleistungs-Druckluft-Schnellschalter, TYPE: DB u. DBG," 1966.
- [10] Datenblatt ELIN, "Hochspannungsanlagen: Gießharzisierte Schaltwagenanlagen NI10 und 20 , TYPE AWJ 34," 1973.
- [11] Datenblatt ELIN, "Ölarme Leistungsschalter, TYPE: LG17," 1973.
- [12] ABB, *ABB Schaltanlagen Handbuch*. Cornelsen Lehrbuch; ISBN: 978-3464482353, 1999.
- [13] Datenblatt SIEMENS, *Operator-Handbuch Schaltanlage: TYPE: 8BK40*.
- [14] Datenblatt SIEMENS, *Vakuum-Leistungsschalter, TYPE: 3AH3*. 2004.
- [15] Datenblatt ABB, "Is-Begrenzer Das schnellste Schaltgerät der Welt," 2010.
- [16] A. Küchler, *Hochspannungstechnik*. Springer Berlin Heidelberg; ISBN: 978-3-540-78412-8, 2009.
- [17] R. Woschitz, *Hochspannungsleitungen, Skriptum Zur Vorlesung*. 2009.
- [18] B. Schindel, "Thermografie in der Theorie und Praxis," 2007.
- [19] NEPLAN, BCP Busarello + Cott + Partner Inc., ""HTML Help"," vol. 550, 2005.
- [20] Österreichische Kabelwerke Gesellschaft M.B.H., "OEKW," 1997.

9 Anhang

9.1 Kabelbezeichnung

Tabelle 56: Abkürzungsverzeichnis von Kabeltypen [20]

Energiekabel		E			
Sonderausführung	-	X	Bewehrung	Stahlband	B
Leiter	Kupfer	-		Stahlband verzinkt	5B
	Aluminium	A		Flachdraht	F
Isolierhülle	PVC	Y		Runddraht	R
	PE	2Y		Gegenwendelt	G
	VPE	2x		Druckschutz magnetisch	D
	Papier mit Masse-tränkung	P	Äußere Schutz-hülle	PVC	Y
Schirm	Feldeingrenzende, leitfähige Schichten über Leiter und Isolierung	H		PVC, verstärkt	Y3V
	Kupferschirm über jede Ader	CE		PE	2Y
	Gemeinsame Schirmung	C		PE, verstärkt	2Y3V
	Längswasserdicht	J		PE Schichten-mantel	A2Y
Innenmantel	PVC	Y	Ausführung	mit grün-gelber Ader	J
	PE	2Y		ohne grün-gelber Ader	0
Mantel	PVC	Y			
	PVC, verstärkt	Y3V	Leiterform	kreisförmig	R
	PE	2Y		sektorförmig	S
	PE, verstärkt	2Y3V		eindräftig	E
	Blei	M		mehrdräftig	M
	Blei mit Erhär-tungszusatz	2M			

9.1 Kombinationsvariante Optimierungsvariante 1 und 2

9.1.1 Simulationsergebnisse der Einzelfehlerbetrachtung

Tabelle 57: Trafoauslastung bei Einzelfehlerbetrachtung

	N3121C	N31003B	N31003A	N31021B	N31021A	N3121A	N3121B	N3121D
	%	%	%	%	%	%	%	%
BM1	3,6	20,5	10,1	0,0	8,0	8,5	1,2	2,8
BM2	7,5	17,7	3,2	11,9	7,7	8,2	12,2	5,8
BM3	9,0	3,4	13,4	17,6	5,2	5,6	17,9	6,9
BM4	5,5	17,0	10,8	9,6	2,5	2,9	9,9	6,7
BM5	32,7	36,4	31,7	14,6	8,3	10,7	15,4	23,3
BM6	33,8	32,6	25,4	17,6	18,9	21,4	18,4	26,6
BM7	21,8	36,9	55,6	17,9	40,7	42,1	18,3	16,6
BM8	23,1	57,5	30,6	44,1	9,2	9,7	44,9	16,9
BM9	4,8	15,4	10,9	12,6	0,0	2,6	13,0	3,6
Normal	5,6	15,0	8,9	11,1	3,9	4,3	11,4	4,2

Tabelle 58: Leitungsauslastung bei Einzelfehlerbetrachtung

	GT1	E14	N31003A	N31003B	8/13	9/33	8/5	9/22	IS95	IS93	110/52	110/62	E15
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
BM1	35,1	1,3	2,5	5,4	13,3	27,4	7,3	0,0	55,2	40,0	8,6	8,2	1,0
BM2	35,1	2,7	0,0	4,7	4,3	23,6	7,0	11,0	60,5	40,0	8,6	8,2	2,0
BM3	35,1	3,2	3,4	0,0	17,7	4,5	4,8	16,1	64,4	40,0	8,5	8,1	2,4
BM4	35,1	0,0	2,7	4,5	14,2	22,6	2,3	8,9	57,2	40,0	6,0	5,8	2,4
BM5	48,8	11,6	9,7	9,6	45,3	48,6	7,6	13,5	77,6	40,7	0,2	0,2	8,8
BM6	35,1	12,3	6,6	8,6	33,5	43,5	17,3	16,2	6,0	41,6	21,3	20,4	9,4
BM7	35,1	7,7	14,3	9,8	73,7	49,2	39,1	16,5	52,9	40,0	21,8	20,9	5,8
BM8	35,1	8,1	8,0	16,0	40,5	80,6	8,4	42,5	93,5	39,8	21,7	21,0	5,9
BM9	35,1	1,7	2,8	4,1	14,4	20,6	0,0	11,6	64,0	40,0	8,6	8,2	1,3
Normal	35,1	2,0	2,2	4,0	11,8	20,1	3,6	10,2	61,7	40,0	8,6	8,2	2,9

9.1.2 Simulationsergebnisse der Mehrfachfehlerbetrachtung

Tabelle 59: Trafoauslastung bei Mehrfachfehlerbetrachtung

	N3121C	N31003B	N31003A	N31021B	N31021A	N3121A	N3121B	N3121D
	%	%	%	%	%	%	%	%
BM1	3,6	20,5	10,1	0,0	8,0	8,5	1,2	2,8
BM1_2	5,3	24,0	3,2	0,0	12,8	13,4	1,2	4,0
BM1_3	7,0	3,4	19,3	0,0	14,5	15,1	1,2	5,4
BM1_4	5,5	21,2	11,0	0,0	6,8	7,3	1,2	4,0
BM1_5	31,1	42,0	34,5	0,0	15,0	17,4	1,1	22,2
BM1_6	35,9	31,7	25,3	0,0	24,3	27,1	1,1	28,5
BM1_7	17,8	46,0	57,4	0,0	46,0	47,9	1,2	13,6
BM1_8	13,8	77,9	35,1	0,0	24,9	25,8	1,2	10,6
BM2	7,5	17,7	3,2	11,9	7,7	8,2	12,2	5,8
BM2_3	14,0	3,4	3,2	21,2	12,2	12,8	21,5	10,3
BM2_4	5,5	21,8	3,2	10,0	6,5	7,0	10,4	10,1
BM2_5	36,8	43,6	3,2	18,1	13,0	15,4	18,8	25,2
BM2_6	39,4	40,8	3,2	17,7	17,4	20,3	18,6	31,0
BM2_7	33,9	53,0	2,8	22,9	63,1	67,5	23,2	25,8
BM2_8	30,1	65,8	3,2	46,6	23,7	24,5	47,5	22,9
BM3	9,0	3,4	13,4	17,6	5,2	5,6	17,9	6,9
BM3_4	5,5	3,4	18,5	16,5	2,5	2,9	16,8	12,4
BM3_5	37,4	3,4	38,4	22,6	11,3	13,9	23,2	25,6
BM3_6	41,1	3,4	35,9	22,5	17,4	20,1	23,2	32,3
BM3_7	31,1	3,4	66,4	34,2	43,3	45,0	34,6	23,7
BM3_8	36,1	2,9	47,7	67,1	14,2	14,8	69,4	27,5
BM4	5,5	17,0	10,8	9,6	2,5	2,9	9,9	6,7
BM4_5	5,5	44,9	39,0	10,5	2,3	2,7	10,9	33,2
BM4_6	5,0	45,5	37,8	24,1	28,3	30,6	24,5	42,7
BM4_7	5,5	45,4	63,2	11,4	36,0	36,9	11,7	27,7
BM4_8	5,5	64,9	39,1	39,2	2,7	3,1	39,7	28,6
BM5	32,7	36,4	31,7	14,6	8,3	10,7	15,4	23,3
BM5_6	29,7	43,4	36,1	33,9	36,0	42,1	33,6	22,6
BM5_7	32,7	36,4	31,7	14,6	8,3	10,7	15,3	24,9
BM5_8	50,9	51,4	45,9	51,0	10,4	11,0	52,4	35,4
BM6	33,8	32,6	25,4	17,6	18,9	21,4	18,4	26,6
BM6_7	50,9	55,9	75,6	25,7	22,6	24,1	26,3	40,7
BM6_8	51,9	75,4	48,3	27,0	25,8	28,9	27,2	41,6
BM7	21,8	36,9	55,6	17,9	40,7	42,1	18,3	16,6
BM7_8	38,7	83,0	87,5	53,1	49,6	53,6	54,7	30,0
BM8	23,1	57,5	30,6	44,1	9,2	9,7	44,9	16,9
BM9	4,8	15,4	10,9	12,6	0,0	2,6	13,0	3,6
BM9_1	2,7	23,3	15,5	0,0	0,0	2,6	1,2	2,0
BM9_2	6,5	20,6	0,1	16,5	0,0	2,6	16,9	4,9
BM9_3	8,0	3,4	16,4	19,8	0,0	2,6	20,2	6,1
BM9_4	5,5	17,0	11,8	10,8	0,0	2,6	11,1	5,9
BM9_5	31,0	37,5	33,1	18,0	0,0	2,6	18,5	23,6
BM9_6	37,3	32,0	20,6	23,3	0,0	2,5	23,4	28,4
BM9_7	13,7	41,1	79,6	32,0	0,0	2,6	32,3	10,5
BM9_8	13,7	41,1	79,6	32,0	0,0	2,6	32,3	10,5
Normal	5,6	15,0	8,9	11,1	3,9	4,3	11,4	4,2

Tabelle 60: Leitungsauslastung bei Mehrfachfehlerbetrachtung

	GT1	E14	N31003A	N31003B	8/13	9/33	8/5	9/22	IS95	IS93	110/52	110/62	E15
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
BM1	35,1	1,3	2,5	5,4	13,3	27,4	7,3	0,0	55,2	40,0	8,6	8,2	1,0
BM1_2	35,1	1,9	0,0	6,4	4,3	32,0	11,7	0,0	53,5	40,0	8,6	8,2	1,5
BM1_3	35,1	2,5	5,0	0,0	25,5	4,5	13,3	0,0	53,5	40,0	8,5	8,2	1,9
BM1_4	35,1	0,0	2,8	5,6	14,5	28,2	6,3	0,0	53,4	40,0	6,1	5,8	1,4
BM1_5	46,9	11,1	10,6	11,1	49,7	56,0	13,7	0,0	78,4	41,1	0,0	0,0	8,5
BM1_6	35,1	13,2	6,6	8,4	33,4	42,3	22,4	0,0	11,8	42,1	21,6	20,7	10,0
BM1_7	35,1	6,3	14,7	12,2	76,1	61,4	44,1	0,0	44,1	40,0	21,8	20,9	4,8
BM1_8	35,1	4,9	9,2	22,3	46,5	112,4	22,9	0,0	56,2	40,0	21,3	20,5	3,7
BM2	35,1	2,7	0,0	4,7	4,3	23,6	7,0	11,0	60,5	40,0	8,6	8,2	2,0
BM2_3	35,1	4,9	0,0	0,0	4,3	4,5	11,2	19,5	62,3	39,7	8,7	7,7	3,6
BM2_4	35,1	0,0	0,0	5,8	4,3	29,1	5,9	9,2	52,3	40,0	6,2	5,3	3,6
BM2_5	45,3	13,1	0,0	11,5	4,3	58,2	11,9	16,6	75,3	40,5	0,6	0,6	9,7
BM2_6	35,1	14,3	0,0	10,8	4,3	54,5	16,0	16,3	3,6	41,6	21,3	20,5	10,9
BM2_7	35,1	11,9	0,0	14,0	4,0	70,7	61,7	21,0	47,1	40,0	22,8	21,9	9,1
BM2_8	35,1	10,6	0,0	18,3	4,3	92,2	21,8	44,8	91,3	40,0	21,6	20,8	8,1
BM3	35,1	3,2	3,4	0,0	17,7	4,5	4,8	16,1	64,4	40,0	8,5	8,1	2,4
BM3_4	35,1	0,0	4,8	0,0	24,4	4,5	2,3	15,1	55,5	39,9	6,1	5,3	4,4
BM3_5	45,3	13,3	11,7	0,0	55,6	4,5	10,4	20,7	78,3	40,4	0,4	0,4	9,8
BM3_6	35,1	14,9	9,4	0,0	47,6	4,5	16,0	20,7	14,4	41,6	21,3	20,4	11,4
BM3_7	35,1	10,9	17,1	0,0	88,0	4,5	41,6	31,4	60,1	40,0	21,8	20,8	8,3
BM3_8	35,1	12,7	12,5	0,0	63,2	4,2	13,0	66,0	114,8	40,0	22,9	21,9	9,7
BM4	35,1	0,0	2,7	4,5	14,2	22,6	2,3	8,9	57,2	40,0	6,0	5,8	2,4
BM4_5	44,6	0,0	12,0	11,9	56,8	59,9	2,1	9,7	93,7	40,3	0,3	0,3	12,8
BM4_6	35,1	0,0	9,9	12,0	50,1	60,7	26,0	22,1	33,6	42,1	21,3	20,3	15,0
BM4_7	35,1	0,0	16,3	12,0	83,7	60,7	34,5	10,5	38,6	40,0	21,5	20,5	9,7
BM4_8	35,1	0,0	10,2	18,0	51,7	90,8	2,5	37,7	79,0	40,0	21,5	20,6	10,1
BM5	48,8	11,6	9,7	9,6	45,3	48,6	7,6	13,5	77,6	40,7	0,2	0,2	8,8
BM5_6	67,8	12,3	11,7	12,5	56,1	63,2	36,0	34,0	8,9	48,1	0,3	0,3	9,4
BM5_7	48,8	11,6	9,7	9,6	45,3	48,6	7,6	13,5	77,6	40,7	0,2	0,2	8,8
BM5_8	74,7	17,8	13,8	14,6	66,4	73,7	9,6	50,2	144,2	40,0	0,3	0,3	13,6
BM6	35,1	12,3	6,6	8,6	33,5	43,5	17,3	16,2	6,0	41,6	21,3	20,4	9,4
BM6_7	35,1	18,8	19,5	14,9	100,2	74,9	22,2	23,8	22,6	42,6	46,7	44,4	14,3
BM6_8	35,1	19,2	12,6	21,4	64,0	108,0	23,8	26,7	30,9	42,6	46,8	44,6	14,6
BM7	35,1	7,7	14,3	9,8	73,7	49,2	39,1	16,5	52,9	40,0	21,8	20,9	5,8
BM7_8	35,1	13,9	22,5	24,2	114,6	120,8	49,6	53,1	91,1	41,0	47,8	45,4	10,6
BM8	35,1	8,1	8,0	16,0	40,5	80,6	8,4	42,5	93,5	39,8	21,7	21,0	5,9
BM9	35,1	1,7	2,8	4,1	14,4	20,6	0,0	11,6	64,0	40,0	8,6	8,2	1,3
BM9_1	35,1	0,9	4,0	6,2	20,4	31,1	0,0	0,0	58,6	40,0	8,7	8,3	0,7
BM9_2	35,1	2,3	0,8	5,5	0,0	27,4	0,0	15,2	66,0	40,0	9,2	8,8	1,8
BM9_3	35,1	2,8	4,3	0,9	21,7	4,5	0,0	18,2	67,8	40,0	8,5	8,1	2,2
BM9_4	35,1	1,9	3,0	4,5	15,6	22,7	0,0	9,9	59,1	40,0	6,1	5,8	2,1
BM9_5	48,4	11,0	10,1	9,9	47,4	50,0	0,0	16,5	76,9	40,9	0,2	0,2	8,4
BM9_6	35,1	13,7	5,4	8,5	27,2	42,8	0,0	21,5	15,4	42,1	21,6	20,7	10,4
BM9_7	35,1	4,8	20,5	10,9	105,4	54,9	0,0	29,4	74,9	40,0	21,5	20,5	3,7
BM9_8	35,1	4,8	20,5	10,9	105,4	54,9	0,0	29,4	74,9	40,0	21,5	20,5	3,7
Normal	35,1	2,0	2,2	4,0	11,8	20,1	3,6	10,2	61,7	40,0	8,6	8,2	2,9

9.2 Kombinationsvariante Optimierungsvariante 1 und 3

9.2.1 Simulationsergebnisse der Einzelfehlerbetrachtung

Tabelle 61: Trafoauslastung bei Einzelfehlerbetrachtung

	N3121C	N31003B	N31003A	N31021B	N31021A	N3121A	N3121B	N3121D
	%	%	%	%	%	%	%	%
BM1	3,4	20,4	10,0	0,0	8,1	8,7	1,2	3,5
BM2	6,8	17,2	3,2	12,2	7,8	8,3	12,5	6,9
BM3	8,2	3,4	12,9	17,7	5,5	6,0	18,0	8,3
BM4	5,5	16,3	10,1	10,2	2,9	3,4	10,4	7,7
BM5	30,1	35,5	30,9	15,9	9,8	12,4	16,6	28,3
BM6	31,1	30,9	23,7	16,6	17,4	20,0	17,5	32,0
BM7	19,9	35,8	54,7	18,8	41,3	42,8	19,1	19,9
BM8	21,2	56,6	29,5	44,8	10,0	10,6	45,6	20,2
BM9	4,5	15,3	10,8	12,9	0,0	2,6	13,2	4,5
Normal	5,3	15,0	8,7	11,4	4,2	4,4	11,7	5,3

Tabelle 62: Leitungsauslastung bei Einzelfehlerbetrachtung

	GT1	E14	N31003A	N31003B	8/13	9/33	8/5	9/22	IS95	IS93	110/52	110/62	E15
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
BM1	35,1	1,2	2,5	5,4	13,1	27,3	7,5	0,0	55,4	40,0	8,8	8,4	1,2
BM2	35,1	2,4	0,0	4,6	4,3	23,0	7,2	11,2	60,0	40,0	8,8	8,4	2,4
BM3	35,1	2,9	3,3	0,0	17,0	4,5	5,0	16,3	63,5	40,0	8,7	8,3	2,9
BM4	35,1	0,0	2,5	4,3	13,3	21,8	2,7	9,3	57,2	40,0	6,2	5,9	2,7
BM5	49,4	10,7	9,5	9,4	44,1	47,4	9,0	14,6	81,5	40,8	0,2	0,2	10,7
BM6	35,1	11,3	6,2	8,2	31,4	41,2	16,0	15,3	5,9	41,5	21,3	20,4	11,2
BM7	35,1	7,0	14,0	9,5	72,4	47,8	39,7	17,3	50,6	40,0	21,8	20,9	7,0
BM8	35,1	7,5	7,7	15,7	39,0	79,3	9,2	43,1	91,7	39,8	21,8	21,0	7,1
BM9	35,1	1,6	2,7	4,1	14,3	20,4	0,0	11,8	63,9	40,0	8,8	8,4	1,6
Normal	35,5	3,2	2,3	3,9	11,5	19,8	3,8	10,4	61,4	40,0	6,0	5,5	1,9

9.2.2 Simulationsergebnisse der Mehrfachfehlerbetrachtung

Tabelle 63: Trafoauslastung bei Mehrfachfehlerbetrachtung

	N3121C	N31003B	N31003A	N31021B	N31021A	N3121A	N3121B	N3121D
	%	%	%	%	%	%	%	%
BM1	3,4	20,4	10,0	0,0	8,1	8,7	1,2	3,5
BM1_2	4,9	23,8	3,2	0,0	12,9	13,5	1,2	4,9
BM1_3	6,4	3,4	18,9	0,0	14,7	15,4	1,2	6,4
BM1_4	5,5	20,9	10,7	0,0	7,2	7,8	1,2	4,7
BM1_5	28,4	41,4	34,0	0,0	16,8	19,4	1,1	26,7
BM1_6	32,7	30,6	23,8	0,0	22,0	24,8	1,1	33,9
BM1_7	16,1	45,5	56,7	0,0	46,7	48,8	1,2	16,1
BM1_8	12,6	77,6	34,5	0,0	25,6	26,5	1,2	12,6
BM2	6,8	17,2	3,2	12,2	7,8	8,3	12,5	6,9
BM2_3	12,5	3,4	3,2	21,2	12,1	12,7	21,5	11,9
BM2_4	5,5	20,4	3,2	10,7	6,8	7,3	11,1	11,1
BM2_5	34,0	42,5	3,2	19,5	14,5	17,0	20,2	30,6
BM2_6	35,8	38,2	3,2	16,9	16,5	19,3	17,8	36,8
BM2_7	30,6	50,8	2,8	24,1	63,6	68,0	24,4	30,5
BM2_8	27,1	64,1	3,2	47,4	24,2	25,0	48,3	27,1
BM3	8,2	3,4	12,9	17,7	5,5	6,0	18,0	8,3
BM3_4	5,5	3,4	16,8	16,9	3,3	3,7	17,3	13,6
BM3_5	34,5	3,4	37,4	23,8	13,0	15,6	24,4	31,0
BM3_6	37,3	3,4	33,2	22,1	16,1	18,8	22,8	38,3
BM3_7	28,0	3,4	64,6	34,7	44,2	45,9	35,1	28,0
BM3_8	32,6	2,9	45,4	67,6	15,5	16,1	69,9	32,5
BM4	5,5	16,3	10,1	10,2	2,9	3,4	10,4	7,7
BM4_5	5,5	42,3	36,8	10,8	2,4	2,8	11,1	41,3
BM4_6	5,1	41,1	33,6	21,1	24,6	27,0	21,7	48,7
BM4_7	5,5	42,5	60,6	13,7	37,5	38,6	14,0	31,3
BM4_8	5,5	62,3	36,1	40,9	4,9	5,4	41,5	32,4
BM5	30,1	35,5	30,9	15,9	9,8	12,4	16,6	28,3
BM5_6	27,2	42,1	35,1	34,0	35,8	41,9	33,7	27,1
BM5_7	30,1	35,5	30,9	15,9	9,8	12,4	16,5	30,1
BM5_8	47,9	50,2	43,9	51,2	11,4	12,0	52,6	43,9
BM6	31,1	30,9	23,7	16,6	17,4	20,0	17,5	32,0
BM6_7	46,7	53,3	72,8	25,5	24,6	26,2	26,1	48,7
BM6_8	47,6	72,8	45,7	29,0	24,8	27,8	29,2	49,7
BM7	19,9	35,8	54,7	18,8	41,3	42,8	19,1	19,9
BM7_8	35,4	81,4	85,7	54,3	50,8	54,9	56,0	35,9
BM8	21,2	56,6	29,5	44,8	10,0	10,6	45,6	20,2
BM9	4,5	15,3	10,8	12,9	0,0	2,6	13,2	4,5
BM9_1	2,7	23,3	15,5	0,0	0,0	2,6	1,2	2,7
BM9_2	5,9	20,2	0,1	16,8	0,0	2,6	17,1	5,9
BM9_3	7,2	3,4	16,1	20,1	0,0	2,6	20,4	7,2
BM9_4	5,5	16,4	11,5	11,4	0,0	2,6	11,8	6,7
BM9_5	28,2	36,7	32,5	19,5	0,0	2,5	20,0	28,2
BM9_6	33,9	30,3	19,6	21,3	0,0	2,5	21,6	33,9
BM9_7	12,5	40,5	79,3	32,7	0,0	2,6	33,0	12,5
BM9_8	12,5	40,5	79,3	32,7	0,0	2,6	33,0	12,5
Normal	5,3	15,0	8,7	11,4	4,2	4,4	11,7	5,3

Tabelle 64: Leitungsauslastung bei Mehrfachfehlerbetrachtung

	GT1	E14	N31003A	N31003B	8/13	9/33	8/5	9/22	IS95	IS93	110/52	110/62	E15
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
BM1	35,1	1,2	2,5	5,4	13,1	27,3	7,5	0,0	55,4	40,0	8,8	8,4	1,2
BM1_2	35,1	1,8	0,0	6,3	4,3	31,8	11,9	0,0	53,4	40,0	8,8	8,4	1,8
BM1_3	35,1	2,3	4,9	0,0	25,0	4,5	13,5	0,0	53,1	40,0	8,7	8,3	2,3
BM1_4	35,1	0,0	2,7	5,5	14,0	27,9	6,7	0,0	53,6	40,0	6,3	6,0	1,6
BM1_5	47,3	10,2	10,4	11,0	48,8	55,3	15,5	0,0	84,0	41,3	0,0	0,0	10,2
BM1_6	35,1	11,9	6,2	8,1	31,4	40,8	20,3	0,0	5,9	42,0	21,7	20,7	11,9
BM1_7	35,1	5,7	14,5	12,0	75,1	60,7	44,8	0,0	42,6	40,0	21,8	20,9	5,7
BM1_8	35,1	4,4	9,0	22,2	45,7	111,9	23,6	0,0	54,9	40,0	21,3	20,5	4,4
BM2	35,1	2,4	0,0	4,6	4,3	23,0	7,2	11,2	60,0	40,0	8,8	8,4	2,4
BM2_3	35,1	4,4	0,0	0,0	4,3	4,5	11,2	19,5	60,9	39,7	8,9	8,0	4,2
BM2_4	35,1	0,0	0,0	5,4	4,3	27,2	6,3	9,9	52,6	40,0	6,4	5,5	3,9
BM2_5	45,9	12,2	0,0	11,2	4,3	56,7	13,3	17,9	79,9	40,7	0,6	0,6	11,7
BM2_6	35,1	12,9	0,0	10,1	4,3	50,9	15,1	15,6	8,0	41,5	21,3	20,5	12,9
BM2_7	35,1	10,8	0,0	13,4	4,0	67,8	62,2	22,1	43,9	40,0	22,9	22,0	10,7
BM2_8	35,1	9,5	0,0	17,8	4,3	89,8	22,2	45,6	88,4	40,0	21,6	20,8	9,5
BM3	35,1	2,9	3,3	0,0	17,0	4,5	5,0	16,3	63,5	40,0	8,7	8,3	2,9
BM3_4	35,1	0,0	4,3	0,0	22,1	4,5	3,1	15,5	55,2	40,0	6,3	5,6	4,8
BM3_5	45,9	12,3	11,4	0,0	54,0	4,5	11,9	21,9	82,5	40,7	0,4	0,4	11,9
BM3_6	35,1	13,5	8,7	0,0	43,9	4,5	14,8	20,3	9,3	41,5	21,4	20,4	13,5
BM3_7	35,1	9,8	16,6	0,0	85,5	4,5	42,4	31,9	55,7	40,0	21,8	20,8	9,8
BM3_8	35,1	11,5	11,9	0,0	60,1	4,2	14,2	66,5	110,6	40,0	23,0	22,0	11,5
BM4	35,1	0,0	2,5	4,3	13,3	21,8	2,7	9,3	57,2	40,0	6,2	5,9	2,7
BM4_5	46,0	0,0	11,3	11,2	53,3	56,5	2,2	9,9	104,8	40,4	0,3	0,3	15,9
BM4_6	35,1	0,0	8,8	10,9	44,4	54,8	22,6	19,4	37,8	41,9	21,3	20,3	17,1
BM4_7	35,1	0,0	15,6	11,3	80,2	56,7	36,0	12,5	37,9	40,0	21,5	20,5	11,0
BM4_8	35,1	0,0	9,5	17,3	47,8	87,2	4,5	39,3	77,9	40,0	21,5	20,6	11,4
BM5	49,4	10,7	9,5	9,4	44,1	47,4	9,0	14,6	81,5	40,8	0,2	0,2	10,7
BM5_6	67,7	11,2	11,4	12,1	54,5	61,2	35,8	34,1	6,2	48,1	0,3	0,3	11,2
BM5_7	49,4	10,7	9,5	9,4	44,1	47,4	9,0	14,6	81,5	40,8	0,2	0,2	10,7
BM5_8	75,4	16,8	13,1	14,2	63,1	71,9	10,4	50,4	152,4	40,0	0,3	0,3	16,8
BM6	35,1	11,3	6,2	8,2	31,4	41,2	16,0	15,3	5,9	41,5	21,3	20,4	11,2
BM6_7	35,1	17,1	18,7	14,2	96,4	71,4	24,1	23,5	29,1	42,3	46,7	44,3	17,1
BM6_8	35,1	17,5	12,0	20,6	60,6	104,1	22,8	28,5	21,6	42,4	46,8	44,5	17,5
BM7	35,1	7,0	14,0	9,5	72,4	47,8	39,7	17,3	50,6	40,0	21,8	20,9	7,0
BM7_8	35,1	12,6	22,0	23,7	112,2	118,4	50,7	54,3	85,7	40,9	47,7	45,4	12,6
BM8	35,1	7,5	7,7	15,7	39,0	79,3	9,2	43,1	91,7	39,8	21,8	21,0	7,1
BM9	35,1	1,6	2,7	4,1	14,3	20,4	0,0	11,8	63,9	40,0	8,8	8,4	1,6
BM9_1	35,1	0,9	4,0	6,2	20,4	31,1	0,0	0,0	59,2	40,0	8,9	8,5	0,9
BM9_2	35,1	2,1	0,8	5,4	0,0	27,0	0,0	15,4	65,7	40,0	9,4	9,0	2,1
BM9_3	35,1	2,6	4,2	0,9	21,3	4,5	0,0	18,4	67,2	40,0	8,7	8,3	2,6
BM9_4	35,1	1,9	2,9	4,4	15,2	21,9	0,0	10,5	59,5	40,0	6,3	6,0	2,4
BM9_5	48,7	10,1	10,0	9,7	46,5	49,0	0,0	17,9	79,6	41,1	0,2	0,2	10,1
BM9_6	35,1	12,4	5,1	8,0	25,9	40,5	0,0	19,6	18,7	42,0	21,7	20,8	12,4
BM9_7	35,1	4,4	20,4	10,7	105,0	54,1	0,0	30,0	73,5	40,0	21,5	20,5	4,4
BM9_8	35,1	4,4	20,4	10,7	105,0	54,1	0,0	30,0	73,5	40,0	21,5	20,5	4,4
Normal	35,5	3,2	2,3	3,9	11,5	19,8	3,8	10,4	61,4	40,0	6,0	5,5	1,9

9.3 Kombinationsvariante Optimierungsvariante 1 und 4

9.3.1 Simulationsergebnisse der Einzelfehlerbetrachtung

Tabelle 65: Trafoauslastung bei Einzelfehlerbetrachtung

	N3121C	N31003B	N31003A	N31021B	N31021A	N3121A	N3121B
	%	%	%	%	%	%	%
BM1	6,0	24,4	11,3	0,0	18,4	19,1	1,2
BM2	5,0	20,4	3,2	18,2	15,0	15,6	18,5
BM3	6,8	3,4	17,1	24,4	10,9	11,5	24,7
BM4	5,5	16,9	11,0	17,4	10,0	10,5	17,7
BM5	43,3	42,3	36,8	17,9	10,7	11,4	18,2
BM6	37,2	37,7	31,1	1,5	6,6	6,4	1,8
BM7	22,4	40,2	57,0	21,0	41,4	42,9	21,3
BM8	23,4	58,9	34,3	45,0	12,1	12,7	45,8
BM9	4,3	16,9	15,8	22,7	0,0	2,6	23,0
Normal	2,6	18,4	13,7	17,6	10,5	11,1	17,9

Tabelle 66: Leitungsauslastung bei Einzelfehlerbetrachtung

	GT1	E14	N31003A	N31003B	8/13	9/33	8/5	9/22	IS95	IS93	110/52	110/62
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
BM1	35,1	2,1	2,9	6,5	14,9	32,6	16,9	0,0	54,4	27,5	7,2	6,8
BM2	35,1	1,8	0,0	5,4	4,3	27,2	13,7	16,7	37,4	19,4	7,1	6,7
BM3	35,1	2,4	4,4	0,0	22,6	4,5	10,0	22,4	40,4	16,7	7,1	6,2
BM4	35,1	0,0	2,8	4,5	14,5	22,5	9,1	16,0	47,9	17,1	5,4	4,5
BM5	43,6	15,2	11,3	11,2	53,3	56,5	9,9	16,5	38,6	65,0	0,6	0,6
BM6	35,1	13,1	8,1	10,0	41,2	50,3	6,0	1,3	102,3	32,6	18,1	17,5
BM7	35,1	7,9	14,6	10,7	75,5	53,7	39,7	19,3	39,3	19,3	17,2	16,6
BM8	35,1	8,2	9,0	16,3	45,4	82,4	11,1	43,3	48,4	19,8	17,1	16,8
BM9	35,1	1,5	4,1	4,5	20,8	22,6	0,0	20,8	32,5	25,6	7,2	6,8
Normal	35,1	0,9	3,1	4,9	17,8	24,6	9,7	16,2	38,1	22,4	5,2	4,8

9.3.2 Simulationsergebnisse der Mehrfachfehlerbetrachtung

Tabelle 67: Trafoauslastung bei Mehrfachfehlerbetrachtung

	N3121C	N31003B	N31003A	N31021B	N31021A	N3121A	N3121B
	%	%	%	%	%	%	%
BM1	6,0	24,4	11,3	0,0	18,4	19,1	1,2
BM1_2	3,0	29,0	3,2	0,0	23,3	24,2	1,2
BM1_3	3,3	3,4	24,1	0,0	25,0	25,9	1,2
BM1_4	5,5	21,2	6,9	0,0	24,0	24,9	1,2
BM1_5	45,1	48,3	38,7	0,0	19,0	19,8	1,2
BM1_6	36,8	38,3	31,2	0,0	5,9	5,7	1,2
BM1_7	15,4	50,1	58,1	0,0	48,8	51,0	1,2
BM1_8	10,2	78,4	36,7	0,0	30,9	31,9	1,2
BM2	5,0	20,4	3,2	18,2	15,0	15,6	18,5
BM2_3	17,5	3,4	3,2	28,8	20,1	20,9	29,1
BM2_4	5,5	27,3	3,2	14,8	12,9	13,5	15,0
BM2_5	51,0	50,8	3,2	18,4	15,2	15,9	18,7
BM2_6	48,9	50,3	3,2	2,9	7,2	7,7	3,2
BM2_7	41,6	61,3	2,8	23,8	63,5	67,9	24,1
BM2_8	36,5	70,9	3,2	46,3	27,7	28,6	47,2
BM3	6,8	3,4	17,1	24,4	10,9	11,5	24,7
BM3_4	5,5	3,4	27,6	21,7	5,3	5,7	22,0
BM3_5	51,5	3,4	44,6	24,4	11,5	12,2	24,7
BM3_6	51,6	3,4	46,5	16,7	5,0	4,8	17,0
BM3_7	38,1	3,4	72,2	37,9	42,9	44,5	38,2
BM3_8	45,1	2,9	56,9	67,3	14,7	15,4	69,6
BM4	5,5	16,9	11,0	17,4	10,0	10,5	17,7
BM4_5	5,5	56,3	48,5	17,5	9,9	10,4	17,8
BM4_6	5,5	67,6	60,6	21,3	30,0	30,3	21,0
BM4_7	5,5	58,5	73,3	7,2	32,0	32,4	7,5
BM4_8	5,5	75,2	52,8	34,5	2,9	2,6	34,8
BM5	43,3	42,3	36,8	17,9	10,7	11,4	18,2
BM5_6	53,4	60,2	50,6	13,5	13,4	15,9	14,5
BM5_7	43,3	42,3	36,8	17,9	10,7	11,4	18,3
BM5_8	59,8	54,1	53,8	52,8	13,5	14,1	54,4
BM6	37,2	37,7	31,1	1,5	6,6	6,4	1,8
BM6_7	58,8	62,2	76,8	5,6	29,0	29,2	6,4
BM6_8	59,7	77,9	55,5	31,6	5,2	6,9	31,8
BM7	22,4	40,2	57,0	21,0	41,4	42,9	21,3
BM7_8	46,2	83,8	87,3	53,6	50,6	53,7	55,3
BM8	23,4	58,9	34,3	45,0	12,1	12,7	45,8
BM9	4,3	16,9	15,8	22,7	0,0	2,6	23,0
BM9_1	17,6	30,4	23,7	0,0	0,0	2,6	1,2
BM9_2	1,9	25,6	0,1	27,6	0,0	2,6	27,9
BM9_3	3,3	3,4	23,1	29,7	0,0	2,6	30,1
BM9_4	5,5	13,9	14,0	26,3	0,0	2,6	26,7
BM9_5	43,3	42,6	38,8	23,2	0,0	2,6	23,5
BM9_6	39,6	37,4	27,8	1,7	0,0	2,6	1,4
BM9_7	10,0	42,5	80,3	37,8	0,0	2,6	38,2
BM9_8	10,0	42,5	80,3	37,8	0,0	2,6	38,2
Normal	2,6	18,4	13,7	17,6	10,5	11,1	17,9

Tabelle 68: Leitungsauslastung bei Mehrfachfehlerbetrachtung

	GT1	E14	N31003A	N31003B	8/13	9/33	8/5	9/22	IS95	IS93	110/52	110/62
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
BM1	35,1	2,1	2,9	6,5	14,9	32,6	16,9	0,0	54,4	27,5	7,2	6,8
BM1_2	35,1	1,0	0,0	7,7	4,3	38,7	21,4	0,0	61,6	23,9	7,2	6,8
BM1_3	35,1	1,2	6,3	0,0	31,8	4,5	23,0	0,0	51,0	21,0	7,1	6,7
BM1_4	35,1	0,0	1,6	5,6	9,1	28,3	22,1	0,0	61,1	17,1	5,4	4,4
BM1_5	42,5	15,8	11,9	12,8	56,3	64,4	17,4	0,0	56,1	68,4	0,0	0,0
BM1_6	35,1	12,9	8,2	10,1	41,3	51,1	5,5	0,0	103,0	32,1	18,1	17,5
BM1_7	35,1	5,4	14,9	13,3	76,9	66,9	46,8	0,0	55,8	16,3	17,2	16,6
BM1_8	35,1	3,6	9,6	22,4	48,6	113,1	28,4	0,0	46,0	16,7	17,2	16,6
BM2	35,1	1,8	0,0	5,4	4,3	27,2	13,7	16,7	37,4	19,4	7,1	6,7
BM2_3	35,1	6,2	0,0	0,0	4,3	4,5	18,5	26,4	35,8	15,9	7,1	6,1
BM2_4	35,1	0,0	0,0	7,2	4,3	36,4	11,9	13,6	50,9	17,1	5,4	4,4
BM2_5	39,7	17,9	0,0	13,4	4,3	67,8	13,9	16,9	40,8	72,7	0,7	0,7
BM2_6	35,1	17,2	0,0	13,3	4,3	67,1	6,6	2,7	101,7	45,2	17,9	17,4
BM2_7	35,1	14,6	0,0	16,2	4,0	81,8	62,1	21,9	40,7	37,2	17,9	17,4
BM2_8	35,1	12,8	0,0	19,7	4,3	99,4	25,5	44,6	6,2	31,8	17,1	16,6
BM3	35,1	2,4	4,4	0,0	22,6	4,5	10,0	22,4	40,4	16,7	7,1	6,2
BM3_4	35,1	0,0	7,2	0,0	36,5	4,5	4,8	19,9	43,2	17,1	5,2	4,5
BM3_5	39,7	18,1	13,7	0,0	65,6	4,5	10,6	22,4	34,4	72,7	0,4	0,4
BM3_6	35,1	18,1	12,2	0,0	61,5	4,5	4,6	15,4	94,5	48,2	18,0	17,4
BM3_7	35,1	13,4	18,7	0,0	95,7	4,5	41,2	34,8	30,5	33,5	17,3	16,6
BM3_8	35,1	15,8	14,9	0,0	75,4	4,2	13,5	66,2	24,8	41,0	18,1	17,4
BM4	35,1	0,0	2,8	4,5	14,5	22,5	9,1	16,0	47,9	17,1	5,4	4,5
BM4_5	36,4	0,0	15,1	14,9	72,5	75,1	9,1	16,1	47,8	17,1	0,4	0,4
BM4_6	35,1	0,0	15,9	17,9	80,3	90,3	27,6	19,6	112,8	17,4	17,8	17,1
BM4_7	35,1	0,0	18,9	15,5	97,1	78,0	30,7	6,6	51,5	17,4	17,4	16,6
BM4_8	35,1	0,0	13,8	20,9	69,9	105,3	2,6	33,2	64,6	17,4	17,3	16,7
BM5	43,6	15,2	11,3	11,2	53,3	56,5	9,9	16,5	38,6	65,0	0,6	0,6
BM5_6	67,0	19,2	15,3	15,9	74,1	80,3	12,3	12,4	137,1	66,1	0,4	0,4
BM5_7	43,6	15,2	11,3	11,2	53,3	56,5	9,9	16,5	38,6	65,0	0,6	0,6
BM5_8	66,5	20,9	16,3	15,4	79,2	77,9	12,4	52,2	27,4	77,5	0,3	0,3
BM6	35,1	13,1	8,1	10,0	41,2	50,3	6,0	1,3	102,3	32,6	18,1	17,5
BM6_7	35,1	20,7	19,9	16,5	101,8	83,1	27,9	5,1	121,5	55,9	38,3	36,6
BM6_8	35,1	21,1	14,6	21,7	73,5	109,3	4,8	30,5	82,7	56,8	38,2	36,6
BM7	35,1	7,9	14,6	10,7	75,5	53,7	39,7	19,3	39,3	19,3	17,2	16,6
BM7_8	35,1	16,2	22,5	24,1	114,2	120,4	49,9	52,9	17,4	42,2	40,3	38,4
BM8	35,1	8,2	9,0	16,3	45,4	82,4	11,1	43,3	48,4	19,8	17,1	16,8
BM9	35,1	1,5	4,1	4,5	20,8	22,6	0,0	20,8	32,5	25,6	7,2	6,8
BM9_1	35,1	6,1	6,2	8,1	31,4	40,6	0,0	0,0	58,6	39,9	7,1	6,7
BM9_2	35,1	0,7	0,8	6,8	0,0	34,2	0,0	25,3	37,3	20,5	7,7	6,7
BM9_3	35,1	1,2	6,0	0,9	30,5	4,5	0,0	27,3	35,2	19,1	7,0	6,2
BM9_4	35,1	1,9	3,6	3,7	18,5	18,5	0,0	24,2	38,4	17,2	5,4	4,5
BM9_5	43,7	15,2	11,8	11,3	56,1	56,8	0,0	21,3	32,0	66,1	0,6	0,6
BM9_6	35,1	13,9	7,3	9,9	36,8	49,9	0,0	1,6	103,2	35,0	18,1	17,5
BM9_7	35,1	3,6	20,7	11,3	106,4	56,8	0,0	34,7	19,8	16,8	17,4	16,6
BM9_8	35,1	3,6	20,7	11,3	106,4	56,8	0,0	34,7	19,8	16,8	17,4	16,6
Normal	35,1	0,9	3,1	4,9	17,8	24,6	9,7	16,2	38,1	22,4	5,2	4,8

9.4 Physikalische Gesetzmäßigkeiten Thermovision

9.4.1 Plancksches Strahlungsgesetz

Das Grundgesetz der Strahlung beschreibt die spezifische Ausstrahlung eines schwarzen Strahlers als Funktion von Temperatur und der Wellenlänge. Anlehnend an der Tatsache, dass alle einfallenden Strahlen absorbiert und zu 100% ($\epsilon = 1$) emittiert werden. Dieses Gesetz bildet die Grundlage der Strahlungstheorie. [18]

$$M(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} (e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1)^{-1}$$

$$M_{SK}(T) \dots \text{Ausstrahlung des schwarzen Strahlers in } \frac{\text{Watt}}{\text{cm}^2}$$

$$\lambda \dots \text{Wellenlänge in } \mu\text{m}$$

$$c \dots \text{Lichtgeschwindigkeit in m/s}$$

$$h \dots \text{Plancksche Wirkumsquantum in Js}$$

$$k \dots \text{Boltzmannkonstante J/K}$$

9.4.2 Stefan Boltzmannsches Strahlungsgesetz

Das Gesamtstrahlungsgesetz beschreibt den Zusammenhang zwischen der Temperatur und der Gesamtstrahlung eines schwarzen Körpers. [18]

$$M(T) = \sigma * T^4$$

$$M(T) \dots \text{ausgesandte Strahlenleistung in } \frac{W}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma \dots 5,6686 * 10^{-12} \frac{W}{\text{cm}^2 * K^4}$$

9.4.3 Strahlungsgesetz – Kirchhoff Gesetz

Der Zusammenhang zwischen einem schwarzen und realen Strahler kann über den Emissionsfaktor wie folgt beschrieben werden. [18]

$$\varepsilon = \frac{M(T)}{M_{SK}(T)}$$

$M_{SK}(T)$... Ausstrahlung des schwarzen Strahlers in $\frac{\text{Watt}}{\text{cm}^2}$

$M(T)$... Ausstrahlung des realen Strahlers in $\frac{\text{Watt}}{\text{cm}^2}$

Befindet sich ein Körper im stationären Zustand sind 3 Mechanismen feststellbar.

- Ein Körper emittiert, aufgrund seiner Temperatur Strahlung, die sogenannte Eigenstrahlung
- Die Absorption beschreibt die Aufnahme der Strahlung
- Die Transmission erläutert die Eigenschaft der Durchlässigkeit bzw. der Dämpfung von Strahlung durch ein Medium (fest, flüssig, gasförmig).

Aus diesen drei Vorgängen ergibt sich die Tatsache, dass sie in Summe eins ergeben müssen. (1)

$$\varepsilon + \tau + \alpha = 1$$

ε ... Emissionswert

τ ... Transmissiongrad

α ... Absorbtionsgrad

9.4.4 Wiensche Verschiebungsgesetz

Diese Gesetzmäßigkeit beschreibt die unterschiedlich emittierte Strahlung des schwarzen Körpers bei Temperaturunterschieden. Ein Anstieg der Temperatur verschiebt die maximale Strahlungsleistung eines schwarzen Strahlers hin zu niedrigeren Wellenlängen, siehe Abbildung 25. Die Verschiebung der maximalen Ausstrahlung kann mit $\lambda_{max} * T_K = 2898 \mu m K$ beschrieben werden. (1)

In Abbildung 61 ist der Energieinhalt in speziellen Wellenlängenbereich des schwarzen Strahlers dargestellt. Wird die Fläche zwischen den 3dB Grenzen (50% des Strahlungsmaximums) ermittelt, so befinden sich innerhalb des oberen und unteren 3dB Grenzwertes 60% der Gesamtenergie. Unterhalb der unteren 3dB Grenze sind nur 3% und oberhalb des oberen 3dB Grenzwertes 37% des Gesamtenergieinhaltes. Anhand dieser Fakten sollte bewusst werden, wie wichtig die Wahl des Spektralbereichs der Kamera ist. [18]

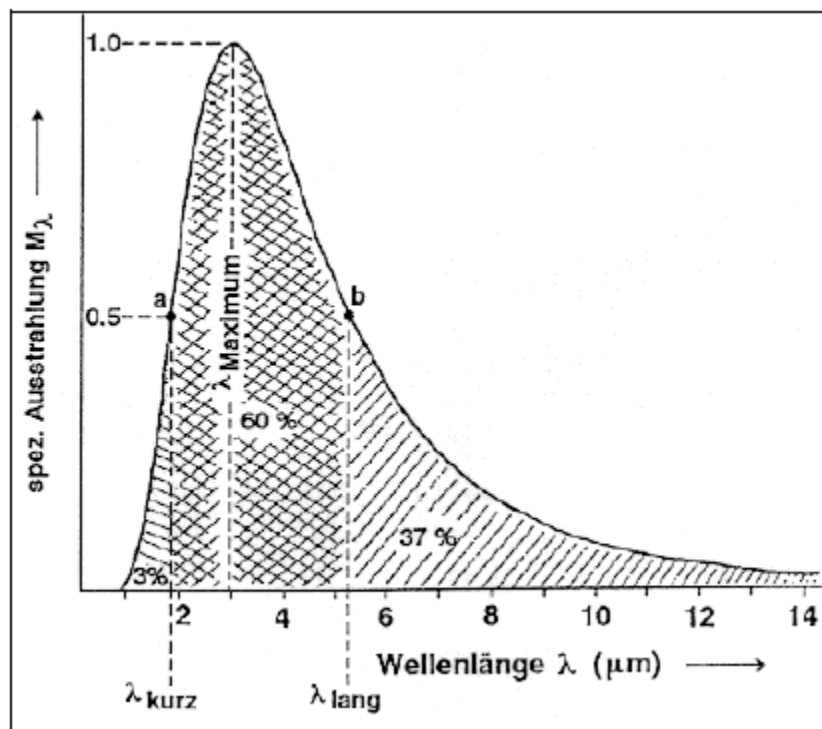


Abbildung 61: Strahlungsverteilung des schwarzen Strahlers [18]